Geologische Bundesanstalt
BIBLIOTHEK
15594, 4°

№ 2071
RegioKAT NEU
Grund- und Trinkwasserwirtschaft

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung

SALZACH

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Exemplar 26

Material-band

ad-hoc Arbeitsgruppe
der Ständigen Gewässerkommission
nach dem Regensburger Vertrag

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung

S A L Z A C H

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung

S A L Z A C H

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag

W
R
S

Anschrift der Verfasser:

Redaktion

Bernhard Schaipp
Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Rosenheimer Straße 7
83278 Traunstein

Bearbeitung

Dr. Joachim Mangelsdorf
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67
80636 München

Fritz-Heinz Weiß
Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67
80636 München

Bernhard Schaipp
Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Rosenheimer Straße 7
83278 Traunstein

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Auftraggeber:	Ständige Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag
Bearbeiter:	Dr. Joachim Mangelsdorf, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
	Fritz-Heinz Weiß, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
	Bernhard Schaipp, Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Druck:	Traffic UnitPro Werbeagentur GmbH, Implerstraße 26, 81371 München
	Druck auf Recyclingpapier (aus 100 % Altpapier)
Anlagenteil:	Speedy´s, Kopie+Druck Helminger GmbH, St. Georg-Straße 1, 83278 Traunstein
Bezug:	Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, 80636 München

© Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Auftraggebers · München, im Dezember 2000

Kap.	Seite	Inhalt
1	1	Problemstellung und Auftrag
2	2	Geologische Situation
2.1	2	Salzachtal und Salzburger Becken
2.2	5	Rezente Anlage des Tales
2.3	7	Mündungsbereich der Saalach
3	8	Unterlagen und Untersuchungen
3.1	8	Bohraufschlüsse zwischen Burghausen und Saalachmündung
3.1.1	8	Ältere Bohrungen
3.1.2	8	Bohrprogramme 1991 - 1993
3.1.3	10	Bohrprogramme 1997 - 1998
3.2	10	Gutachten zur Salzachsanierung Oberndorf - Hallein 1963
3.3	10	Bohraufschlüsse aus verschiedenen Projekten
3.3.1	10	Aufschlüsse im Umkreis der Bergheimer Schwelle
3.3.2	11	Autobahnbrücke Liefering, Fkm 62,95
3.3.3	11	Sohlstufe Salzburg-Lehen, Fkm 63,95
3.4	11	Aufschlüsse Stadt Salzburg
3.5	12	Aufschlüsse Salzburg - Hallein
3.6	12	Rammsondierungen und Schürfgruben
3.7	14	Abschnittsgliederung von Salzach und Saalach
4	17	Auswertung, geologische Bestandsaufnahme
4.1	17	Abschnitt Burghausen - Saalachmündung
4.1.1	17	Geologische Situation
4.1.2	19	Geschiebesohle
4.1.3	20	Anmerkungen zu den Längsschnitten
4.1.4	21	Anmerkungen zu den Flußquerschnitten
4.2	21	Abschnitt Saalachmündung - Salzburg/Nonntal
4.2.1	21	Geologische Situation
4.2.2	22	Geschiebesohle
4.2.3	23	Anmerkungen zu den Längsschnitten
4.2.4	24	Anmerkungen zu den Flußquerschnitten
4.3	24	Abschnitt Salzburg/Nonntal - Kuchl
4.3.1	24	Geologische Situation
4.3.2	26	Geschiebesohle
4.4	27	Mündungsbereich der Saalach
4.4.1	27	Geologische Situation
4.4.2	27	Geschiebesohle
4.4.3	27	Anmerkung zum Längsschnitt und zu den Flußquerschnitten
5	29	Flußmorphologische Bestandsaufnahme
5.1	29	Flußgeschichte
5.1.1	29	Flußbauliche Eingriffe
5.1.1.1	29	Zustand bis zum Beginn der Korrektion
5.1.1.2	29	Die Phase der Korrektion (ab 1820 bis etwa 1930)
5.1.1.3	34	Flußbauliche Maßnahmen seit Korrektionsende
5.1.2	45	Wasserkraftnutzung
5.1.3	49	Schiffahrt

Kap. Seite Inhalt

5.2 50 Abflußverhältnisse

5.3 56 Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den Pegeln
5.3.1 57 Pegel Golling
5.3.2 57 Pegel Hallein
5.3.3 57 Pegel Salzburg
5.3.4 58 Pegel Laufen
5.3.5 58 Pegel Tittmoning
5.3.6 59 Pegel Ettenau
5.3.7 59 Pegel Burghausen
5.3.8 59 Saalachpegel
5.3.8.1 59 Pegel Unterjettenberg (Fkm 25,96)
5.3.8.2 59 Pegel Staufeneck (Fkm 14,97)
5.3.8.3 60 Pegel Siezenheim (Fkm 5,53)
5.3.8.4 60 Pegel Saalbrücke (Fkm 2,80)
5.3.8.5 60 Pegel Freilassing (Fkm 2,920; Fkm 2,135)

5.4 61 Niedrigwasserspiegelfestlegungen

5.5 65 Querschnittsaufnahmen
5.5.1 65 Allgemeines
5.5.2 67 Bayerische Profildaten
5.5.3 70 Österreichische Profildaten

5.6 71 Zusammensetzung des Geschiebes
5.6.1 71 Allgemeines
5.6.2 72 Bohrungen
5.6.3 73 Ufernahe Bohraufschlüsse
5.6.4 75 Kiesbankproben und vergleichbare Entnahmen aus der Flußsohle
5.6.5 80 Petrografie und Herkunft des Geschiebes
5.6.5.1 81 Sedimentologie im Abschnitt Burghausen bis Saalachmündung
5.6.5.2 84 Sedimentologie im Abschnitt Salzburg bis Tauglmündung
5.6.5.3 94 Sedimentologie im Saalachmündungsbereich (Fkm 2,4 und 0,0)
5.6.6 96 Luminophorenversuch
5.6.7 101 Geschiebetriebmessungen
5.6.8 105 Überschlägige Ermittlung von Korngrößen aus Geschiebefrachtberechnungen

5.7 106 Flußbettgestaltung und -entwicklung
5.7.1 106 Allgemeines und historischer Überblick
5.7.2 112 Quantifizierungsversuch der Flußbettgestalt
5.7.3 126 Dynamik der Kiesbänke
5.7.4 127 Talwegdynamik

5.8 135 Abrieb

5.9 140 Schwebstoff

5.10 145 Massenbilanzierung der Feststoffe
5.10.1 145 Saalach (Mündungsstrecke)
5.10.1.1 145 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung
5.10.1.2 146 Jährliche Volumenänderungen
Kap. Seite Inhalt

5.10.1.3 146 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage
5.10.1.4 147 Massenbilanzierung und Massensummenlinien
5.10.1.5 149 Weitere Aussagen
5.10.2 151 Salzach oberhalb der Saalachmündung
5.10.2.1 151 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung
5.10.2.2 156 Jährliche Volumenänderungen
5.10.2.3 157 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage
5.10.2.4 159 Massenbilanzierung und Massensummenlinien
5.10.2.5 161 Weitere Aussagen
5.10.3 161 Salzach unterhalb der Saalachmündung
5.10.3.1 161 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung
5.10.3.2 166 Jährliche Volumenänderungen
5.10.3.3 167 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage
5.10.3.4 170 Massenbilanzierung und Massensummenlinien
5.10.3.5 175 Weitere Aussagen

5.11 179 Grenzwertbetrachtungen, Transportkapazität, Vorprüfungsverfahren
5.11.1 179 Allgemeines
5.11.2 180 Bewegungsbeginn
5.11.3 182 Berechnungsannahmen und Eichung der Geschiebetransportformeln
5.11.3.1 182 Allgemeines
5.11.3.2 182 Hydraulische Parameter und Profilgeometrie
5.11.3.3 183 Profilgeometrie für den Geschiebetransport
5.11.3.4 184 Wandeinfluß
5.11.3.5 185 Kornzusammensetzung, charakteristische Korndurchmesser, Deckschichtbildung
5.11.3.6 185 Abflußdauerlinien
5.11.3.7 186 Aufbau der tabellarischen Berechung
5.11.3.8 187 Eichung der Geschiebetransportformeln
5.11.4 188 Formeln für Geschiebe- und Feststofftransport
5.11.4.1 188 Allgemeines
5.11.4.2 189 Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER (1948)
5.11.4.3 191 Geschiebetransportformel von OGRIS (1974)
5.11.4.4 191 Geschiebetransportformel von ZANKE (1987)
5.11.4.5 192 Geschiebetransportformel von SMART und JÄGGI bzw. VAW-Formel (1983)
5.11.4.6 193 Feststofftransportformel von ENGELUND und HANSEN (1967)
5.11.4.7 193 Feststofftransportformel von PERNECKER und VOLLMERS (1965)
5.11.4.8 194 Auswahl von Formeln für Geschiebe- und Feststofftransport
5.11.5 197 Bemessungsdiagramme
5.11.6 203 Ausblick

5.12. 205 Geschiebefrachten, Geschiebezugaben, Geschiebeentnahmen
5.12.1 205 Saalach
5.12.1.1 205 Natürliche Geschiebefracht oberhalb der Talsperre Kibling (Fkm 22,0)
5.12.1.2 206 Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling (Fkm 20,7)
5.12.1.3 209 Geschiebefracht zwischen der Talsperre Kibling und der Saalachmündung
5.12.2 209 Salzach oberhalb der Saalachmündung
5.12.2.1 210 Geschiebefracht aus der Mittleren Salzach
5.12.2.2 210 Geschiebezugaben zwischen Salzachöfen und Saalachmündung
5.12.2.3 212 Geschiebeentnahmen zwischen Salzachöfen und Saalachmündung
5.12.2.4 214 Geschiebefracht zwischen Salzachöfen und Urstein
5.12.2.5 223 Geschiebefracht zwischen Urstein und Saalachmündung
Kap. Seite Inhalt

5.12.3 224 Salzach unterhalb der Saalachmündung
5.12.3.1 224 Geschiebefracht aus Saalach und Salzach
5.12.3.2 226 Geschiebezugaben unterhalb der Saalachmündung
5.12.3.3 226 Geschiebeentnahmen unterhalb der Saalachmündung
5.12.3.4 227 Geschiebefracht der Salzach an der Alzkanalmündung (Fkm 6,5)

5.13 229 Sohlstabilität, Sohldurchschlag und Rinnenbildung
5.13.1 229 Sohlstabilität und Selbststabilisierungsvermögen geschiebeführender Flüsse
5.13.2 232 Zum Begriff „Erosionsbasis“
5.13.3 233 Zum Begriff „Sohldurchschlag”
5.13.4 233 Beispiele zum Sohldurchschlag
5.13.5 237 Erscheinungsformen und Systematik des Sohldurchschlags
5.13.5.1 237 Erscheinungsformen in Seeton und Flinz
5.13.5.2 239 Erosionsmechanik
5.13.5.3 242 Physikalische Modellversuche, mathematische Geschiebetransportmodelle
5.13.5.4 245 Systematik
5.13.6 247 Anmerkungen zur Rinnenbildung

6 259 Ergebnisse
6.1 259 Erosionsgefährdete Strecken
6.1.1 259 Saalach (unterhalb der Kiblinger Sperre)
6.1.1.1 259 Streckenabschnitt Kiblinger Sperre bis BAB-Brücke (Fkm 20,0 bis 12,0)
6.1.1.2 259 Streckenabschnitt BAB-Brücke bis Käferhamer Wehr (Fkm 12,0 bis 10,0)
6.1.1.3 259 Streckenabschnitt Käferhamer Wehr bis Zollhauswehr (Fkm 10,0 bis 8,0)
6.1.1.4 260 Streckenabschnitt Zollhauswehr bis Bruch/Hausmoning (Fkm 8,0 bis 5,0)
6.1.1.5 260 Streckenabschnitt Bruch/Hausmoning bis Kraftwerk Rott/Freilassing (Fkm 5,0 bis 2,8)
6.1.1.6 260 Streckenabschnitt Kraftwerk Rott/Freilassing bis zur Mündung (Fkm 2,8 bis 0,0)
6.1.2 261 Salzach oberhalb der Saalachmündung, Bergheimer Schwelle
6.1.2.1 261 Streckenabschnitt Salzachöfen bis Hallein (Fkm 96,68 bis 82,88)
6.1.2.2 262 Streckenabschnitt Hallein bis Sohlstufe Salzburg-Lehen (Fkm 82,88 bis 63,95)
6.1.2.3 262 Streckenabschnitt Sohlstufe Salzburg-Lehen bis Saalachmündung (Fkm 63,95 bis 59,30)
6.1.3 265 Salzach unterhalb der Saalachmündung
6.2 267 Einordnung fachlicher Aussagen von GUS, Auenkonzept Salzburg-Nord und Kraftwerksplanungen
6.2.1 267 Flußmorphologische Studie (GUS-Teiluntersuchung 1.2/2.1.1)
6.2.2 270 Auenkonzept Salzburg Nord
6.2.3 272 Kraftwerksplanungen
6.3 273 Geschiebeherde, Geschiebedefizite
6.4 275 Schwebstofftransport, Schwebstoffanlandung, Rehnenbildung
6.5 277 Flußmorphologisches Potential der Salzach
6.6 282 Untersuchungsbedarf
6.6.1 282 Saalach (unterhalb der Kiblinger Sperre)
6.6.2 283 Salzach oberhalb der Saalachmündung
6.6.3 285 Salzach unterhalb der Saalachmündung
6.7 289 Flußbauliche Gestaltungsmöglichkeiten

293 Abbildungsverzeichnis
300 Tabellenverzeichnis
301 Anlagenverzeichnis
303 Abkürzungsverzeichnis
304 Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb.	Seite	Titel
1	3	Salzachtal, geologischer Längsschnitt im Überblick
2	4	Zungenbecken und ihre Entwicklung nach [21]
3	6	Terassenstrukturen im Salzburger Becken nach [14] verändert
4	13	Vergleich von erosionsempfindlichen Horizonten und Talwegen im Bereich Fkm 36,0
5	25	Salzach im Bereich Rehhofsiedlung (Fkm 77,7), Rinne im Ursteiner Konglomerat, Aufnahme vom 22.10.1969
6	26	Unterspültes Ursteiner Konglomerat im Bereich Rehhofsiedlung (Fkm 77,7), Aufnahme vom November 1989
7	30	Schematische Darstellung der Saalachkorrektion, unmaßstäblich
8	31	Das ”Nachrücken” der Stadt Salzburg in die Salzachaue, M = 1:50.000
9	32	Alte Brücke Laufen-Oberndorf bei ruhiger Wasserführung, vor 1899
10	33	Zerstörte alte Brücke Laufen-Oberndorf während des Hochwassers vom 14.09.1899
11	33	Oberndorfer Damm kurz vor der Fertigstellung, ca. Ende 30er Jahre des 20. Jahrhunderts
12	34	Zerstörte alte Brücke Laufen-Oberndorf während des Hochwassers vom 08.09.1920
13	35	Geschiebebaggerung oberhalb der Tittmoninger Brücke, um 1910
14	35	Schwimmbagger während des Neubaus der Brücke Wanghausen-Burghausen 1959 (Aufnahme Dr. Henselmann)
15	36	Vom Hochwasser 14.06.1959 beschädigte Brücke Ach-Burghausen (Aufnahme Dr. Henselmann)
16	37	Eingestürzte Autobahnbrücke Liefering nach dem Hochwasser vom 13.08.1959
17	38	Eingestürzte Autobahnbrücke Liefering nach dem Hochwasser vom 13.08.1959
18	39	Salzach-Stufenplan im Längsschnitt, nach [34]
19	41	Kompressionskolk der Autobahnbrücke Salzburg/Liefering vor der Sanierung
20	42	Sohländerungen der Salzach im Zeitraum 1961-66/92 und 1992/98
21	43	Verpreßte Kiesbank an der Saalachmündung, Aufnahme vom 02.02.1994, ca. 120 m3/s
22	45	Sohländerungen der Salzach im Zeitraum 1953/64 und 1977/95

Abb.	Seite	Titel
23	46	Bayerisches Innstromgebiet, Flußausbau und Kraftwerke, Stand 1952 mit Planungen der ÖBK ergänzt, nach [38] verändert
24	47	Längsprofil der Salzach mit geplanten Staustufenausbau der ÖBK, Stand 13.05.1977
25	48	Saalachprojekt oberhalb Reichenhall, M = 1:50.000, nach [39]
26	52	HQ-Werte in m^3/sPegel Burghausen, Reihe 1827 bis 1995, nach [43] ergänzt
27	53	Maximaler Tagesmittelwert eines Jahres, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95
28	54	Jahresabflußsummen, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95
29	54	Aufsummierte Tagesmittelwerte eines Jahres mit einem Abfluß > 300 m^3/s, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95
30	55	Dauerlinien des WRS-Vorprüfungsverfahrens
31	62	NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 66 bis 44
32	63	NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 44 bis 22
33	64	NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 66 bis 44
34	65	Beispiel einer Querschnttisaufnahme (Salzach Fkm 73,0)
35	66	Auswertung von Querschnittsaufnahmen, Vergleich UniBW, IWB und DBWas
36	68	Talquerschnittaufnahme aus dem Jahr 1907, M 1:2500/100
37	71	Grafische Darstellung aller Geschiebeproben bezogen auf $d_{m,l}$, nach [56]
38	74	Schürfgrube 27, aufgeschlossene Buhne aus der 1. Korrektionsphase, Foto vom 06.10.1997, nach [57]
39	74	Lage der Kieshorizonte in den Schürfgruben des Freilassinger Beckens
40	75	Lage der Kieshorizonte in den Schürfgruben des Tittmoninger Beckens
41	75	Häufigkeitsverteilung der 120 Proben aus 30 Schürfgruben
42	76	Entnahme und Videoerfassung der Salzachdeckschicht im Stromstrich am 06.02.1996
43	77	Geschiebeprobe bei Fkm 6,0, rechtes Ufer, Aufnahme vom 24.03.1997
44	77	Schürfkübel des Eimerkettenbaggers der ÖBK, Aufnahmen vom 24.03.1997
45	78	Gefördertes Material bei Fkm 3,2 am linken Ufer und in Flußmitte, Aufnahmen vom 24.03.1997

Abb.	Seite	Titel

46	79	Repräsentative Geschiebeentnahmen aus einer Kiesbank, Kornsortierung in Krümmungsstrecken
47	81	Kornsummenkurven im Freilassinger Becken
48	82	Kornsummenkurven im oberen Tittmoninger Becken
49	83	Kornsummenkurven im unteren Tittmoninger Becken
50	83	Kornsummenkurven im Abschnitt Nonnreit bis Burghausen
51	87	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 85,9
52	88	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 85,7
53	89	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 82,2
54	90	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 76,4
55	91	Kornsummenkurven und Petrografie der Königsee-Ache
56	92	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 71,1
57	94	Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 65,25
58	95	Kornsummenkurven und Petrografie bei Saalach Fkm 2,4
59	96	Kornsummenkurven und Petrografie bei Saalach Fkm 0,0 (= Salzach Fkm 59,3)
60	98	Ergebnisse der Einzelentnahmen über den Verdünnungsgrad Vp [%], nach [63] verändert
61	102	Geschiebefunktion der Salzach bei Fkm 39,6; nach [34]
62	103	Auswahl von Geschiebetransportmessungen am Pegel Laufen Fkm 47,07 (Seilkrananlage)
63	104	Laufener Enge mit Differenzen der beidseitigen Wasserspiegelfestlegung vom 05.05.1994 (ca. 680 m^3/s), M ca. 1:10000
64	108	Hochwasserstände ca. bei Fkm 52,4 und Salzachprofile Fkm 52,0 und 53,0
65	113	Gleichgewichtsbegriffe nach CHORLEY & KENNEDY, nach [68] ergänzt
66	113	Gleichgewichtssysteme in der Geomorphologie, nach [68]
67	115	Morphologie von Flüssen in Abhängigkeit von Kornzusammensetzung, Breite und Wassertiefe
68	118	Lauftypen von Fließgewässern, nach [70]

Abb.	Seite	Titel

69	120	Entwicklung der mittleren Sohllagen und Kolktiefen nach ZARN im Freilassinger Becken
70	123	Kolktiefen nach ZARN in Abhängigkeit vom Abfluß
71	124	Abschätzung der Sohlmorphologie der Salzach im Zustand 1817, Freilassinger Becken
72	125	Abschätzung der Sohlmorphologie der Salzach im Zustand 1817, Tittmoninger Becken
73	126	Lauf-Hinterwassersystem im geraden Fluß, nach [72] verändert
74	129	Talwegdynamik im Freilassinger und Tittmoninger Becken
75	132	”Netto”-Talwegdynamik in den Salzachabschnitten 1 bis 4
76	141	Schwebstofffrachten und Abflußsummen der Meßstellen Burghausen/Salzach und Unterjettenberg/Saalach
77	141	Korrelation von Schwebstofffracht und Abflußsummen der Meßstellen Burghausen/Salzach und Unterjettenberg/Saalach
78	142	Schwebstoffverteilung der Meßstelle Burghausen/Salzach vom 09.07.1990, Abfluß 740 m^3/s
79	143	Mittlere Fließgeschwindigkeiten und Grenz-Korndurchmesser nach KRESSER
80	180	Massensummenlinie des Anlandungsvolumens im Böschungsbereich der Salzach, abgeschätzt aus unterschiedlichen Lotrechtendefinitionen im Böschungsbereich
81	147	Mittlere Sohllagen im Saalachabschnitt I im Zeitraum 1920/99, Fkm 2,4 bis 0,0
82	149	Massensummenlinien der Saalach im Zeitraum 1981/99, Fkm 20,6 bis 10,2
83	150	Einfluß der Sohlbreite auf die Geschiebetransportkapazität der Saalach
84	153	Einpassung der Profilaufnahmen von Fkm 90,020
85	154	Profileinteilung im Ortsbereich Hallein
86	155	Einpassung der Profilaufnahmen von Fkm 73,0
87	156	Jährliche Volumenänderungen in der Salzach oberhalb der Saalachmündung
88	157	Jährliche Sohländerungen in der Salzach oberhalb der Saalachmündung
89	158	Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1961/98, Fkm 98 bis 78
90	159	Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1961/98, Fkm 79 bis 59
91	163	Gezeichnete Salzachprofile Fkm 48,2 im Zeitraum 1940/77

Abb.	Seite	Titel

92	164	Profilkorrektur 1998 bei Fkm 47,8
93	165	Profilkorrektur 1992 bei Fkm 44,8
94	166	Profilkorrektur 1992 bei Fkm 45,0
95	168	Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 60 bis 40
96	169	Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 40 bis 20
97	169	Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 20 bis 0
98	175	”Scheinbilanz” gleicher Jahre mit unterschiedlichen Auswertungen
99	176	Massensummenlinien der Salzach im Zeitraum 1981/98, Bezugssystem DBWas
100	177	Eintiefung der mittleren Sohle im Zeitraum 1920/98, Bezugssystem 1939/41
101	177	Eintiefung der mittleren Sohle im Zeitraum 1920/98, sohlnahes Bezugssystem
102	186	Grundlagen für die Ermittlung von WRS-Abflußdauerlinien
103	195	Geschiebetransportkapazität in Abflußsegmenten der Eichdauerlinie, Teil 1
104	196	Geschiebetransportkapazität in Abflußsegmenten der Eichdauerlinie, Teil 2
105	198	Geschiebetransportkapazität in Abhängigkeit von der Breite
106	198	Relative Geschiebetransportkapazität ZARN und MP-H in Abhängigkeit von der Breite für d = 23 mm
107	199	Relative Geschiebetransportkapazität ZARN und MP-H in Abhängigkeit von der Breite für d = 17 mm
108	200	Konstante GTK in Abhängigkeit von Breite und Gefälle
109	201	Beispiel eines Bemessungsdiagramms, durchschnittliche Abflußdauerlinie
110	202	Beispiel eines Bemessungsdiagramms, maximale Abflußdauerlinie
111	202	Bemessungsdiagramm für GTK = 40000 m^3/a, durchschnittliche Abflußdauerlinie
112	203	Bemessungsdiagramm für GTK = 80000 m^3/a, durchschnittliche Abflußdauerlinie
113	205	Geschiebeentnahme oberhalb des Saalachsees bei Fkm 22,0
114	206	Jährliche Geschiebeentnahmen bei Fkm 22,0 und -zugaben bei Fkm 20,7
115	208	Geschiebezugabe vom Herbst 1999 in den Stadien ca. 20.000 und 50.000 m^3, Aufnahmen vom 19.10 und 10.11.1999
Abb.	Seite	Titel
116	211	Zugabe von Tiefbauaushub in die Salzach bei der Hellbrunner Brücke bei Fkm 70,8;

		Aufnahme vom 11.03.1998
117	212	Geschiebedeponie im Unterwasser des KW Hallein; Aufnahmen vom 27.08.1995 und 07.05.1997
118	213	Kiesentnahme oberhalb der Tauglmündung; Aufnahme vom 24.09.1995
119	214	Kiesentnahme bei Fkm 85,1 – 84,7; Aufnahme vom 27.08.1995
120	214	Jährliche Geschiebeentnahmen zwischen Salzachöfen und Hallein, Fkm 90,0 bis 84,7
121	216	Anlandung im Einlaufbereich des KW Hallein, Aufnahme vom 11.08.1997
122	217	Abplatzungen an den Wehrklappen des KW Hallein, SAFE-Aufnahmen von 1992
123	218	Dynamische Sohlveränderungen des Anlandungsvolumens im Stauraum KW Urstein, nach [36]
124	218	Anlandungen im Stauraum KW Urstein, Aufnahmen vom 20.02.1990
125	219	Mündungsbereich der Königsseeache vor der flußbaulichen Umgestaltung, Aufnahme vom 05.02.1985
126	220	Skizze zur flußbaulichen Umgestaltung der Königssee Ache im Mündungsbereich
127	221	Verlauf der Geschiebefracht zwischen Fkm 80,0 und 39,25 nach [30], Beilage 10
128	227	Gemeldete jährliche Kiesentnahmen in Oberösterreich, Salzburg und Bayern
129	228	Geschiebeentnahmen im Stauwurzelbereich der Innstufe KW Simbach/Braunau
130	234	Übersicht über die Sohleintiefung der Wertach bei Schwabmünchen (Fkm 28,059), nach [91] verändert
131	235	Wertach, Einsturz der Straßenbrücke bei Bobingen und Entwicklung der Flußsohle, nach [143]
132	235	Isar bei Dingolfing, provisorische Rampe und Längsschnitt, nach [143]
133	236	Salzach bei Hallein, nach [36]
134	237	Strudellöcher durch Mahlsteineffekt im Seeton (links: Lech bei Fkm 114,6, BAWAG-Aufnahme vor 1990) und Flinz (rechts: Iller bei Fkm 48,2, Aufnahme vom 27.07.1988
135	238	Strudellöcher auf einer Flinzplatte, Iller bei Fkm 48,2, Aufnahme vom 27.07.1988
136	239	Eintiefung im Seeton, Erosion infolge Abplatzung und Abwitterung, Lech bei Kinsau, BAWAG-Aufnahmen vor 1990

Abb.	Seite	Titel
137	239	Frostabsprengung von verhärtetem Flinz, Ausleitungsstrecke an der Iller unterhalb Dietenheim, Aufnahme vom 26.09.1989

138	241	Erosionsverläufe, Erosionsnest-Bildungsprozeß und stehende Druckwelle im Bodeninneren, nach [76] verändert
139	243	Selbststabilisierung von lokalen Kolken und progressives Aufrollen der Kiesauflage
140	244	Versuch 3 im fortgeschrittenen Stadium, Aufnahme IWB Nr. 3/11A
141	246	Übersicht: Möglichkeiten, wie ein Sohldurchschlag erfolgen kann, nach [156]
142	251	Isarlauf zwischen Fkm 186,0 und 183,2 in Luftbildern der Jahre 1925, 1971 und 1982, nach [147] verändert
143	252	Ausbildung einer Tiefenrinne in der Isar, Abschnitt Ascholdinger Au, nach [145]
144	253	Schematisierte Grundrißdarstellung der Isar der Jahre 1925, 1971, 1982 und 1994, nach [145]
145	254	Freigestellter Böschungsbereich der Ammer, Aufnahme vom 30.03.1998, nach [148]
146	255	Erosinsrinne im Ursteiner Konglomerat, Aufnahmen vom 22.10.1969 (linke Bildhälfte) und November 1989 (rechte Bildhälfte)
147	256	Sohlgurt bei Fkm 79,35, Aufnahme vom 12.03.1996
148	257	Inn bei Fkm 90,0 mit erodierter Flußsohle nach [143], Aufnahme vom 27.02.1971
149	257	Inn bei Fkm 90,0 (Detail zu Abbildung 148), Aufnahme vom 27.02.1971
150	258	Längsschnitt des Inn und Querschnittsaufnahmen bei Fkm 90,0 nach [143]
150a	261	Untere Salzach zwischen Kuchl und Hallein, Aufnahme vom 20.10.2000
151	263	Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Aufnahme vom 07.05.1996
152	264	Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Detailaufnahme vom 25.02.1997
153	264	Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Detailaufnahme mit Strudellöchern vom 25.02.1997
154	271	Schematische Darstellung einer durchgehenden Flußaufweitung, nach [160]
154a	274	Tauglunterlauf zwischen Römerbrücke und ÖBB-Brücke, Aufnahme vom 27.09.2000
155	276	Materialabhängige Formen und Strukturen von Gewässern, nach [70] verändert
156	279	Verzweiger, geschiebereicher Fluß (Metsovitikos, NW-Greichenland Sommer 1993 und 1998); Aufnahmen Prokoph 370-05 und 593-08
157	280	Rhäzünser Rheinauen, nach [73] und Entwicklung einer Kiesbank, nach [106] verändert

Tabellenverzeichnis

Tab.	Seite	Titel

1	14	Abweichung der Kieshorizonte von Rammsondierungen und Schürfgruben
2	15	Einzugsgebiet: bayerische Saalach
3	15	Einzugsgebiet: Salzach oberhalb der Saalachmündung
4	16	Untersuchungsstrecke: Salzach von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn
5	35	Größere Hochwasserschutzmaßnahmen entlang der Salzach
6	50	Hauptwerte der Salzachpegel Laufen und Burghausen
7	51	Salzachpegel: Hochwasserabflüsse [m^3/s] vorgegebener Jährlichkeiten
8	51	Hauptwerte der Saalachpegel Unterjettenberg und Staufeneck
9	51	Saalachpegel: Hochwasserabflüsse [m^3/s] vorgegebener Jährlichkeiten
10	52	Pegel Burghausen: Die größten 10 Hochwasserscheitelabflüsse [m^3/s]
11	56	Hydrologische Kenngrößen der Salzachzubringer in deren Mündungsbereich
12	56	Einzugsgebiet: bayerische Salzach
13	60	Eintiefungen am Pegel Staufeneck im Zehnjahresmittel
14	60	Eintiefungen am Pegel Freilassing im Zehnjahresmittel
15	62	Zeitintervalle der dargestellten NW-Spiegelfestlegungen (Q ca. 70 m^3/s)
16	65	NW-Spiegelfestlegungen: Sohländerungen im Zeitraum 1905/96 (Q ca. 70 m^3/s)
17	69	Übersicht der wichtigsten bayerischen Profilaufnahmen
18	70	Übersicht der vorhandenen österreichischen Profilaufnahmen
19	72	Abschnittsbezogene mittlere Korndurchmesser d_m der Salzach
20	105	Geschiebetransportmessung Seilkrananlage Laufen, Korngrößen im Vergleich
21	121	Berechnungsgrößen für die Kolkermittlungn nach ZARN
22	139	Kornzusammensetzung der BfG-Abriebversuche an Saalach- und Salzachgeschiebe
23	140	Mittlere jährliche Schwebstofffracht von Saalach und Salzach
24	182	Bewegungsbeginn der Salzachabschnitte für die SHILDS-Faktoren 0,03, 0,047 und 0,06
25	194	Eichung der Geschiebe- und Feststofftransportformeln, Ergebnisse
Tab.	Seite	Titel
26	197	Auswirkung einer d_m- bzw. d_{50}-Variation auf die Geschiebetransportkapazität

27	206	Mittlere Jahresgeschiebefrachten der Saalach, nach [121]
28	215	Zusammenstellung der angesetzten mittleren jährlichen Geschiebeeinträge
29	216	Untersuchung von Sedimentproben im Stauraum des KW Hallein
30	223	Geschiebefrachten der Salzach zwischen Fkm 74 und 60, nach [131]
31	226	Geschiebeentnahmen auf bayerischer Seite im Zeitraum 1896/1913
32	261	Gefährdungsgrad der Salzachsohle zwischen Salzachöfen und Saalach
33	266	Erosionsempfindliche Bereiche zwischen Saalachmündung und Mündung in den Inn
34	266 f	Vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche, nach [153]

Anlagenverzeichnis

Nr.	Titel
1.1	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 84,0 - 80,6 M 1:5000
1.2	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 79,0 - 76,0 M 1:5000
1.3	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 75,8 - 68,0 M 1:5000
1.4	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 67,8 - 56,2 M 1:5000
1.5	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 60,0 - 50,0 M 1:5000
1.6	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 49,4 - 37,8 M 1:5000
1.7	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 30,2 - 25,6 M 1:5000
1.8	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 25,6 - 21,2 M 1:5000
1.9	Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 21,0 - 16,8 M 1:5000
2	Flußlängsschnitt mit Talweg und geologischer Situation Fkm 59,0 - 11,0 M 1:50000/100
3	Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle mit Restkiesmächtigkeiten Fkm 59,0 - 14,0 M 1:50000/100
4	Flußquerschnitte mit geologischer Situation (19 Querprofile) Fkm 19,0 - 57,0
5.1	Flußlängsschnitt mit Talweg und Uferbohrungen links Fkm 86,0 - 59,0 M 1:50000/100
5.2	Flußlängsschnitt mit Talweg und Flußbohrungen Fkm 86,0 - 59,0 M 1:50000/100
5.3	Flußlängsschnitt mit Talweg und Uferbohrungen rechts Fkm 86,0 - 59,0 M 1:50000/100
6.1	Geologischer Längsschnittt im Stadtbereich Salzburg, linkes Ufer Fkm 70,0 - 59,0 M 1:25000/100
6.2	Geologischer Längsschnittt im Stadtbereich Salzburg, rechtes Ufer Fkm 70,0 - 59,0 M 1:25000/100
7	Flußquerschnitte mit geologischer Situation (16 Querprofile) Fkm 59,498 - 68,6
Nr.	Titel
8	Längsschnitt mit geologischer Situation im Bereich Salzburg M 1:25000/500

9 Saalachmündung, Lageplan mit Bohrpunkten Fkm 2,4 - 0,0 M 1:5000

10 Saalachmündung, Längsschnitt mit geologischer Situation Fkm 2,6 - 0,0 M 1:5000/200

11 Saalachmündung, Flußquerschnitte mit geologischer Situation (5 Querprofile) Fkm 0,2 - 2,4

12 Bergheimer Schwelle, geologische Situation am linken und rechten Ufer Fkm 63,0 - 59,5 M 1:5000/500

13.1 Luftbild der Salzach Infrarotaufnahme vom 25.08.90 Q ca. 160 m^3/s Fkm 61,0 - 39,0 M ca. 1:15000
13.2 Luftbild der Salzach Infrarotaufnahme vom 25.08.90 Q ca. 160 m^3/s Fkm 39,0 - 23,0 M ca. 1:15000
13.3 Luftbild der Salzach Infrarotaufnahme vom 25.08.90 Q ca. 160 m^3/s Fkm 23,0 - 0,0 M ca. 1:15000

14 Längen-Nivellement der Salzach und Saalach Saalach Fkm 11,793 bis Salzach Fkm 0,0 nach Ruff 1855 mit Nachträgen (älteste vorhandene Planunterlage) M ca. 1:100000/200

15 Darstellung der Veränderungen der mittleren Sohle gegenüber dem Stand der Ausgangsjahre 1898 und 1905 gez. nach Beilage IVa WWA TS 1924 M Länge 1cm = 2,5km Höhe 1cm = 0,5m

16.1 Historischer Lageplan M ca. 1:50000
16.2 Historischer Lageplan M ca. 1:50000

17.1 Salzach Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den Pegeln von Golling bis Burghausen
17.2 Saalach Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den Pegeln von Maishofen bis Freilassing

18.1 Salzach Flußlängsschnitt mit Niedrigwasserspiegelfestlegungen Fkm 59,0 - 0,0 M 1:50000/100
18.2 Saalach Flußlängsschnitt mit Niedrigwasserspiegelfestlegungen Fkm 9,0 - 0,0 M 1:25000/100

19 Flußlängsschnitt mit Talwegen und Abschnittsgliederung Anlage 19.1 – 19.4

20 Ergebnisse der Querschnittsverarbeitung, Massensummenlinien Anlage 20.1 – 20.9

21 Kiesentnahmen Fkm 59,3 - 0,0

22 Ausgewählte Querschnitte von Salzach und Saalach Anlage 22.1 – 22.13

23 Vergleich von Nutsondierungen und Schürfgruben Anlage 23.1 – 23.7

24 Tabellenteil

25.1 Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle Linkes Ufer M 1:50 000/100
25.2 Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle Rechtes Ufer M 1:50 000/100

26 Lageplan mit geologischen Aufschlüssen und Ergänzungsvorschlag M 1:10 000

Abkürzungsverzeichnis

ANL Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen

AOÖLR	Amt der Öberösterreichischen Landesregierung, Linz
ASLR	Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg
BAB	Bundesautobahn (Bundesrepublik Deutschland)
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
BfG	Bundesanstalt für Gewaässerkunde, Koblenz
BMLF	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien
BPS	Boden- und Baustoffprüfstelle im Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz
bvfs	Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bad Honnef
GF	Geschiebefracht
GLA	Bayerisches Geologisches Landesamt, München
GOK	Geländeoberkante
GTK	Geschiebetransportkapazität
GUS	Gesamtuntersuchung Salzach
HW	Hochwasser
HZB	Hydrografisches Zentralbüro Wien
IKB	Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen
IWB	Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien
KW	Kraftwerk
LfG	Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (seit 01.05.1974 LfW), München
LfW	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
mS	mittlere Sohle
MW	Mittelwasser
NW	Niedrigwasser
OBB	Oberste Baubehörde im Bayerischen Statsministerium des Inneren, München
ÖBB	Österreichische Bundebahn

ÖBK	Österreichisch Bayerische Kraftwerke Aktiengesellschaft (jetzt: Grenzkraftwerke), Simbach
OK	Oberkante
ÖIR	Österreichisches Institut für Raumplanung, Wien
ÖMV	Oesterreichische Mineralölverwaltung
OSM	Obere Süßwassermolasse
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
PMV	physikalischer Modellversuch
ROB	Regierung von Oberbayern
RHV	Reinhalteverband, Salzburg
SAFE	Salzburger Aktiengesellschaft für Energiewirtschaft
StMLU	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
UK	Unterkante
UniBW	Universität der Bundeswehr München
VAW	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich
WWA TS	Wasserwirtschaftsamt Traunstein
WRS	Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach
WSP	Wasserspiegel

Literaturverzeichnis

Nr.	Titel
[1]	Amt der Salzburger Landesregierung: Amtliche Unterlagen und Berichte
[2]	Amt der Salzburger Landesregierung / Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Flußmorphologische Grundlagenuntersuchung der Salzach, Abschlußbericht
[3]	Bayerisches Geologisches Landesamt (1982): Bericht über die Ergebnisse des Forschungsvorhabens: Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Donau: Geologische und hydrogeologische Untersuchungen im Salzach-Saalach-Talraum

Nr. Titel

[4]	Bayerisches Geologisches Landesamt (1978): Geologische Karte von Bayern 1:100.000 Blatt 667 Bad Reichenhall

[5] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Amtliche Unterlagen und Berichte

[6] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1980): Die flußmorphologische Entwicklung der Salzach von der Saalachmündung bis zum Inn, Informationsberichte Nr. 2/80

[7] BRANDECKER, H. (1974): Hydrogeologie des Salzburger Beckens, Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 26, S. 5-39

[8] BRÜCKNER, E. (1886): Die Vergletscherung des Salzachgebietes, Geographische Abhandlungen I (1)

[9] Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (1989): Bestimmung der Korngrößenverteilung an acht gestörten Bodenproben, Müllner Steg und Rückstauraum Urstein, km 65,6 – 79,3, Bericht (Zeugnis) Nr. G2/406/89

[10] Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (1997): Bestimmung der Korngrößenverteilung und petrografische Beschreibung, Projekt: Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach Flußmorphologische Studie 116551, Prüfbericht Nr. G2/163/97-01

[11] Büro für Geologie und Hydrogeologie Dr. D. Bechthold, Seeham (1996): Bau- und hydrogeologischer Vorbericht für das Einreichprojekt Kraftwerk Hagenau

[12] Del NEGRO, W. (1970): Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen, Salzburg, 2. Auflage

[13] Del NEGRO, W. (1979): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg, Geologische Bundesanstalt, Wien

[14] EBERS /WEINBERGER / Del NEGRO (1966): Der pleistozäne Salzachvorlandgletscher, Veröffentlichungen der Gesellschaft für Bayerische Landeskunde München, Heft 19 - 22

[15] FUGGER, G. / KASTNER, K. (1895): Die Geschiebe des Donaugebietes, 1. Die Geschiebe der Salzach, Mitteilung der kk Geografischen Gesellschaft Wien, XXXVIII Band

[16] Geologische Bundesanstalt (1929): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich 1:75.000, Blatt Tittmoning, Wien

[17] Geologische Bundesanstalt (1955): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 63 Salzburg, Wien

[18] Geologische Bundesanstalt (1990): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 94 Hallein, Wien

[19] Geologische Bundesanstalt (1969): Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg 1:50.000, Wien

Nr. Titel

[20] Van HUSEN, D. (1979): Verbreitung, Ursachen und Füllung glazial übertiefter Talabschnitte an Beispielen in den Ostalpen. Eiszeitalter und Gegenwart, 29, S. 9 - 22

[21] Van HUSEN, D. (1987): Die Ostalpen in den Eiszeiten, Populärwissenschaftliche Veröffentlichungen der Geologischen Bundesanstalt, Wien

[22] Ingenieurbüro für Geologie und Bauwesen, Salzburg (1963): Salzach-Sanierung Flußkilometer 47 - 83, Baugeologisches Gutachten

[23] Österreichisches Institut für Raumplanung (1994): Gesamtuntersuchung Salzach, Teiluntersuchung 1.2/2.1.1 Flußmorphologische Studie, Schlußbericht, Wien

[24] PENCK / BRÜCKNER (1909): Die Alpen im Eiszeitalter Band 1

[25] PIPPAN, T. (1957): Anteil der Glazialerosion und Tektonik an der Beckenbildung am beispiel des Salzachtales, Zeitschrift für Geomorphologie, Neue Folge, 1

[26] PREY, S. (1959): Zwei Tiefbohrungen der Stieglbrauerei in Salzburg, Verhandlungen Geologische Bundesanstalt Wien 1 - 3, S. 216 - 224

[27] SEEFELDNER, E. (1957): Die Entwicklung des Salzachsystems, Mitteilung der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, 97, S. 191 - 203

[28] SEEFELDNER, E. (1961): Salzburg und seine Landschaften. Eine geographische Landeskunde, Verlag "Das Berglandbuch", Salzburg/Stuttgart

[29] Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (1995): Bericht zu Phase I: Bestandsanalyse, Stand der Untersuchungen zu Phase II: Maßnahmenplanung

[30] Bundesversuchsanstalt für Wasserbau (1962): Berechnung des Ausgleichsgefälles der Salzach im Bereiche der Stadt Salzburg, Bericht, Wien

[31] FLÖGL, H. / FLÖGL W. (1996): Sedimentationsvorgänge in Stauräumen von Niederdruckanlagen in zwei Voralpenflüssen - Umfang, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen, Mitteilung Nr. 143 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, S. 195 - 219

[32] K. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (1909): Denkschrift über den gegenwärtigen Stand der Wasserbauten in Bayern

[33] DRBAL, J. (1997): Leben an der Salzach zwischen Ach und Burghausen, edition printissimo Braunau

[34] KERSCHBAUMER (1969): Geschiebemessungen an der Salzach und Salzachstufenplan, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Sektion IV (Wasserbau), Bericht über die 8. Flußbautagung vom 21 bis 25.10.1968 in Salzburg, S. 145 - 164

[35] Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (1935): Kurze Zusammenfassung über Abriebversuche 1924 mit 1934, Flußakten des LfW SG 25

Nr. Titel

[36] MITTELLEHNER, F. (1978): Die Salzachsanierung in Hallein, Oesterreichische Wasserwirtschaft Jahrgang 30 Heft 11/12, S. 225 - 230

[37] FLÖGL, H. / NEURURER, H. (1970): Die Mehrzweckanlage Salzach-Kraftwerk Urstein,

Oesterreichische Wasserwirtschaft Jahrgang 22 Heft 1/2, S. 1 - 4

[38] HAUF, E. (1952): Die Umgestaltung des Innstromgebietes durch den Menschen, Innwerk AG München Töging

[39] K. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Inneren (1907): Die Wasserkräfte Bayerns, Verlag von Piloty & Loehle, München

[40] Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (1930): Die Saalach, Beschreibung ihres Zustandes 1928/29, Referat für Geschiebeführung

[41] Österreichisches Institut für Raumplanung (1994): Gesamtuntersuchung Salzach, Teiluntersuchung 1.1 Gewässercharakteristik und Abflußverhältnisse, Schlußbericht, Wien

[42] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Donaugebiet 1995

[43] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1992): Abstimmung der Hochwasserwahrscheinlichkeiten an Inn und Salzach, LfW-22-4423.981 vom 25.05.1992

[44] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1994): Fax an das Amt der Salzburger Landesregierung vom 22.11.1994

[45] Hydrographischer Dienst am Amt der Salzburger Landesregierung (1999): Hochwasserwerte der Salzachpegel Salzburg, Hallein-Sohlstufe, Golling und des Saalachpegels Siezenheim, E-mail vom 20.07.1999

[46] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986, aktualisiert 1997): Flußmorphologische Untersuchung der Unteren Saalach vom Zollhauswehr bis zur Mündung, Az. 25-4424.8-38

[47] Hydrografisches Zentralbüro Wien (1992), Besprechung am 02.07.1992, Abstimmung der HQ_n Daten für die Pegel Schärding/Inn und Burghausen/Salzach mit dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft, Zl. 345.152/01-IV3/92 vom 14.07.1992

[48] PUTZINGER (1948): Beiträge zur Flußkunde der Salzach, Österreichisches Wasserkraft-Kataster Salzach II, I/1a, Wien

[49] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1997): Beitrag zur Morphogenese der Salzach, Tischvorlage zur 4. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/4“ am 26.06.1997 in Salzburg, Ergänzung Kapitel 7.4 zur 11. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/3“ am 04.09.1997 in Salzburg

[50] Straßen- und Flußbauamt Traunstein (1924): Bericht über die Flußlage der Salzach, Traunstein den 04.03.1924, Archiv Wasserwirtschaftsamt Traunstein

Nr. Titel

[51] SÖHNGEN, B.; KELLERMANN, J; PHILIPPI, M. (1996): Donauausbau Straubing-Vilshofen, Möglichkeiten und Grenzen flußbaulicher Maßnahmen in der Teilstrecke Naturmessungen zur Systemrauheit in Flüssen mit Deckschichtbildung, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 105, Wien

[52] SÖHNGEN, B. (1996): Naturmessungen zur Systemrauheit in Flüssen mit Deckschichtbildung, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 105, Wien

[53] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1997): Massenbilanzierung Salzach, Vergleich unterschiedlicher Ansätze, Tischvorlage zur 6. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/4“ und 14. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/3“ am 16.12.1997 in Salzburg

[54] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1998): Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation, Sammlung von Schreiben und Merkblättern des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (Slg LfW), Teil 2: Grundlagen und Bewirtschaftung der oberirdischen Gewässer

[55] Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, Geschiebereferat (1926): Salzach. Hydrotechnische Untersuchungen zur Beurteilung der Flußlage, Bericht vom Juli 1921 und März 1924, Flußakten des LfW

[56] Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, alle Geschiebeproben zwischen km 5,0 und 59,3 (Zusammenstellung DI Schaipp, Tischvorlage zur 3. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/3“ am 12.08.1996 in Salzburg

[57] Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (1997): Bericht zum Projekt “Salzach WRS-Variantengruppe 2/3“ Bodenaufschluß Mäanderstrecken Salzach, linksufrig, Bayern, Fotos zu Grube 27, Zl. 730-322/7/97

[58] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1998): Zusammenstellung Ergebnisse von Bodenschürfen in den geplanten Mäanderstrecken, Fassungen vom 25.06.1997, 02.09.1997 und 17.02.1998

[59] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1997): Entnahme von Geschiebeproben im Stauwurzelbereich des KW Simbach-Braunau Salzach Fkm 3,20 bis Fkm 6,35, Tischvorlage zur 4. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 2/4" am 26.06.1997 in Salzburg

[60] FEHR, R. (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen, Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren, Mitteilung Nr. 92 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[61] MIKOS, M. (1996): Geschiebesortierung und Abrieb entlang eines Flusses, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 105, Wien

[62] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1992): Geschiebemessungen, DVWK Regel zur Wasserwirtschaft 127/1992, Verlag Paul Parey

[63] Bundesanstalt für Wasserbau (1998): Saalach quantitativ, Geotechnisches Gutachten über einen quantitativen Versuch mit Luminophoren zur Geschiebebewegung in der Saalach und Salzach (2. Teilgutachten), BAW-Nr. 024790

Nr. Titel

[64] BAUER, F. (1960): Der zweckmäßige Einsatz des Geschiebefängers, in: Probleme der Gewässergestaltung, Niederschrift über die Besprechung am 02.02.1960 in München

[65] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1996): 8. Abschätzung von Korngrößen aus dem Stauraum des KW Urstein, Berichtsergänzung vom 20.12.1996

[66] Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (1995): Informationsschrift Entwicklung eines gewässerökologischen Leitbildes

[67] Europäische Union Brüssel (1998): Entwurf der EU Wasserrahmenrichtlinie in der Fassung vom 16/17.06.1998

[68] KERN, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung, Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern, Springer Verlag

[69] MADER, H.; EDER, B. (1999): GBK Obere Salzach, Gewässermorphologie – Sektorale Defizitanalyse auf Basis historischer Daten und Vergleichsgewässeruntersuchungen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft Jahrgang 51 Heft 7/8, S. 174 - 186

[70] BRIEM, E. (in Vorbereitung): Handbuch der abiotischen Fließgewässerkunde, Fließgewässerformen – Fließgewässerstrukturen – Fließgewässertypologie (Bearbeitungsstand Anfang 1999)

[71] ZARN, B. (1997): Einfluss der Flussbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluß, Morphologie und Geschiebetransportkapazität, Mitteilung Nr. 154 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[72] JÄGGI, M. (1983): Alternierende Kiesbänke, Mitteilung Nr. 62 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[73] ZARN, B. (1998): Abschätzung des Einflusses von Gerinnebreite, Gefälle und Korndurchmesser auf die Geschiebetransportkapazität der Salzach, nicht veröffentlicht

[74] HUNZIKER, R. P. (1995): Fraktionsweiser Geschiebetransport, Mitteilung Nr. 138 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[75] BRAUNSTINGL, R. (1998): Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, flußmorphologische Untersuchung Saalach, Fluß-km 0 – 2,4; geologisches Gutachten

[76] BECHTELER, W.; HARTMANN, S.; MERGL, C.; WIEPRECHT, S. (1998): Dynamik von Kiesbänken in der Unteren Salzach – ein Vergleich von Naturbeobachtungen mit einem physikalischen Modell, Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Nr. 82, S. 225 - 237

[77] MIKOS, M. (1993): Fluvial Abrasion of Gravel Sediments, Mitteilung Nr. 123 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[78] ZARN, B.; OPTLATKA, M.; PELLANDINI, S.; MIKOS, M.; HUNZIKER, R.; JÄGGI, M. (1995): Geschiebehaushalt Alpenrhein, Mitteilung Nr. 139 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

Nr. Titel

[79] Bundesanstalt für Gewässerkunde (1996): Abriebversuche an Salzachgeschiebe, BfG-1033

[80] Bundesanstalt für Gewässerkunde (1997): Abrieb und Schwebstoffproduktion in der Tiroler Achen, BfG-1106

[81] BURZ, J. (1965): Abrieb und Sohlgefälle, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 9. Jahrgang, Heft 2, April 1965, S. 29 - 32

[82] Bundesanstalt für Gewässerkunde (1999): Abriebverhalten des Geschiebes der Saalach, BfG-1219

[83] ZANKE, U. (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York

[84] KRESSER, W. (1964): Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstofführung der Gewässer, Oesterreichische Wasserwirtschaft Jahrgang 16 Heft 1/2

[85] SCHULTE, A. (1995): Hochwasserabfluß, Sedimenttransport und Gerinnebettgestaltung an der Elsenz im Kraichgau, Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg

[86] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (2000): WRS-Sitzungen vom 10/11.01.2000; Neue Modellvorstellungen der geologischen Entwicklung der Unteren Salzach von Landesgeologen Dr. Braunstingl, ASLR, interner Vermerk vom 12.01.2000

[87] HUNZINGER, L. M. (1998): Flußaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze der Bemessung, Mitteilung Nr. 159 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[88] PUTZINGER (1969): Längsprofilgestaltung und Dimensionierung des Oberlaufs alpiner Gewässer unter Berücksichtigung der Geschiebeführung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Sektion IV (Wasserbau), Bericht über die 8. Flußbautagung vom 21 bis 25.10.1968 in Salzburg, S. 31 - 54

[89] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Berechnungsmethoden der Massensummenlinie, interner Vermerk

[90] BAUER (1963): Die Geschiebe- und Schwebstofführung, Schwebstoff- und Geschiebemessungen, Niederschrift über die Besprechung am 22.10.1963, ÖBK AG Simbach

[91] BAUER (1966): Die Reaktivierung der Geschiebeführung beim Hochwasser 1965; aufgezeigt am Beispiel der Isar, Probleme der Gewässergestaltung, Niederschrift über die Besprechung am 25.10.1966, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde

[92] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Anmerkung zur Massenbilanzierung zwischen Saalachmündung und Salzachöfen, interner Vermerk

[93] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1998): Massenbilanzierung Salzach, Saalachmündung bis Salzachöfen, Tischvorlage zur 15. Sitzung der Variantengruppe 2/3 und 7. Sitzung der Variantengruppe 2/4 am 22.01.1998 in Salzburg

Nr. Titel

[94] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1999): Zwischenergebnisse der Massenbilanzierung Salzach: PWA Hallein bis Salzachöfen, Tischvorlage zur Besprechung am 26.03.1999 in Salzburg

[95] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1966): Querschnittverarbeitungsbuch der Salzach km 3,20 – 59,30, Archiv Wasserwirtschaftsamt Traunstein

[96] DITTRICH, A. (1998): Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Heft 198

[97] DITTRICH, A.; NESTMANN, F.; REISNER, A: (1997): Bewertung der Umgestaltungsmaßnahme „Blochinger Sandwinkel“, Wasserwirtschaft 87 (1997), Heft 6, S. 296 – 300

[98] Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung: WRS - vorläufige Beurteilung der Variantengruppe 2 und 3, Diskussionsgrundlage für die 7. Arbeitssitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau“ vom 10. Bis 11.01.1996 in Salzburg, Wien, 4.Jänner 1996

[99] JÄGGI, M. (1992): Sedimenthaushalt und Stabilität von Flußbauten, Mitteilung Nr. 119 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[100] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1996): Zusammenstellung zur Geschiebeberechnung, Tischvorlage zur 8. Sitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau" am 26.02.1996 in Salzburg

[101] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1996): Zur IWB-Tischvorlage vom 04.01.1996 „vorläufige Beurteilung der Variantengruppe 2 und 3“, Tischvorlage zur 8. Sitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau" am 26.02.1996 in Salzburg

[102] Straßen- und Flußbauamt Traunstein (1952): Schreiben an die Landesstelle für Gewässerkunde vom 31.03.1952

[103] SMART, G; JÄGGI, M. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen, Mitteilung Nr. 64 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich

[104] ZANKE, U. (1990): Der Beginn der Sedimentbewegung als Wahrscheinlichkeitsproblem, Wasser und Boden, Heft 1, 1990, S. 40-43

[105] ZANKE, U. (1996): Lösungen für das universelle Geschwindigkeitsverteilungsgesetzt und die Shieldskurve, Wasser und Boden, Heft 9, 1996, S. 21-26

[106] MANGELSDORF, J.; SCHEURMANN, K. (1980): Flußmorphologie – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure, R. Oldenburg Verlag GmbH, München

[107] SCHERLE, J. (1999): Entwicklung naturnaher Gewässerstrukturen, Grundlagen, Leitbilder, Planung, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Heft 199

[108] SCHRÖDER, R. C. M. (1985): Vergleichbarkeit von Geschiebetransportformeln, Wasserwirtschaft 75 (1985), Heft 5, S. 217 - 221

Nr. Titel

[109] YALIN, M. S.; SCHEUERLEIN, H. (1988): Friction Factors in alluvial rivers, Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Nr. 59, S. 1 - 77

[110] ZANKE, U. (1987): Sedimenttransportformeln für bed-load im Vergleich, Mitteilungen des Franzius-Institutes für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft

64

[111] JÄGGI, M. (1984): Der Geschiebetransport in Flüssen nach der VAW-Formel 1983, Schweizer Ingenieur und Architekt, 47/84, S. 940 - 943

[112] JÄGGI, M. (1984): Abflußberechnung in kiesführenden Flüssen, Wasserwirtschaft 74 (1984), Heft 5, S. 263 - 267

[113] OGRIS, H. (1974): Geschiebetrib und Bettbildung, Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, 17. Jahrgang, September 1974, Heft 9, S. 285 - 292

[114] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1988): Feststofftransport in Fließgewässern – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis DVWK Schrift 87, Verlag Paul Parey

[115] PERNECKER, L.; VOLLMERS, H. (1965): Neue Betrachtungsmöglichkeiten des Feststofftransportes in offenen Gerinnen, Wasserwirtschaft 55 (1965), Heft 12, S. 386 - 391

[116] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1997): Ergänzung der Bemessungsdiagramme in den Mäanderstrecken, Tischvorlage zur 3. Sitzung der Expertengruppe „Variantengruppe 4“ am 26.06.1998 in Salzburg

[117] MERTENS, W. (1995): Zur Wahl geeigneter Sedimenttransport-Formeln, Wasserwirtschaft 85 (1995), Heft 10, S. 486 - 490

[118] ZANKE, U. (1999): Analytische Lösung für den Geschiebetrieb, Wasser und Boden, Heft 6, 1999, S. 46 - 51

[119] Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen (1997): Rahmenuntersuchung Salzach - Ingenieurpraktische Untersuchung zur Wirkungsweise von Aufweitungsmaßnahmen an der Salzach

[120] LICHTENHAHN, C. (1977): Flussbau, Erweiterte Vorlesung Teile A bis D, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Abteilung II und VIII

[121] ERTL, O. (1939): Die Gestaltungsvorgänge am Saalachsee bei Reichenhall und an anderen Stauräumen in alpinen Gewässeren, Sonderdruck aus der Zeitschrift Deutsche Wasserwirtschaft, Jahrgang 1939, Heft 7 und 8

[122] BRAUNSTINGL, R.; GREBMAYER, T. (2000): Sanierung der Saalach: Geologischer Schlußbericht zum Bohrprogramm 1997/98, Interner Bericht des Amtes der Salzburger Landesregierung und Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft

Nr. Titel

[123] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Arbeitspapier Zusammenstellung von Geschiebeannahmen, Stand der Diskussion Dezember 1995, Tischvorlage zur 6. Sitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau" am 04.12.1995 in Salzburg

[124] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Literaturangaben zur Zusammenstellung der Geschiebeannahmen der LfW-Tischvorlage zur 6. Sitzung am 04.12.1995, Tischvorlage zur 7. Sitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau" am

10/11.01.1996 in Salzburg

[125] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1995): Ergebnispapier Zusammenstellung von Geschiebeannahmen, Tischvorlage zur 7. Sitzung der Expertengruppe „Hydrologie, Flußmorphologie und Wasserbau" am 10/11.01.1996 in Salzburg

[126] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1999): Bereisung der Lammer vom 08.07.1999, interner Vermerk vom 23.07.1999

[127] MARX, E.: Bomben auf Salzburg Die „Gauhauptstadt“ im „Totalen Krieg“, Verlag Anton Pustet, Seite 110f

[128] Amt der Salzburger Landesregierung (1996): Ergänzung zum „Ergebnispapier Zusammenstellung von Geschiebeannahmen“, Vermerk der Fachabteilung 6/6 vom 17.06.1996

[129] Amt der Salzburger Landesregierung (1998): Vermerk der Fachabteilung 6/6 vom 11.05.1998

[130] LEBESMÜHLBACHER, S. (1998): Erhebungen von Unterlagen zur Sohllage der Salzach zwischen Kuchl – Hallein und zum Schotterbett des Tauglflusses von der Römerbrücke – Mündung, Amt der Salzburger Landesregierung, Zl: 13/04-9713130/1-1998 vom 17.12.1998

[131] OGRIS, H. (1996): Flußmorphologische Studie Salzach, Mathematisches Modell WAGES, Ergänzung 1996, Bericht für das Amt der Salzburger Landesregierung, Wien, Dezember 1996

[132] Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen (1997): Abschlußbericht Numerische Simulation des Feststofftransportes in der Salzach - Kalibrierungsphase, März 1997

[133] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1997): Beitrag zur numerischen Feststoffsimulation, Aspekte zur Kalibrierung, Tischvorlage zur 14. Sitzung der Variantengruppe 2/3 – 6. Sitzung der Variantengruppe 2/4 am 16.12.1997 in Salzburg/ASLR

[134] OTTO, A. (1998): E-mail vom 12.10.1998 mit Daten und Erläuterungen

[135] HENGL, M. (1998): E-mail vom 25.09.1998 mit Daten und Erläuterungen

[136] Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung (1998): WRS – Kalibrierung MORMO, Informationen für die Arbeitsgruppe Wasserbau, Wien 29.10.1998

[137] STEPHAN, U. (1999): E-mail vom 26.01.1999 mit Daten und Erläuterungen

[138] Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung (1999): WRS – Kalibrierung MORMO, Informationen für die Arbeitsgruppe Wasserbau, Wien 28.01.1999

Nr. Titel

[139] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (2000): Vermerk zur Geschiebetransportsimulation SEDICOUP/MORMO, 16.01.1999 mit Nachträgen vom 18.07.2000

[140] Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen (1997): Kurzbericht Numerische Simulation des Feststofftransportes in der Salzach - Variantenuntersuchung, Oktober 1998

[141] Straßen- und Flußbauamt Traunstein (1952): Geschiebefracht in der Salzach, hier Untersuchung der Geschiebekörnung durch die Alzwerke GmbH, Burghausen, Schreiben an die Landesstelle für Gewässerkunde vom 31.03.1952, Az. VI/1110

[142] SCHEUERLEIN, H. (1996): Die Bedeutung der natürlichen Deckschichtbildung in Fließgewässern für wasserbauliche Aufgaben, Schriftenreihe des Österreichischen Wasser und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 105, Wien

[143] WEIß, F. H. (1987): Flußbetteintiefungen unterhalb von Stauanlagen; Untersuchungsmethoden und Möglichkeiten der Sanierung, Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen, Mitteilung 25/1987

[144] MAYRHOFER, A. (1970): Wirkung von Sohlgurten und Sohlschwellen bei Flußregulierungen, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Sektion IV (Wasserbau), Bericht zur 9. Flußbautagung vom September 1970 in Bregenz, S. 112 – 137

[145] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2000): Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung an der Isar

[146] ROTH, M.; ZARN, B. (1998): Eintiefung am Wildfluß Melezza, Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Nr. 82, S. 187 – 199

[147] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1986): Zur flußmorphologischen Situation der Isar im Gebiet der Ascholdinger und Pupplinger Au, Az III/3-4424.8-5, unveröffentlichtes Gutachten

[148] VOLLRATH, H. (1965): Das Vegetationsgefüge der Itzaue als Ausdruck des hydrologischen und sedimentologischen Geschehens, Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, Landschaftspflege und Vegetationskunde, Heft 4

[149] Wasserwirtschaftsamt Weilheim (1998): Gewässerunterhaltung an der Ammer, Bereich Wielenbach/Pähl

[150] MEYER-PETER, E.; LICHTENHAHN, C. (1963): Altes und Neueres über den Flußbau unter besonderer Berücksichtigung des sanktgallischen Rheintales, Eidg. Departement des Inneren, Veröffentlichung des Eidg. Amtes für Straßen und Flußbau

[151] SCHILLING, M.; HUNZIKER, R.; HUNZINGER, L. (1996): Die Folgen von Korrektionsmaßnahmen auf den Geschiebehaushalt, Interpraevent 1996, Tagungspublikation, Band 4, S. 209 - 220

[152] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1982): Flußmorphologische Untersuchung der unteren Alz von Altenmarkt bis zur Mündung in den Inn, Az 4263/34-III/3/4

Nr. Titel

[152] Gewässerbezirk Braunau (1998): Dokumentation einer Sohleintiefung an der Traun, Az 120000/371-1998-Sh vom 03.11.1998

[153] RMD Consult (2000): Worst-Case-Studie Salzach, Teil I: Bericht, unveröffentlichte Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft,

Wien und dem Wasserwirtschaftsamt Traunstein

[154] SCHRÖDER, W.; ZIMMERMANN, E. (1993): Zur kritischen Belastung einer kohäsiven Fließgewässersohle Wasserwirtschaft 83 (1993), Heft 3, S. 128 – 132

[154] OGRIS, H. (1994): Bundeswasserstraße Donau Ausbau Straubing-Vilshofen, Flußbauliche Alternative Gutachten Teil 1, unveröffentlicht

[155] HENGL, M. (1998): Physikalischer Modellversuch „Sohldurchschlag“, Textbeitrag zur Flußmorphologischen Untersuchung der Unteren Salzach

[156] PLATZER, G.; HENGL, M. (1998): Konsequenzen der Planungsausgangssituation, Gefahr eines Sohldurchschlags, Textbeitrag zur Flußmorphologischen Untersuchung der Unteren Salzach

[157] Amt der Salzburger Landesregierung (1995): Schreiben an das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft vom 02.08.1995, Az. 6/61-0/9076/56-1995

[158] Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach, ad-hoc Arbeitsgruppe der Ständigen Gewässerkommission nach dem Regensburger Vertrag (1999): Bericht zu Phase II: Ergebnisse der Maßnahmenplanung, Entwurf für die Sitzung der Ständigen Gewässerkommission am 13/14.04.1999

[159] Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach (2001): Wasserwirtschaftliche Beurteilung der Varianten und Variantenvorauswahl, Fachbericht Nr. 10, in prep.

[160] Österreichisches Institut für Raumplanung (1995): Auenkonzept Salzburg Nord, Schlußbericht an die Salzburger Landesregierung

[161] BERNHART, H. H. (1995): Salzach nördlich von Salzburg, Antheringer Au: Fluß-km 53,0 – 56,6 Wiederherstellen eines naturnäheren Zustandes, Machbarkeitsstudie

[162] Gesamtuntersuchung Salzach (1996): Gesamtübersicht und Kurzfassungen der Teiluntersuchungen

[163] FLOEGL, W. (1997): Kurzbericht über die geplanten Kraftwerke Hagenau (Neubau) und Rott (Generalsanierung) für die Präsentation anläßlich der WRS Sitzung am 01.10.1997

[164] Salzburger Stadtwerke AG (1998): Saalachkraftwerk Rott, Abstimmung mit der WRS-Studie, Technischer Bericht Juni 1998 von Dr. Floegl, Z 4149 21

[165] Dr. Floegl Hydro Consulting Engineers (2000): Saalach Kraftwerk Rott-Freilassing, Projektbeschreibung in Kurzfassung, Z 4949

Nr. Titel

[163] Dr. Floegl Hydro Consulting Engineers (1997): Kurzbericht über die geplanten Kraftwerke Hagenau (Neubau) und Rott (Generalsanierung) für die Präsentation anläßlich der WRS Sitzung am 01.10.1997

[164] Amt der Salzburger Landesregierung (1977): Schreiben an das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft vom 02.08.1995, Morphologische Untersuchung der Salzach, Az. 6/61-

9076/52-1977

[165] ASCE Committe on Hydraulics, Bank Mechanics and Modelling of River Width Adjustment (1998): River Width Adjustment. I: Processes and Mechanisms, II: Modeling, Journal of Hydraulic Engineering, September 1998, P. 881 - 917

[166] MEYER, W. (1998): Geologisches Wörterbuch, 10. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Enke Verlag

[167] KERN, K. (1998): Sohlerosion und Auenauflandung, Empfehlungen zur Gewässerunterhaltung, DVWK – Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung

[168] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1998): Vorläufige Bewertung der Variantengruppe 1 und 2 , Aspekte der Bewertung der Kombinationslösungen VG 2/3 und 2/3/4, Tischvorlage zur 19. Sitzung der Variantengruppe 2/3 und 10. Sitzung der Variantengruppe 2/4 am 04.05.1998 in Laufen/ANL

[169] Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen (1998): Stellungnahme zur Tischvorlage der Herren Mangelsdorf, Weiß, Schaipp zur 19. Sitzung der Variantengruppe 2/3 am 4.5.1998 in Laufen/ANL, Schreiben vom 15.05.1998

[170] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (1998): Stellungnahme der Universität der Bundeswehr München vom 15.05.1998 zur Tischvorlage „Vorläufige Bewertung der Variantengruppen 1 und 2 ...“ vom 29.04.1998, Gz. S-4473.Salzach vom 18.06.1998

[171] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2000): Studie zur Sanierung der Saalach, Bericht, Entwurf Stand 06.07.2000

[172] MAYR, D.; HEIGERTH, G. (2000): Verlandungsprobleme des KW Hallein und modelltechnische Lösungsansätze, Betrieb und Überwachung wasserbaulicher Anlagen – Symposium Oktober 2000, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Technische Universität Graz 34

[173] Wasserwirtschaftsamt Traunstein (2000): Ergebnisprotokoll zur 6. Geoteamsitzung vom 02.11.2000 in Salzburg, Amt der Salzburger Landesregierung

[174] KNAUSS, J. (1995): Von der Oberen zur Unteren Isar ... Sohlensicherung an der Unteren Isar: Sohlstufenkonzept – Belegung der Sohle mit größeren Steinen in offener Anordnung, Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Nr. 76

[175] HARTLIEB, A. (1999): Offene Deckwerke – Eine naturnahe Methode zur Sohlstabilisierung eintiefungsgefährdeter Flußabschnitte, Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Nr. 85

Vorwort

Die Salzach befindet sich flussabwärts der Saalachmündung in einem Erosionszustand, der sowohl aus wasserwirtschaftlicher als auch aus ökologischer und naturschutzfachlicher Sicht eine Sanierung des Flusses unbedingt erforderlich macht. Der unbefriedigende Zustand der Salzach, insbesondere die starken Eintiefungstendenzen, führen von Jahr zu Jahr zu weiteren Verschlechterungen. Ein großes Hochwasser kann schwere Schäden verursachen, die voraussichtlich nur mit hohem technischen und finanziellen Aufwand behebbar wären.

Die Ständige Gewässerkommission, eingerichtet auf der Basis des Regensburger Vertrags zwischen Deutschland und Österreich, veranlasste deshalb Anfang der 90er Jahre die "Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach (WRS)" mit der Zielsetzung, Maßnahmen zur Sanierung der Salzach im Bereich von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn zu entwickeln.

Der Auftrag dazu erging an die Sachverständigen-Arbeitsgruppe "Wassermengenwirtschaft, Wasserbau". Die Durchführung der Untersuchung wurde einer ad-hoc Arbeitsgruppe übertragen. Die komplexe Aufgabenstellung für die nahezu 60 km lange Flußstrecke erforderte eine Vielzahl von Detailuntersuchungen bis hin zum Einsatz modernster, teilweise erst zu entwickelnder mathematischer und physikalischer Methoden und Modelle.

Um die Fülle der Ergebnisse der Rahmenuntersuchung der interessierten Öffentlichkeit und der Fachwelt zugänglich zu machen, dient eine eigene Schriftenreihe bestehend aus einem Zusammenfassenden Bericht und 12 Fachberichten. Der Zusammenfassende Bericht vermittelt einen Überblick über die flußmorphologischen und gewässerökologischen Probleme der Salzach, die Konzeption und Durchführung der Planung sowie die erarbeiteten Lösungen. Die übrigen Berichte informieren vor allem über die Erhebung und Verwertung der Grundlagen, die Entwicklung und Anwendung der eingesetzten Methoden und Instrumente sowie die Bewertung der Varianten und Lösungen. Die Fachberichte, ihre Verfasser und die Bezugsquellen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Die Sprecher der Sachverständigen-Arbeitgruppe "Wassermengenwirtschaft, Wasserbau":

Wien, im Dezember 2000 — München, im Dezember 2000

Franz König
Ministerialrat

Jens Jedlitschka
Ministerialrat

Fachberichte der Schriftenreihe zur Wasserwirtschaftlichen Rahmenuntersuchung Salzach

Nr.	Titel	Verfasser	Bezugs-quelle
1	Zusammenfassender Bericht	ad-hoc Arbeitsgruppe Rahmenuntersuchung Salzach	LfW
2	Untersuchungen zur Flussmorphologie der Unteren Salzach	Mangelsdorf, Schaipp, Weiß	LfW
3	Vegetation der Salzachauen	Gruppe Ökologie	LfW
4	Geschiebetransportmodellierung	Gutknecht, Hartmann, Hengl, Otto, Stephan	ASLR
5	2D-Abfluss-Simulation	Nujic, Schwaller	LfW
6	Simulation des Bodenwasserhaushaltes und der Grundwasserverhältnisse in den Salzachauen	Fank, Rock, Stenitzer	ASLR
7	Morphologische Auswirkungen von Aufweitungen in der Salzach – ingenieurpraktische Berechnung und physikalische Modellierung.	Bechteler, Hartmann, Wieprecht	LfW
8	Physikalisches Modell Sohlrampe mit Mäanderstrecke	Hengl, Platzer	ASLR
9	Wasserwirtschaftliche Planungs- und Bewertungsmethodik sowie Variantenvorauswahl	Hengl	ASLR
10	Grundlagen, Methoden und Anwendung der ökologischen und naturschutzfachlichen Bewertung	Gruppe Ökologie	LfW
11	Auswirkungen und Bewertung der Maßnahmen auf die land- und forstwirtschaftlichen Nutzungen der Salzachauen	Gulder, Kölling, Pötsch, Rintelen,	LfW
12	Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Lösungsvarianten	IWB, ASLR, AOÖLR, WWA-TS	ASLR

Abkürzungen:

LfW: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstr. 67, D-80636 München
ASLR: Amt der Salzburger Landesregierung, Michael-Pacher-Str. 36, A-5010 Salzburg
AOÖLR: Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Kärntnerstr. 12, A-4021 Linz
WWA-TS: Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Rosenheimer Str. 7, D-83278 Traunstein
IWB: Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Severingasse 7, A-1090 Wien

1 Problemstellung und Auftrag

Die gewässermorphologische Situation am Unterlauf der Salzach war wiederholt Gegenstand umfangreicher Untersuchungen. Die WRS hatte bereits 1989 eine Fortschreibung der 1980 veröffentlichten flußmorphologischen Untersuchung [6] unter Einbezug der oberhalb liegenden österreichischen Strecke vorgesehen. Als erstes Teilergebnis wurde 1995 eine Grundlagenuntersuchung [2] abgeschlossen, welche die Bohrprogramme der Jahre 1991 bis 1993 zur Erkundung der anstehenden geologischen Verhältnisse unterhalb der Saalachmündung zusammengefaßte. Parallel zur Grundlagenuntersuchung entstand der Bedarf, diese Ergebnisse mit anderen flußmorphologischen Teiluntersuchungen von WRS und GUS [23], sowie neureren wissenschaftlichen Erkenntnissen in Beziehung zu setzen und alle Aspekte in einer Gesamtbetrachtung der Unteren Salzach zwischen Salzachöfen und Inn zusammenzuführen.

Ein dreiköpfiges Bearbeiterteam (RD Dr. Mangelsdorf, LfW; BD F. H. Weiß, LfW; BOR Schaipp, bis 1996 LfW, bis 1997 StMLU, danach WWA Traunstein) erhielt in den Jahren 1996 und 1997 von der ad-hoc Arbeitsgruppe den Auftrag diese Gesamtbetrachtung als Grundlage der Variantenbearbeitung publikationsreif auszuarbeiten. Die Redaktion des nun vorliegenden WRS-Fachberichtes Nummer 2 „Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach“ übernahm BOR Schaipp. Textbeiträge zum Fachbericht lieferten insbesondere der Landesgeologe von Salzburg Dr. Braunstingl, HR Dr. Platzer, IWB, R Dr. Hengl, IWB und LOBR Eggertsberger, ASLR. Von den bayerischen Bearbeitern wurden Textentwürfe erstellt, deren Durchsicht und Korrektur zur WRS-internen Approbation von den Wasserbauverwaltungen der Bundesländer Salzburg und Oberösterreich (Delegation von Durchsicht und Korrektur an das IWB) vorgenommen wurde.

Im Laufe der Bearbeitung zeigte sich deutlich, daß die flußmorphologischen Zusammenhänge wie Geschiebeeintrag und Entwicklung der Flußsohle wesentlich von den Verhältnissen oberstrom der eigentlichen Untersuchungsstrecke der WRS (Salzach zwischen Saalachmündung und Inn) abhängen. Es bestand somit die Notwendigkeit die flußmorphologischen Untersuchungen auf weite Teile des Einzugsgebietes der Unteren Salzach auszudehnen und die Salzach von Urstein stromabwärts sowie die Saalach ab dem Kraftwerk Rott/Freilassing einer genaueren und einheitlichen geologisch-flußmorphologischen Bearbeitung zu unterziehen. Um ein schlüssiges Gesamtbild des Geschiebehaushaltes zu bekommen wurde die Salzach bis zur Lammermündung bzw. Paß Lueg miteinbezogen, ferner die Talsperre Kibling an der Saalach, welche eine Schlüsselposition für den Geschiebehaushalt von Saalach und Unterer Salzach innehat.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, eine möglichst genaue Kenntnis über den Untergrund der Flußsohle sowie des Geschiebehaushalts zu erlangen, und damit fundierte Aussagen zu den grundlegenden Voraussetzungen (vgl. [29] Seite 79 - 84) von Maßnahmenplanungen bereitzustellen. Erarbeitet wurden insbesondere:

- Situation zu Korrektionsbeginn, Ablauf der Korrektion und deren Folgen.
- Lage, Ausdehnung und der derzeitige Zustand von erosionsgefährdeten Strecken.
- Grundlagen zur künftigen Sohlentwicklung, Möglichkeiten und Grenzen von Prognosen.
- Kenntnis des Geschiebehaushaltes, Möglichkeiten der Geschiebebewirtschaftung.

2 Geologische Situation

Die geologische Situation des unteren Salzachtales - vor allem die quartärgeologische Entwicklung - ist in zahlreichen Arbeiten beschrieben worden (u.a. PENCK / BRÜCKNER [24]; EBERS / WEINBERGER / DEL NEGRO [14]; VAN HUSEN [20]); im folgenden wird deshalb nur ein kurzer Überblick gegeben. Arbeiten zur Gewässermorphologie existieren weniger als wissenschaftliche Abhandlungen, sondern mehr in fachtechnischen Gutachten. Erste Darstellungen geben die Denkschriften von 1888 und 1909, verstärkt seit 1933 und vor allem nach dem Krieg in zahlreichen Gutachten und Aufsätzen [5] wieder.

2.1 Salzachtal und Salzburger Becken

Die ursprüngliche Anlage eines ersten Salzachtales ist kaum mehr zu rekonstruieren. Von österreichischen Geologen wurde schon früh darauf hingewiesen, daß im Gebirgsraum um das Salzburger Stammbecken große SSO bis NNW streichende Störungen vorhanden sind und daß die Salzach auffallend diesen Verlauf nachahmt. Die Entstehung der Salzburger Bucht sei mithin rein tektonisch. PENCK [24] hielt die Übertiefung des Tales für rein glazial. Deutlich zu erkennen ist jedenfalls die schräg nach NNW gerichtete Anlage des Salzburger Taltrichters, die sicher tektonischen Ursprungs ist. Die glaziale Übertiefung dieses Stammbeckens wurde dadurch wahrscheinlich noch gefördert. Die Hauptstoßrichtung des vorrückenden Eises geschah also generell in Richtung NW bis NNW, und zwar wahrscheinlich bei allen Vereisungsperioden. Mit dieser Hauptstoßrichtung war offensichtlich auch die eigentliche Schürfkraft des Eises nach Überwindung des Stammbeckens verbunden, nachdem umlenkende Hindernisse nicht vorhanden waren oder nicht dazu ausreichten (z.B. Haunsberg). Die Entstehung des Salzachtales im Alpenvorland war somit vorgezeigt. Es ist anzunehmen, daß die interglazialen Ur-Salzach-Flüsse in dieselbe oder ähnliche Richtungen gezwungen wurden, denn die großen Übertiefungsbeträge bei Laufen, im Oichtental und im Tittmoninger Becken werden nicht allein von der gegenüber den anderen relativ schwachen Würmvereisung stammen. Der schräge Verlauf des heutigen voralpinen Salzachtales war jedenfalls die Folge des ebenso aus den Alpen herausquellenden Eises, das vielleicht schon altpleistozänen Vorformen folgte.

Die Anlage des Salzachvorlandgletschergebietes gliedert sich klassisch in Stammbecken vom Paß Lueg bis etwa Salzburg und Zweigbecken im Alpenvorland, wobei die Becken von Freilassing bis Laufen und Tittmoning, die vom Fluß unmittelbar geprägt sind, ebenfalls als Zweigbecken anzusehen sind.

Das Stammbecken ist stark übertieft. Durch Bohrungen kann die Lage des Felsuntergrundes in etwa verfolgt werden (PREY 1959 [26]; VAN HUSEN [20]). vgl. Abb. 1. Die glaziale Übertiefung setzt südlich von Golling am Ofenauer Berg ein. Das Gletschereis hatte bis dahin den Riegel bzw. Engpaß zwischen Hagengebirge und Tennengebirge zu überwinden; in diesem Paß Lueg konnte 1977 bis 45 m unter der Salzach nur ”Seeton", aber kein Fels erreicht werden. Die Brücke der Tauernautobahn schwebt quasi über einer mindestens 100 m übertieften Salzachschlucht (vgl. Abb. 1):

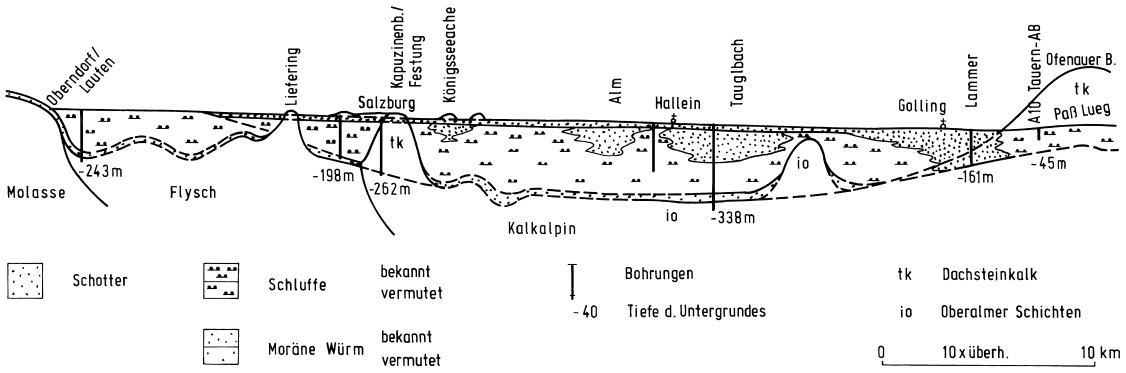


Abbildung 1: Salzachtal, geologischer Längsschnitt im Überblick

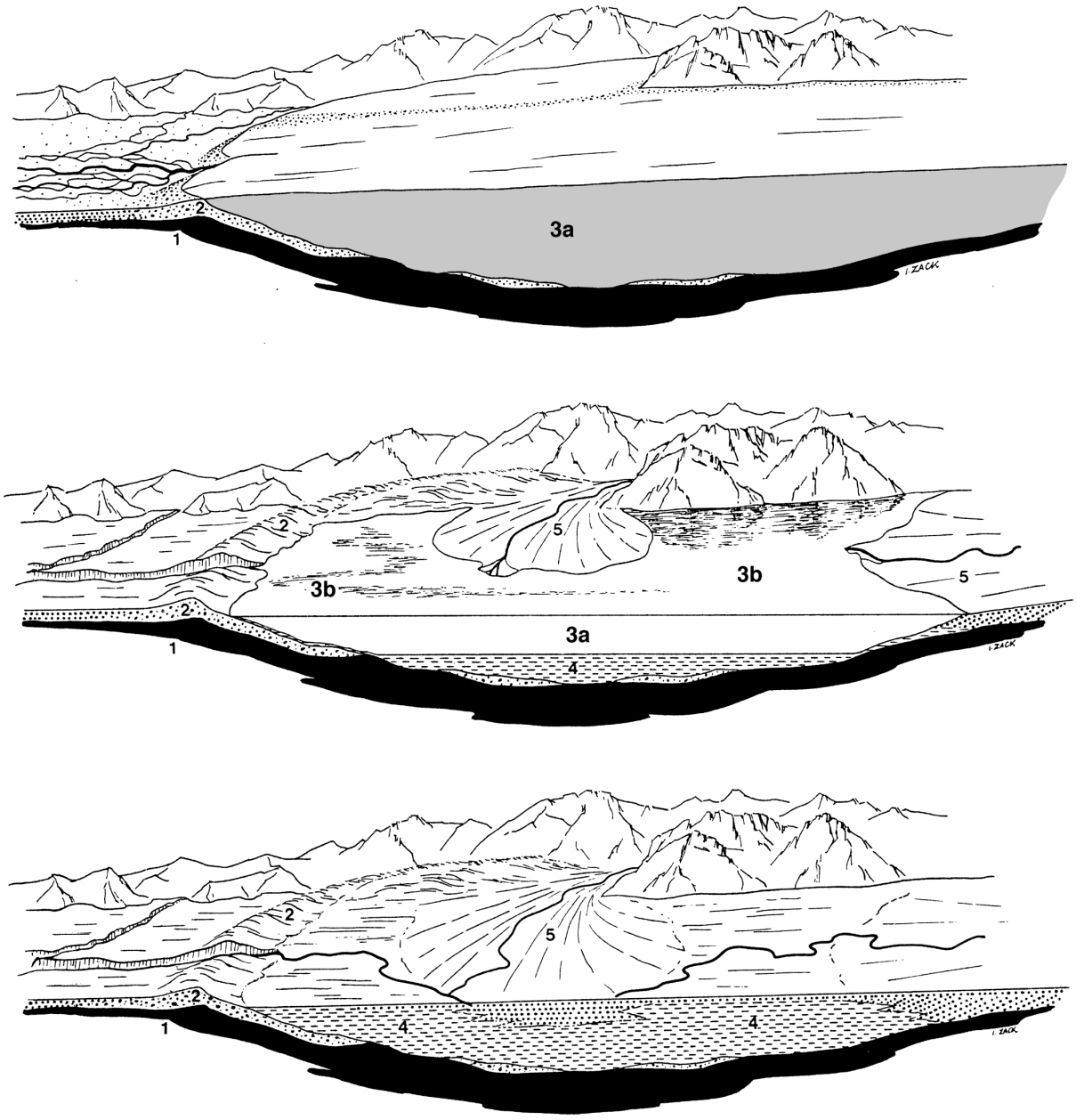
Bei Golling an der Lammermündung in die Salzach ist der Felsuntergrund bei Grundwassererschließungsarbeiten in 161 m unter Gelände angetroffen worden. Eine 2056 m tiefe Thermalbohrung hat 1997 nach etwa 100 m Fels (Jurakalken) mehrere Hundert Meter Haselgebirge durchörtert; dieses Gestein am Kreuzungspunkt von mehreren großen tektonischen Störungszonen ist hauptverantwortlich für das eiszeitlich tief und breit ausgeräumte Salzburger Becken am Zusammenfluß des Salzach- und des Lammergletschers.

Die 1976 am südlichen Ortsrand von Vigaun abgeteufte Bohrung V1 der ÖMV erreicht nach 338 m den Felstalboden. Im nördlichen Teil ist er aus zwei Bohrungen einer Brauerei bekannt: die südliche beim Kuglhof erreichte bei 262 m Tiefe den Fels, etwa 1 km nördlich traf die zweite Bohrung den Fels - einen Flyschmergel - bei 198 m unter Gelände. Im Norden gegen Ende des Salzburger Beckens an der Oichten ist aus Rohöl-AG Schußbohrungen 1993 eine Felstiefe von über 243 m Tiefe erwiesen, hier schon an der Überschiebungslinie vom Flysch auf die Molasse. Am österreichischen - d. h. östlichen - Beckenrand ist diese tektonische Grenze zufällig in 65 m Tiefe erbohrt worden.

Das ganze Becken ist von Golling bis Laufen eine 2 bis 3 km breite und 300 m tiefe Rinne mit Inseln wie Festungs- und Kapuzinerberg oder Liefering. Das vorwürmzeitliche Becken setzt sich weiter nach Nordnordost ins Oichtental fort; die Salzach bahnte sich wahrscheinlich während der Abschmelzphase einer Eiszeit einen neuen Weg bei Laufen. Die steilen Ufer des übertieften Troges sind beispielsweise bei Hallein/Gamp bis Kuchl als 5 km breite Großrutschung aus Kreideschichten in das spätwürmzeitliche Salzburger Becken eingeglitten; der Gamper Felssturz liegt als jüngstes Ereignis sogar auf den Flußterrassen.

Die Sedimentfüllung des großen Beckens besteht wahrscheinlich im wesentlichen aus jungglazialen Ablagerungen. Ältere Bildungen stellen die konglomeratartigen Deltaschotter westlich Golling (Torrener Nagelfluh) dar; zusammen mit ähnlichen Vorkommen sind sie Zeugen von älteren Stauseen, die nach dem Rückgang älterer Vereisungen kurzfristig bestanden und die einen 20 bis 50 m höheren Wasserspiegel besaßen, als der spätwürmglaziale Stausee.

Die jungglaziale - würmzeitliche - Beckenfüllung beginnt mit einer Grundmoräne unmittelbar auf dem Liegenden der Oberalmer Kalke, die in der Bohrung Vigaun rund 100 m Mächtigkeit erreicht und wohl im gesamten Becken verbreitet ist. Sie tritt auch in den beiden Brauereibohrungen über dem Fels auf. Sie wird als Ablagerung des Würmgletschers gedeutet.



Legende	1	Felsschwelle	3b	eisfreie Seewanne, See
	2	Endmoräne	4	feinkörnige Sedimente, Seeton
	3a	Gletscher-Eis	5	gröbkörnige Delta-Ablagerungen

Abbildung 2: Zungenbecken und ihre Entwicklung nach [21]

Den größten Teil der Beckenfüllung bilden Seetone verschiedener, aber vorwiegend schluffiger Konsistenz. Eingelagert in diese mächtige Sedimentfolge sind mehrfach schluffig-sandige Kiese, die als Einschüttungen bzw. Schwemmkegel von einmündenden Seitenbächen anzusehen sind. Sie sind sowohl in der Bohrung Vigaun wie in mehreren tiefen Brunnenbohrungen erschlossen worden.

Das hangende Sediment im Becken bilden im Mittel 20 m mächtige Schotter, die mit von S nach N steil abnehmender Mächtigkeit die gesamte Fläche überziehen. Sie liegen entweder erosiv diskordant auf dem liegenden Seeton oder mit der ursprünglich vorhandenen z.T. mehrere Meter mächtigen sandigen Übergangsschicht.

Der Salzburger Stausee und die spätglazialen Seen im Freilassing-Laufener und Tittmoninger Becken verlandeten relativ schnell, vor ca. 10000 Jahren bestand ein durchgehendes Salzachflußsystem.

2.2 Rezente Anlage des Tales

Etwa um 8500 v. Chr. bildete sich mit der ausgedehnten Friedhofterrasse die Salzburger Ebene aus. Diese Terrasse ist - dort allerdings nur noch in Resten vorhanden - bis nach Burghausen zu verfolgen. Damit ist eine durchgehende Entwicklung des Flusses als verzweigter geschiebeführender alpin geprägter Fluß eingetreten.

Der Friedhofterrasse tiefer vorgelagert ist nur die Hammerauterrasse, sie ist gleichfalls bis nach Burghausen nachweisbar. Mit ihr begann das Postglazial (um 7000 v. Chr.); während dieser Zeit bildeten sich auf der Friedhofterrasse ausgedehnte Moore.

Noch im Postglazial tiefte sich die Salzach auf das Talniveau ein, das sie im wesentlichen bis zur Korrektion beibehielt und auf dem heute die Auwaldvegetation steht. Die Entwicklung verlief seit dieser Zeit relativ gleichmäßig und für gewässermorphologische Verhältnisse ruhig.

Zwangspunkte stellen im morphologischen Geschehen die Enge von Laufen/Oberndorf und der Durchbruch von Nonnreit bzw. unterhalb davon der von Burghausen dar. Zwei Felsaufragungen in der Flußsohle traten erst mit der rinnenhaften Eintiefung der Salzach in diesem Jahrhundert, vorwiegend in den letzten Jahrzehnten, in Erscheinung: der Kuchler Schwall und die Bergheimer Schwelle.

Eine weitere morphologische Besonderheit, die erst mit der starken Eintiefung des Flußlaufes der letzten Jahrzehnte wirksam wurde, ist die Eintiefung in die Ursteiner Nagelfluh (Benennung nach [22], vgl [17]) die in Salzburg auch als "Hurdenbänke" bezeichnet wird. Das Alter der Nagelfluh dürfte nicht älter als Spätglazial sein. Es ist keine ältere Bildung, die gewissermaßen von den Schottern der Friedhofterrasse umspült worden wäre, sondern originär im Talraum entstanden und horizontal geschichtet. Der Verfestigungsgrad ist, abhängig vom Kalkgehalt, unterschiedlich. Das Material war ursprünglich von der Friedhofterrasse überlagert und wurde erst in jüngster Zeit erosiv freigelegt.

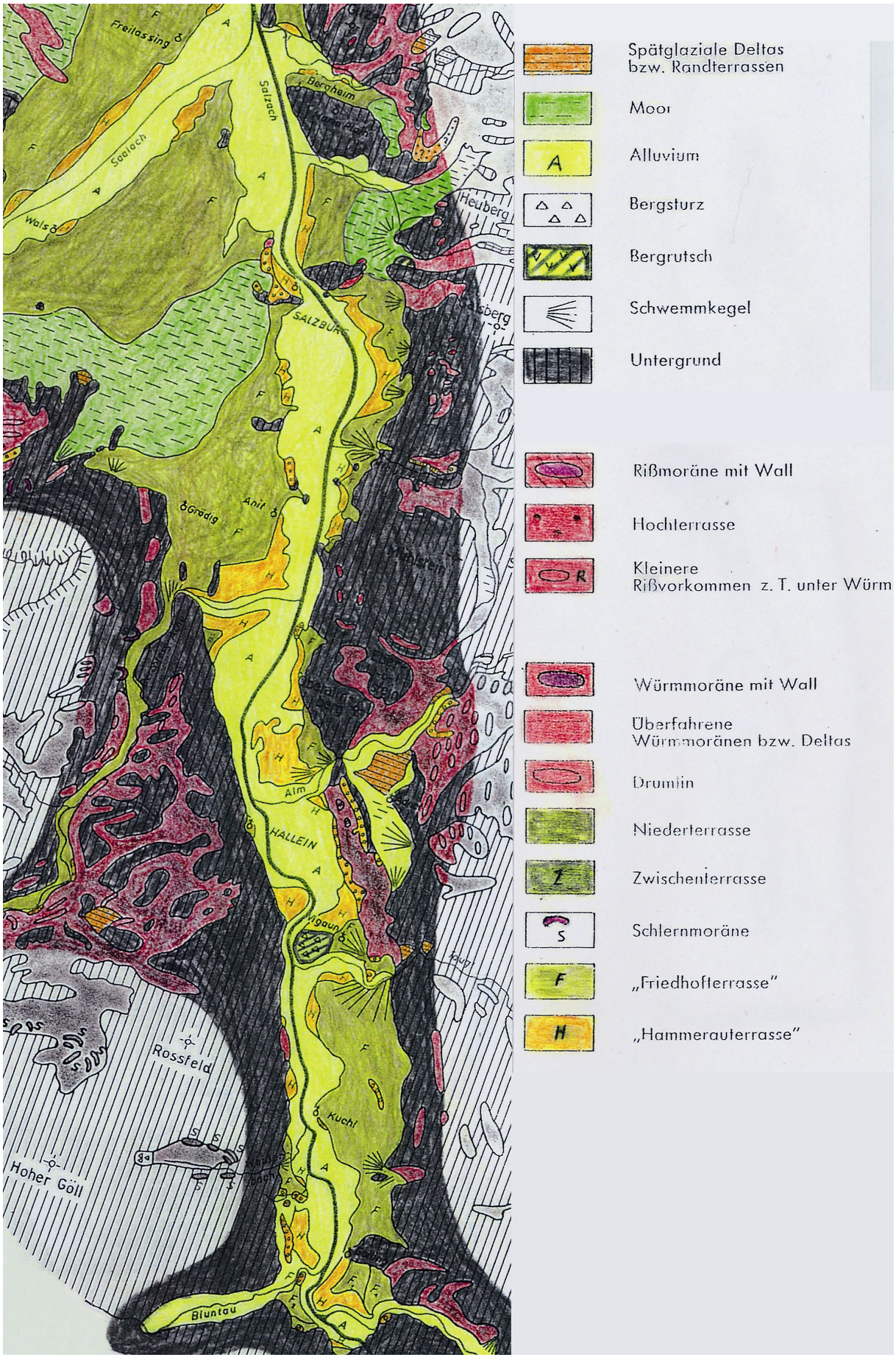


Abbildung 3: Terrassenstrukturen im Salzburger Becken nach [14] verändert

Bereits mit Beginn des Postglazials wurde die Salzach ab Hallein durch die Königseer Ache und möglicherweise auch durch Einflüsse aus dem Saalachtal nach Osten an den östlichen Talrand gedrängt. Es wäre sonst nicht erklärlich, warum sich der Fluß durch die Felsaufragungen in der Stadt Salzburg zwängt, wo ihm die gesamte Talbreite weiter westlich (und diese wurde vom Gletschereis und dem Urfluß auch genutzt) zur Verfügung gestanden hätte. Allerdings ist in dieser enge eine Mindestübertiefung von 74 m nachgewiesen; 1984 konnte der Seeton nicht bis zum Fels durchstoßen werden.

2.3 Mündungsbereich der Saalach

Das Tal der unteren Saalach zeichnet überwiegend eine große, bereits im Tertiär angelegte SW/NO streichende Störung nach. An dieser Saalach-Störung haben Horizontal- und Vertikalversetzungen stattgefunden, so daß z.B. im Bereich von Piding Flysch und Kalkalpin nebeneinander stehen. Diagonal zur Saalach-Störung verläuft eine andere Störung, die vom Tal Piding-Anger teilweise nachgezeichnet wird. Diese Linie gab den quartären Saalachloben des Salzachgletschersystems den Weg nach NW frei bzw. vor, weil die sogen. Pidinger Schwelle teilweise den Weg des Eises behinderte. Die würmzeitliche Vergletscherung konnte aber im wesentlichen ungehindert nach NO vordringen und wurde damit erst recht ein Teil des Salzachvorlandgletschers.

Das untere Saalachtal bzw. der Mündungsbereich der Saalach sind Teil des übertieften Talraumes der Salzach. Es tritt hier die gleiche mächtige Talfüllung auf, die mit der Verlandung des Salzburger Sees und Bildung der spät- bis postglazialen Terrassen endete. Es ist dies der westliche Rand des Stammbeckens und die Saalach füllte mit ihren Sedimenten in etwa den westlichen Uferbereich des ehemaligen Salzburger Sees auf.

3 Unterlagen und Untersuchungen

Im folgenden werden die geologischen und gewässermorphologischen Unterlagen und Bearbeitungen von Teilprojekten zusammengefaßt, die zur Verfügung standen und auf deren Basis die weiteren Überlegungen beruhen.

3.1 Bohraufschlüsse zwischen Burghausen und Saalachmündung

3.1.1 Ältere Bohrungen

Die ersten Versuche, die Flußsohle durch Bohrungen zu erkunden, geschahen in den dreißiger und vierziger Jahren; Ziel war die Erkundung geeigneter Kraftwerksstandorte [6]. Die ersten verwertbaren Flußbohrungen stammen aus dem Jahr 1951. Sie wurden bis zu 28 m unter der Sohle abgeteuft. Von den Voruntersuchungen der Österreichisch-Bayerischen Kraftwerke AG (ÖBK) konnten zwei Flußbohrungen bei Fkm 14,1 und 14,2 aus dem Jahr 1964 im Bereich der geplanten Staustufe Burghausen verwendet werden, weitere Flußbohrungen wurden 1975 von der ÖBK lediglich im Bereich der geplanten Sperrenstellen und Staustrecken abgeteuft, allerdings nur bei den Stufen Eching (Fkm 37,0 - 40,0) und Tittmoning Fkm 24,5 - 27,2), von der vorgesehenen Sperrenstelle Laufen existiert keine jüngere Flußbohrung. Uferbohrungen wurden dagegen 1975 beidseitig zahlreich im vorgesehenen Staubereich Laufen (Fkm 59,0 - 49,5) sowie zwischen Eching und Tittmoning (Fkm 40,5 - 24,0) niedergebracht, dagegen keine im Staubereich Burghausen, der im wesentlichen die Nonnreiter Enge umfassen würde. Von den Flußbohrungen bei Eching und Tittmoning konnten für die Begutachtung 1980 [6] 9 bzw. 10 Profile verwendet werden; sie reichten bis 9 m unter die Flußsohle.

Bestand somit bei den Uferbohrungen ein befriedigender Überblick über die geologischen Verhältnisse zumindest im Bereich der beiden Eisrandstauseen, so waren bislang nur spärliche Aussagen über den unmittelbaren Flußuntergrund möglich und damit auch mit Sicherheit nicht alle erosionsgefährdeten Stellen oder Strecken im Fluß bekannt.

3.1.2 Bohrprogramme 1991 - 1993

In einem ersten Arbeitsschritt wurde der Streckenabschnitt zwischen der Saalachmündung und der Laufener Enge abgebohrt. Die Bohrungen kamen in den Monaten Oktober bis Dezember 1991 bei Niedrigabflüssen der Salzach zur Ausführung. Hierbei mußten, da Wert auf Untergrundaufschlüsse im Flußbett zu legen war, Zufahrten für das Bohrfahrzeug geschaffen werden. Dies geschah in Form von Schüttrampen, die z.T. auch im Steilhang angelegt wurden, um eine Kiesbank im Fluß zu erreichen. War keine Kiesbank vorhanden, wurde die Rampe in den Fluß vorgeschoben. Da sie nur für die kurze Dauer der Bohrung stehen mußte, wurde sie aus Kiesmaterial geschüttet; bei Arbeiten direkt im Fluß und damit bei stärkerer Strömung kam eine Sicherung aus Wasserbausteinen hinzu. Die nach den Bohrarbeiten aufgegebenen Rampen beseitigte der Fluß in kurzer Zeit auf natürlichem Weg. Lediglich zwei Bohrungen, B2/91 und B5/91 mußten noch als Uferbohrungen ausgeführt werden, sie deckten damit aber auch eine Informationslücke in diesem Bereich ab.

Die Bohrungen wurden im Rammkernverfahren bzw. als Rotationskernbohrungen ausgeführt und regelmäßig für die Korngrößenanalyse beprobt. Die Anzahl der Bohrungen ergab sich aus der Notwendigkeit, eine durchgehende Interpretationsmöglichkeit zu besitzen. Wenigstens etwa alle 500 m einen Bohraufschluß zu erhalten, wurde deshalb als Minimum angesehen. Bei Bedarf, z.B. an kritischen Stellen im Sinne einer Erosionsgefährdung, war eine Verdichtung der Bohrpunkte vorgesehen; die genaue Anordnung wurde deshalb flexibel gehalten.

Die Bohrungen sollten in jedem Fall das Substrat der Geschiebesohle sicher erreichen und im Bedarfsfall dieses Substrat mehrere Meter durchteufen. Damit wurde nicht nur die Mächtigkeit der Geschiebeauflage ermittelt, sondern es konnte auch deren Unterlage beurteilt werden. Wie sich schnell herausstellte, traten beträchtliche Unterschiede im sedimentologischen Aufbau hervor, die vorher unbekannt waren, weshalb wiederholt noch während des Bohrvorganges entschieden wurde, die Bohrung tiefer zu führen.

Die Bohrungen wurden überwiegend am linken (bayerischen) Ufer abgeteuft, im Bereich der Enge zwischen Laufen und Oberndorf mußte teilweise auf das rechte Ufer gewechselt werden. Insgesamt kamen im ersten Bohrabschnitt 37 Bohrungen (B1/91 - B37/91) zur Ausführung, davon wie erwähnt nur zwei Uferbohrungen (B3/91 und B5/91), so daß bis unterhalb von Laufen 35 neue Flußbettbohrungen zur Verfügung stehen. Die Bohransatzpunkte sind nach Lage und Höhe eingemessen, wobei auf die Höhenkoten der amtlichen Flußeinteilung zurückgegriffen werden konnte. Nach Möglichkeit wurden Bohrungen auf oder in die Nähe der amtlichen 200 m-Querprofile gelegt. Somit können die Beobachtungen der Eintiefungs- oder Auflandungsvorgänge im Flußbett direkt mit der geologischen Situation des Bettuntergrundes korreliert und auch künftig beurteilt werden (s. Anlage 1).

Der zweite Bohrabschnitt bis Burghausen wurde im folgenden Herbst 1992 bearbeitet. Zwischen Fkm 39 und Fkm 15 kamen insgesamt 47 Rammkernbohrungen (B1/92 - B47/92) zur Ausführung, davon 40 Bohrungen von der bayerischen Seite aus und sieben Bohrungen (B41/92 - B47/92) vom österreichischen Ufer aus.

In diesem Abschnitt stehen mehrere Bohrungen nicht mehr nur im Flußbett oder auf einer Kiesbank, son-dern es wurde der technisch aufwendigere Versuch unternommen, im Stromstrich bzw. am Prallhang zu bohren, weil dort die geringsten Geschiebeauflagen vermutet und auch gefunden wurden. Hierbei mußten Wassertiefen bis über 4 m mit steingesicherten Rampen überwunden und erhebliche Fließgeschwindigkeiten beherrscht werden. Dadurch sind aber gerade einige der kritischsten Stellen erkannt worden.

Da von der Konfiguration des Flußbettes her auch die Flußbohrungen i.e.S. nie in der Flußmitte stehen (Kiesbank oder Rampe orographisch links oder rechts (vgl. Anlage 1), andererseits aus den vorhergehenden Aufschlußarbeiten ersichtlich war, daß Höhenlage und Mächtigkeiten der Schichten von Ufer zu Ufer u.U. stärker differieren, wurden in einem dritten Bohrabschnitt die Bohrungen BL1/93 mit BL21/93 überwiegend (16 Stück) ausgewählten linksufrigen Bohrungen gegenüber angesetzt. Die restlichen 5 Bohrungen stehen dort, wo noch größere Aufschlußlücken existierten (s. Anlage 1).

Zusätzlich zu den 1992 angesetzten 3 Querprofilen bei Fkm 27,8, Fkm 21,6 und Fkm 19,0 konnten auf

diese Weise 16 weitere Querprofile gewonnen werden (vgl. Anlage 4). Sie verdeutlichen die Unterschiede im geologischen Aufbau des Flußbettuntergrundes, machen aber auch die Gemeinsamkeiten deutlich. Diese Querprofile liegen alle im Streckenabschnitt bis ca. Fkm 39,0. Der Streckenabschnitt bis Tittmoning erscheint als relativ gleichförmig im Aufbau, so daß hier zunächst auf Doppelbohrungen verzichtet und diese erst weiter unterhalb wieder angesetzt wurden.

3.1.3 Bohrprogramme 1997 - 1998

Im Rahmen einer Studie über die untere Saalach wurde im Winter 1997/98 ein zwischen der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung und dem ASLR abgestimmtes Bohrprogramm von Ufer- und Flußbettbohrungen durchgeführt. Es sind dies auf dem österreichischen Ufer die Bohrungen BLÖ 1/97 bis BL Ö5/97 und vom bayerischen Bohrprogramm die Aufschlüsse B1, B2, B3, B20 und B21.

Die Bohrungen wurden auf oder in unmittelbare Nähe zu den amtlichen Flußquerprofilen gelegt: BL Ö1/97 bei Fkm 0,2 (Saalachmündung, Geländesporn rechts); B20, B1 und BL Ö2/97 bei Fkm 0,8; B2 und BL Ö3/97 bei Fkm 1,4; B21 und BL Ö4/97 bei Fkm 1,8; B3 und BL Ö5/97 bei Fkm 2,4. Die Ergebnisse sind in Anlage 9 bis 11 dargestellt (vgl. auch 4.4).

3.2 Gutachten zur Salzachsanierung Oberndorf - Hallein 1963

Im Jahr 1963 erstattete das Büro Leopold Müller/Franz Pacher, Zivilingenieure, Salzburg, dem ASLR ein baugeologisches Gutachten zur Salzachsanierung zwischen den Fkm 47,0 (Laufen/Oberndorf) und Fkm 83,0 (Hallein) [22]. Ziel waren Kenntnisse über den Zustand der Flußsohle, der Geschiebeauflage, der Lage und Konstitution eventuell sohlstützender Felsaufragungen einschließlich des Ursteiner Konglomerates sowie Kenntnisse über mögliche Standorte bzw. Gründungsvoraussetzungen von sohlstützenden Querbauten im bezeichneten Flußabschnitt.

In Längs- und Querschnitten wurden 38 rechtsufrige, 37 linksufrige und 18 (überwiegend im Querprofil an Brückenbauwerken abgeteufte) Flußbettbohrungen verarbeitet. Sie stammen teils aus einem für die Untersuchung eigens durchgeführten Bohrprogramm, teils aus den Vorarbeiten für Bauwerksgründungen bzw. -sanierungen.

Das Gutachten zeigt zum ersten Mal die Schichtenfolge am und unter dem Fluß einschließlich der Geschiebeauflage einheitlich über einen längeren Flußabschnitt der Salzach von 36 km auf. Gemäß seinem Auftrag treten im Gutachten aber gewässermorphologische Aspekte gegenüber baugeologischen und Gründungsfragen etwas zurück.

3.3 Bohraufschlüsse aus verschiedenen Projekten

3.3.1 Aufschlüsse im Umkreis der Bergheimer Schwelle

In der Umgebung der Bergheimer Flyschschwelle existieren zahlreiche Bohrungen, die zur Baugrund-

un-tersuchung verschiedener Projekte abgeteuft wurden. Bereits das Gutachten [22] weist 7 linksufrige und 3 rechtsufrige Bohrungen nach (die zahlreichen Aufschlüsse landeinwärts bleiben hier unberücksichtigt).
Im Zuge der Planungen für den Ufersammler Salzach-Glan und den Salzachdüker des RHV Salzburg wurden 1983/84 6 Bohrungen rechtsufrig zwischen Fkm 59,4 und 60,585 (entlang der Dükertrasse) sowie eine linksufrige bei Fkm 60,585 abgeteuft.

Weitere Untersuchungen stammen vom Einreichprojekt KW Hagenau. Der "Bau- und hydrogeologische Vorbericht" von 1996 des Büros Dr. Bechtold, Seeham [11], verwendet neben 6 linksufrigen Bohrungen und 3 rechtsufrigen aus dem Gutachten [22], die Bohrungen 1 - 3 von 1984 sowie 6 eigene Kernbohrungen (HG1 - HG6). Hinzu kommen 14 Rammsondierungen und im Bereich zwischen der Fischachmündung und der Saalachmündung die 6 Kernbohrungen KB20 re 1 - 3 und KB20 li 1 - 3. Flußbohrung ist hiervon nur die HG6 - 94 unterhalb der Bergheimer Schwelle.

3.3.2 Autobahnbrücke Liefering, Fkm 62,95

Der Untergrund bei der Brücke der A 1 Westautobahn wurde 1959/60 mit 3 Bohrungen links (BI L, BII L und BIII L), 4 Flußbohrungen (B1-B4) und 3 Bohrungen rechts (BIR, BIIR, BIIIR) erkundet.

Im Zuge des Neubaus dieser Brücke wurden 1994 4 neue Bohrungen (BL1/94, BL4/94 links; BL2/94, BL3/94 rechts) abgeteuft. Die Auswertung erfolgte unter Hinzunahme der 10 älteren Bohrungen durch das Büro Ingenieurgemeinschaft Geoconsult 1994.

3.3.3 Sohlstufe Salzburg-Lehen, Fkm 63,95

Im Zuge der Sohlstufenplanung sind zwischen Fkm 63,1 und 64,95 zahlreiche Bohrungen abgeteuft worden. Insgesamt 55 Fluß- und Uferbohrungen stehen auf diesem Abschnitt zur Verfügung, davon 46 Flußbohrungen (F1 und F3 - F60).

Bis ca. Fkm 64,3 stehen sie paarweise links und rechts im Flußbett (ab FB23), die Nummern FB20, 21 und 22 (Fkm ca. 64,35) zu dritt, so daß hier insgesamt 15 Querprofile konstruierbar sind (s. Anlage 7).

Die Bohrprofile sind auch für das Einreichprojekt KW Hagenau zu einem zusammenhängenden geologischen Längsschnitt zwischen Fkm 59,5 und 66,0 verarbeitet worden (vgl. Anlage 12).

Im Baustellenbereich der Sohlstufe selbst existieren 8 Uferbohrungen (UB7 mit UB10 links und UB11 mit UB14 rechts) und im Flußbett 14 Bohrungen (je 5 linke und rechte Seite, 4 in der Mitte).

3.4 Aufschlüsse Stadt Salzburg

- Traklsteg (Au-Straßen-Steg), Fkm 63,53:2 Uferbohrungen links und rechts 1988
- Lehener Brücke, Fkm 64,95: 4 Flußbohrungen 1961: Sch. 1 oberstrom re Pf., Sch. 4 oberstrom li Pf., Sch. 2 unterstrom re Pf., Sch. 3 unterstrom li Pf.

- Eisenbahnbrücke, Fkm 65,205: Querprofil 1961: 2 Uferbohrungen (B1 re, B2 li), 4 Flußbohrungen (BI am Pfeiler 1 li, BII am Pfeiler 2 mi, BIII am Pfeiler 3 mi, BIV am Pfeiler 4 re).
- Müllner Steg, Fkm 65,605: 1 Flußbohrung (B1/94) re, 1 Uferbohrung (B2/94) li, 1994.
- Makartsteg, Fkm 66,115: 2 Uferbohrungen (Nr. 16 li, Nr. 17 re).
- Staatsbrücke, Fkm 66,3: Querprofil 2 Uferbohrungen Nr. 14 re, Nr. 15 li = BL 2), 3 Flußbohrungen (Nr. 16 = BL3 re; Nr. 18 = BL5 mi; Nr. 17 = BL4 li).
- Mozartsteg, Fkm 66,65: 2 Uferbohrungen (Nr. 19 li, Nr. 22 re).
- Nonntaler Brücke (Karolinenbrücke), Fkm 67,045: 2 Uferbohrungen (Nr. 1 li, Nr. 6 re), 3 Flußbohrungen (Nr. 2 oberstrom li Pfeiler, Nr. 4 oberstrom re Pfeiler, Nr. 5 unterstrom re Pfeiler).
- Josefiausteg (Überfuhr), Fkm 68,5 (1979): 2 Uferbohrungen (Achspunkt 1 re, Achspunkt 2 li), 2 Flußbohrungen li Strompfeiler und re Strompfeiler; Aufschlüsse aus Schlitzwandgründungen.

Hinzu kommen im Stadtgebiet weitere Uferbohrungen zwischen Müllner Steg und Nonntaler Brücke (Nr. 7 li und Nr. 8 re). In die vorliegende Dokumentation wurden allerdings nur Ufer- oder ufernahe Bohrungen aufgenommen, die gewässermorphologisch aussagekräftig sind.

3.5 Aufschlüsse Salzburg - Hallein

Oberhalb des Josefiaustegs stehen bis Hallein aus dem Gutachten [22] 13 Uferbohrungen (8 li, 4 re) zur Auswertung zur Verfügung. Hinzu kommen die Baugrubenuntersuchungen für das KW Urstein bzw. die Autobahnbrücke, ferner die Bohr- und Schlitzwandaufschlüsse im Umfeld der Stufe Hallein.

3.6 Rammsondierungen und Schürfgruben

Die Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden fanden keinen Eingang in die Anlagen zur Untergrundgeologie, da ihr Erkenntnisgewinn primär für konkrete Baumaßnahmen und die Detailplanung von Maßnahmen nutzbar ist. Der geologische Teil der vorliegenden Untersuchung hat einen anderen Schwerpunkt: Die geologischen Zusammenhänge der Gesamtstrecke Untere Salzach. Dennoch sollen wichtige Teilergebnisse an dieser Stelle kurz angesprochen werden

Im März 1983 wurden von der Boden- und Baustoffprüfstelle des AOÖLR Sondierbohrungen im Bereich Fkm 35,837 - 36,170 durchgeführt (24 Sondierungen, 6 Bodenprofile und 1 Längsprofil). Ziel war die Ursachenerkundung von mehrfach aufgetretenen Ufersackungen in den Jahren 1975 bis 1981. Die im Abstand von 30 - 40 m relativ dicht vorgenommenen Sondierungen längs des Ufers vermitteln ein bewegtes Bild von sandiger Überdeckung, kiesigen Schichten und Seetonhorizont, welches mit dem grobmaschigeren Raster der Bohrungen 1991/93 (i.M. 500 m Abstand der Bohrungen) nicht in dieser Detailliertheit zu gewinnen war (vgl. Abb. 4). Weitergehende Ausführungen enthält 5.1.

Um über den Verlauf von Schichtgrenzen bis zur Oberkante der Kiesvorkommen im ufernahen Bereich detailliertere Erkenntnisse zu gewinnen wurden 1996 und 1997 im Freilassinger Becken (Bereich Fkm 59 - 50) und Tittmoninger Becken (Bereich Fkm 40 - 28) insgesamt 30 Nutsondierungen von der BPS im AOÖLR vorgenommen. Auf österreichischer Seite wurden 10 Profile, auf bayerischer Seite 20

Profile erkundet. Für die Variantenbearbeitung der WRS wurden ferner ufernahe Bereiche unter dem Aspekt der Geschieberemobilisierung durch Seitenerosion untersucht. In Zusammenarbeit mit den Flußbauver-waltungen wurden vom IKB 1997 insgesamt 30 Schürfgruben ausgehoben, deren Fkm-Lage weitgehend den Nutsondierungen entsprach. Beprobt wurde jeweils in den Tiefenstufen 1, 2, 3 und 4 m unter GOK sowie zusätzlich angetroffene sandige und kiesige Einschlüsse.

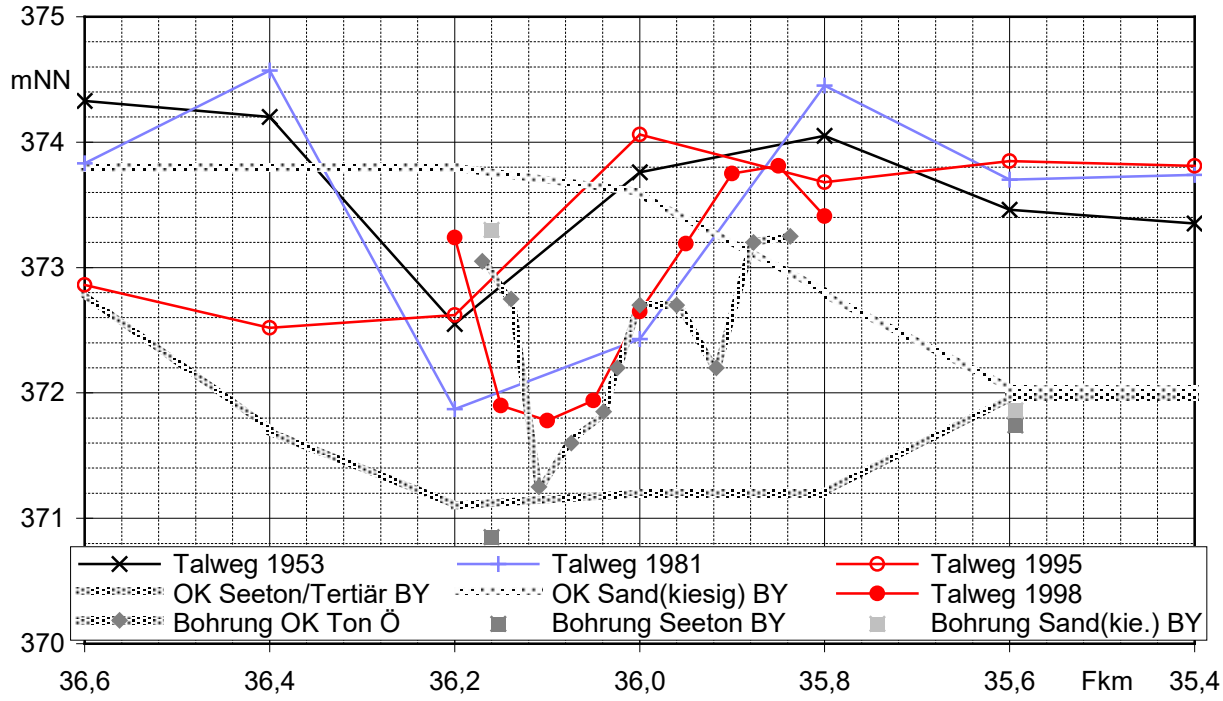


Abbildung 4: Vergleich von erosionsempfindlichen Horizonten und Talwegen im Bereich Fkm 36,0

Die Ergebnisse beider Untersuchungsmethoden sind in Anlage 23 grafisch zusammengefaßt. Die bodenkundliche Ansprache der Schichtfolgen war von der Zielsetzung und verfahrensbedingt nicht einheitlich, die Erkundungstiefe beschränkte sich i.d.R. auf die Feststellung der Oberkante von Kiesvorkommen.

Rammsondierungen werden generell zur Feststellung der Lagerungsdichte von nichtbindigen Böden eingesetzt. In bindigen Böden sind Aussagen über deren Zustand möglich. Bei wechselnder Schichtfolge können die Schichtgrenzen nach Eichung mittels vorangegangener Nutsondierung, Schürfgrube oder Bohrung interpretiert werden. Nutsondierungen eignen sich besonders dann, wenn kostengünstig lokale Verteilungsmuster der Untergrundgeologie erkundet werden sollen und zugleich in genügender Anzahl Bohrungen und Schürfgruben als Schicht-Referenzen niedergebracht wurden. Im vorliegenden Fall hatte die Nutsondierung jedoch einen zeitlichen Vorlauf zu den Schürfgruben und konnte zudem das grobmaschige Bohrraster vorangegangener Bohrungen nicht nutzen. Mit modernen Abteufgeräten (Eindringwiderstand-Drehwiderstand) der BPS kann bei ungünstiger Schichtfolge (Lockerböden auf sehr steife bindige Böden) aufgrund langjähriger Erfahrung eine Genauigkeit der Schichtgrenzen von 20 bis maximal 50 cm angenommen werden. In Lockerböden, wo die ausreichende Nutfüllung nicht garantiert werden kann, setzt die BPS eine eigens entwickelte Sondiernadel mit schmaler Nut ein. Da-

mit werden auch bei schwierigsten Untergrundverhältnissen (Feinböden im Grundwasserbereich) interpretierbare Ergebnisse erbracht.

Schürfgruben sind besonders geeignet um die Zusammensetzung und ggf. die Petrografie des Untergrundes zu erkunden, im vorliegenden Fall sollte der Kieshorizont ohne kiesige Zwischenlagen und die Mächtigkeit der sandigen Überdeckung zuverlässig erkundet werden. Da der Untersuchungsschwerpunkt geschiebetechnisch orientiert war erfolgt eine Ergebnisdarstellung der Schürfgruben in 5.6.3.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen lagen bis auf den Salzburger Teil der Nutsondierung (5 Profile) einheitlich in m über NN vor. Die Fixierung der Lage erfolgte über die Flußkilometrierung und Stationierung ab der Böschungsoberkante Salzach vom Fluß weg. I.d.R wurde ein 100 m Profil mit 10 Nutsondierungen (11 m Raster) erkundet. In Meterschritten wurden die Schichtgrenzen zwischen den Sondierungen interpoliert. Die der Schürfgrube entsprechende Stationierung und der Mittelwert des Sondierungsprofils wurden für einen Vergleich der Kieshorizonte herangezogen, vgl. Tab. 1:

Abweichung der Kieshorizonte von Rammsondierungen und Schürfgruben Tabelle 1

Genauigkeitsklasse	Anforderung	gleiche Stationierung	Mittelwert Nutsondierung
”genau”	+/- 15 cm	5 Proben (4 Proben)	4 Proben (4 Proben)
”gut”	+/- 15-30 cm	8 Proben (5 Proben)	6 Proben (4 Proben)
”mäßig”	+/- 30-90 cm	9 Proben (7 Proben)	10 Proben (7 Proben)
”unbrauchbar”	> 90 cm	8 Proben (4 Proben)	10 Proben (5 Proben)

Im allgemeinen konnte keine gute Übereinstimmung beider Untersuchungsmethoden festgestellt werden. Einer hinreichend genau erfaßten Anzahl von 13 Proben mit Abweichungen kleiner +/- 30 cm stehen 17 Proben mit größerer Abweichung gegenüber. Läßt man die Proben unberücksichtigt, deren Fkm-Lage nicht exakt übereinstimmt (5 Proben) und bei denen die Schürfgrube außerhalb des Profils der Nutsondierung liegt (weitere 5 Proben), so verringern sich die Abweichungen (Häufigkeitsverschiebung in Richtung ”genau”, 9 Proben stehen 11 Proben gegenüber). Die Ergebnisse der profilweisen Mittelwertbildung des Kieshorizonts liegen generell etwas schlechter (Häufigkeitsverschiebung in Richtung ”unbrauchbar”), d.h. eine lagerichtige Auswertung ist in der Aussage immer noch etwas genauer als eine pauschale Mittelwertbildung über das ganze Profil der Nutsondierung.

Als systematischer Fehler wird hier eine Abweichung der Nutsondierung größer +/- 90 cm von der Höhenkote der Schürfgrube interpretiert. Die Ursachen sind einerseits verfahrensbedingt (Nichterkennen von Zwischenschichten, keine Eichung des Geräts, Interpretationsschwierigkeiten der Rammsondierung etc.), andererseits auch lage- und höhenmäßige Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Schürfgruben und Nutsondierungen.

Aufgrund der ausgeprägten Rinnenstruktur des Untergrundes sollte für weitere Untersuchungen eine Untersuchungsmethode gewählt werden, deren Untersuchungsbefund nicht aus Schlagzahlen abgeleitet werden muß sondern direkt (Entnahme von Material) und einsehbar erfolgt.

3.7 Abschnittsgliederung von Salzach und Saalach

Die Salzach entspringt an der Grenze des Bundeslandes Salzburg zu Tirol an der Nordseite des rd. 2470 m hohen Salzachgeiers. Das Flußgebiet der Salzach umfaßt nach österreichischen Angaben 6727,5 km^2, nach bayerischen Angaben rd. 6717 km^2 [29], die Flußlänge beträgt etwa 226 km [41]. Der Lauf der Salzach läßt sich in drei Haupteinheiten unterteilen, die von zwei markanten Durchbruchsstrecken (Taxenbacher Enge, Salzachöfen) getrennt werden:

- Obere Salzach (Vorderkrimml bis Taxenbacher Enge),
- Mittlere Salzach (Taxenbacher Enge bis Salzachöfen) und
- Untere Salzach (Salzachöfen bis zur Mündung in den Inn.

Auch die Untere Salzach ist von einem steten Wechsel aus Beckenlandschaften und Durchbruchsstrecken geprägt, deren Eigenschaften von den Gegebenheiten der Zulaufstrecken und des Einzugsgebietes abhängen. Für die flußmorphologische Bestandsaufnahme wird die Untere Salzach näherungsweise in "gleichartige" Abschnitte zerlegt, um so das Geflecht von Wechselwirkungen der einzelnen Abschnitte untereinander mit charakteristischen Mittelwerte vereinfachend beschreiben zu können.

Die Abschnittsgliederung wurde unter Berücksichtigung hydraulischer Aspekte (Gerinneform und -breite, Gefälle, Abflußaufteilung zwischen Fluß und Vorland), morpholoigischer Aspekte (charakteristische Korngrößen, Ergebnisse der Massenbilanzierung, Einflüsse der geologischen Situation) und flußbaulicher Gegebenheiten (Kraftwerke, Sohlstufen) vorgenommen. Gegenüber dem Bericht zur Phase I [29] konnten z.T. feinere Differenzierungen herausgearbeitet werden. Im Verlauf der Untersuchung hatte es sich gezeigt, daß Teile des Einzugsgebietes oberhalb der Saalachmündung einer detaillierteren Betrachtung unterzogen werden müssen. Für diese Abschnitte wurden ebenfalls Abschnittsunterteilungen vorgenommen.

Einzugsgebiet: bayerische Saalach Tabelle 2

Abschnitt	von Fkm	bis Fkm	ΔL [km]	Beschreibung der Abschnitte
VI	32,8	27,8	5,0	Steinpaß bis Schneizlreuth
V	27,8	20,7	7,1	Schneizlreuth bis Talsperre Kibling
IV	20,7	10,2	10,5	Talsperre Kibling bis Käferhamer Wehr
III	10,2	8,0	2,2	Käferhamer Wehr bis Zollhauswehr
II	8,0	2,5	5,5	Zollhauswehr bis KW Rott-Freilassing
I	2,5	0,0	2,5	KW Rott-Freilassing bis Salzach

Einzugsgebiet: Salzach oberhalb der Saalachmündung Tabelle 3

Abschnitt	von Fkm	bis Fkm	ΔL [km]	Beschreibung der Abschnitte	
IVd	96,680	95,590	1,090	Salzachöfen bis Lammermündung	Salzachöfen Bis Hallein
IVc	95,590	90,020	5,570	Lammermündung bis Kuchler Schwall	
IVb	90,020	85,695	4,325	Kuchler Schwall bis Tauglmündung	
IVa	85,695	82,880	2,815	Tauglmündung bis PWA Hallein	

IIIb	82,880	80,420	2,460	PWA Hallein bis KW Hallein	Hallein bis Urstein
IIIa	80,420	75,062	5,358	KW Hallein bis KW Urstein	
IIc	75,062	71,000	4,062	KW Urstein bis Hellbrunn	Urstein bis Sohlstufe Sz.-Lehen
IIb	71,000	65,400	5,600	Hellbrunn bis Altstadt Salzburg	
IIa	65,400	63,950	1,450	Altstadt Salzburg bis Sohlst. Sz.-Lehen	
I	63,950	59,300	4,650	Sohlstufe Salzburg-Lehen bis Saalachmündung	

Untersuchungsstrecke: Salzach von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn Tabelle 4

Abschnitt	von Fkm	bis Fkm	ΔL [km]	Beschreibung der Abschnitte	
1a	59,3	53,0	6,3	Saalachmündung bis Surmündung	Freilassinger Becken
1b	53,0	49,0	4,0	Surmündung bis Laufen	
2	49,0	44,0	5,0	Laufener Enge	
3a	44,0	38,0	6,0	Laufen bis Fridolfing	Tittmoninger Becken
3b	38,0	29,0	9,0	Fridolfing bis Ettenau	
3c	29,0	22,0	7,0	Ettenau bis Nonnreit	
4a	22,0	14,0	8,0	Nonnreit bis Burghausen	Nonnreiter Enge
4b	14,0	8,0	6,0	Burghausen	
5a	8,0	6,6	1,6	Burghausen bis Alzkanalmündung	Mündungs-Bereich
5b	6,6	1,4	5,2	Alzkanalmündung bis Inn	

4 Auswertung, geologische Bestandsaufnahme

Der geologische Aufbau des Untergrundes unmittelbar unter dem Flußbett muß für gewässermorphologische Untersuchungen möglichst vollständig über die gesamte Länge der betrachteten Gewässerstrecke bekannt sein, wobei keine sehr großen Tiefen erreicht werden müssen, aber ausreichend, um die Erosions-tendenzen sicher abschätzen zu können. Zusätzlich zu den Kenntnissen aus Bohrungen für Bauwerksgründungen, die in der Regel sehr ungleichmäßig über die Strecke verteilt sind und meist der Beantwortung rein baugrundgeologischer Fragen dienen, sind systematische Aufschlüsse am Ufer und im Flußbett notwendig. Da die gewässermorphologische Untersuchung der unteren Salzach in zeitlich getrennten Phasen erfolgte, sind hier sehr unterschiedliche Aufschlußverhältnisse zuammenzuführen.

Im Salzachlaufabschnitt Burghausen - Saalachmündung waren die erforderlichen genaueren Kenntnisse nur durch planmäßiges Abbohren des Untergrundes zu gewinnen, da kaum andere Aufschlüsse vorhanden bzw. diese ungleichmäßig verteilt waren. Oberhalb der Saalachmündung lagen dagegen zahlreiche Aufschlüsse von Brückenbauten und anderen Bauwerksgründungen vor, so daß ein befriedigend genaues Bild der Untergrundsituation unter dem Fluß ohne zusätzliche Maßnahmen erstellt werden konnte. Erst oberhalb der Stadt Salzburg werden die Aufschlüsse weniger zahlreich. Da hier jedoch die geologische Situation etwas gleichmäßiger ist, konnte auf weitere Programme verzichtet werden.

Entsprechend der geschilderten Situation erfolgt die Darstellung und Auswertung zunächst eingeteilt nach den genannten Laufabschnitten. Dabei konnten im untersten Teil weitgehend die Ergebnisse des Berichtes 1995 [2] übernommen werden. In der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes waren u.a. das Gutachten 1963 [22], der Bericht über die Berechnung des Ausgleichsgefälles der Salzach im Bereiche der Stadt Salzburg 1962 [30] und das Gutachten zum Einreichprojekt KW Hagenau [11] mit ihren weitreichenden Längsschnittauswertungen sehr hilfreich.

4.1 Abschnitt Burghausen - Saalachmündung

4.1.1 Geologische Situation

Die Anlage 3 ist die geologische Interpretation aller älteren und neueren Bohraufschlüsse die zu einem einheitlichen Bild zusammengefaßt wurden. Ausdehnung und Füllungsmechanismen der beiden Eisrandstauseen von Laufen und Tittmoning, ferner die Tertiäraufragungen bei Laufen und im Endmoränendurchbruchstal sowie eine Rinnenfüllung mit dem Laufener Vorstoßschotter konnten klarer als bisher erfaßt werden. In den Abschnitten, wo am rechten Ufer deutliche Unterschiede im Schichtaufbau erbohrt wurden, sind diese in Anlage 3 kenntlich gemacht.

Auffallend im spätglazialen Laufener Seebecken ist eine zweiteilige Schichtung der - wie aus älteren Bohrungen bekannt ist - über 50 m mächtigen Seetonfüllung, die obersten Sedimentlagen sind etwas gröber. Somit konnte eine Unterteilung in schluffig-tonigen Seeton “unten”, die Hauptmasse der Beckenfüllung bildend und schluffig-sandigen Seeton “oben” vorgenommen werden. Letztere Schicht vertritt offensichtlich schon eine Verlandungsphase; sie ist streckenweise als Rinnenfüllung im “feinen” Seeton erkennbar, teilweise aber erodiert, so daß der feine liegende Seeton unmittelbar unter der

rezenten Geschiebeauflage ansteht. Der Obere Seeton (diese Bezeichnung soll für alle Teile des sandigen Seetons, dessen Sandanteile von feinsandig bis mittelsandig schwanken, beibehalten werden), weist auf eine stärkere Fließgeschwindigkeit hin, d.h. der See wird nunmehr stärker durchströmt, die Verlandung des Sees kündigt sich an.

Nach diesem Bild stellt sich der mächtige Sandfächer an der Saalachmündung als Einschüttung aus der Ur-Saalach dar. Am Nordende des alten Eisrandsees kurz oberhalb von Laufen tritt keine so eindeutige Verflachung mit Verlandungserscheinungen auf wie im ehemaligen Tittmoninger Eisrandsee. Bei Laufen liegt stattdessen in einer tiefen Rinnenstruktur die Abfolge des sog. Laufener Schotters, der von Grundmoräne unter- und überlagert wird; die liegende Moräne ist gerade noch als solche erkennbar.

Der Laufener Schotter ist in der weiteren Umgebung unmittelbar in das liegende Tertiär eingegraben. Aus den Bohrungen geht hervor, daß ab ca. B22/91, Fkm 50,0, auch unter dem Fluß unmittelbar Tertiärmaterial angetroffen wurde, jedoch von anderer Konsistenz als flußabwärts, wo es fast bis zur Flußsohle hinauf und sandsteinhart ansteht. Es liegt daher nahe, anzunehmen, daß hier umgelagertes Tertiärsediment abgelagert und dieses, wie wiederholt am Eisrand festgestellt, stark aufgearbeitet wurde. Nicht entschieden werden kann vorerst die Frage, ob es sich nicht andererseits um einen hier mitunter vermuteten interglazialen und damit älteren Seetonrest handelt.

Der frühwürmglaziale Laufener Schotter ist zwar wie erwähnt außerhalb des engeren Flußtales direkt in das liegende Tertiär eingesenkt, könnte aber im Flußtal selbst einem hier noch zwischengeschalteten riß-würm-interglazialen Seeton aufliegen. Zwischen Fkm ca. 47,0 und ca. 40,0 steht im Untergrund das Tertiär hochreichend an, vor allem als Schwelle im Bereich Fkm ca. 40,5. Zwischen diesen Aufragungen wurde erneut Seeton erbohrt, bevor das Tertiär erreicht war. Der Seeton tritt hier mehr als Seekreide auf und liegt offenbar flach wannen- oder rinnenartig in der tertiären Unterlage. Im Bereich der Bohrung B33/91, Fkm 41,4 ist das liegende Tertiär wiederum so gelagert, daß eine genaue Abgrenzung schwierig war; die im Längsprofil der Anlage 3 eingetragene Seetonsenke kann auch im wesentlichen schon oberflächig mechanisch aufgearbeitetes Tertiär sein. Die Bohrung BL10/93, Fkm 44,8 schloß hier rechts eine Grundmoräne auf, die bis in 20 m unter Gelände noch nicht durchfahren war, desgleichen noch einen Moränenrest in BL8/93, Fkm 43,0.

Nach der zweiten Tertiärschwelle beginnt die wieder mit Seeton gefüllte Wanne des ehemaligen Tittmo-ninger Eisrandstausees. Zunächst scheint sich ein Schwemmkegel, der von der Laufener Schwellenregion herab kommt, zwischenzuschalten, dokumentiert als vergröberte sandige Schüttung. Seine tiefste Lage wur-de nicht angefahren, liegt aber vermutlich nicht sehr viel tiefer als die Bohrendpunkte der Bohrungen B36/91 und B1/92. Der Übergang zum eigentlichen Seeton erfolgt relativ schnell, es wird aber nicht ersicht-lich, ob hier eine Schichtgrenze oder ein tatsächlicher Übergang vorliegt. Das Material des Schwemmfächersedimentes besteht größtenteils aus umlagertem Tertiär. Ab Bohrung B4/92 tritt wieder Seekreide auf. Eine gröbere Deckschicht wie im Laufener Seebecken ist im Tittmoninger Becken nur rudimentär entwickelt bzw. erhalten, eigentlich ist sie nur in der Bohrung B10/92 einigermaßen sicher als solche anzusprechen. Bereits im Mündungsbereich der Götzinger Ache (B19/92, Fkm ca. 28,0) beginnt die Verlandungsstrecke des Tittmoninger Sees, die bis in die Schluchtstrecke reicht. Die in ihrer Mächtigkeit nicht vollständig erbohrte Sedimentfolge ist fein- bis mittelsandig, z.T. feinkiesig und mit Seekreide durchsetzt. Zwischen Fkm 26,0 und 25,0 schaltet sich eine Kieslage ein. Dieser flußmorphologisch schon als Umlagerungsstrecke vor der Enge zu bezeich-

nende Abschnitt ist mit fast 5 km Ausdehnung erstaunlich lang, dokumentiert aber dadurch ein sehr dynamisches Abflußgeschehen im spätglazialen Schmelzwasserfluß.
Mit dem Fkm 21,5 endet die Sedimentfolge des ehemaligen Tittmoninger Sees. Im heutigen Engtal findet sich unter dem Flußbett keine glaziale Schicht. Das Tal ist durch die mächtige Quartärauflage hindurch bis in das liegende Tertiär der OSM eingetieft worden. Der Flußbettuntergrund unter der Geschiebesohle wird ab ca. Fkm 21,5 bis flußabwärts Burghausen von der OSM gebildet. In diesem Streckenabschnitt müssen jedoch in postglazialer Zeit - zumindest in der konkret untersuchten Strecke - stärkere Eintiefungen im relativ festen bis harten tertiären Untergrund erfolgt sein, die bis heute wieder aufgefüllt sind. So sind z. B. in den Bohrungen B28/92 und B31/92 sowie weiter stromabwärts Kolke bis über 11 m bzw. über 15 m unter Sohle erbohrt worden, in B37/92 immer noch rd. 7 m. Das Tertiär steht links- und rechtsufrig am Ufer und im Hang sowie im Flußbett selbst an. Die Kolke sind demnach schmal und liegen fast ausnahmslos im - auch heute noch existierenden - Prallhang. Sie sind mit kiesigem Sand bis sandigem Kies gefüllt, der sich im Aussehen und der Zusammensetzung vom heutigen Geschiebe etwas unterscheidet und wohl älter ist.

Offenbar hat es postglazial eine dem heutigen Abflußgeschehen vergleichbare, gegenüber dem Schmelzwasserabfluß ruhigere Zeit gegeben, wo die spätglazialen Eintiefungen wieder verfüllt wurden. Die heutige Geschiebeauflage liegt wahrscheinlich mit einer Schichtdiskordanz darüber, die in einer späteren Zeit gebildet wurde. In B33/92 und B37/92 war allerdings älteres als das heutige Geschiebematerial nicht mehr eindeutig als solches zu erkennen.

Die Bohrungen BL1/93 mit BL3/93 verlängern die untersuchte Strecke bis in die Stadt Burghausen. BL3 bei Fkm 13,6 schließt eine nach der geologischen Situation als rißeiszeitlich einzustufende Grundmoräne auf, die Bohrungen BL2 bei Fkm 12,6 und BL1 bei Fkm 11,2 erreichen unter dem rezenten Flußkies kiesig sandiges Braunkohlentertiär. Dieses unterscheidet sich deutlich von den Kolkfüllungen weiter oberhalb (B28/92, B31/92, B39/92), so daß keine Verwechslungsmöglichkeit bestand. Die Flußsohle liegt teilweise bereits direkt im Tertiär der OSM. Inwieweit das kiesig-sandige Braunkohlentertiär zur Bildung von Geschiebe beiträgt, war nicht festzustellen.

4.1.2 Geschiebesohle

Die rezente Geschiebesohle folgt über längere Entfernung nicht unmittelbar auf die verschiedenen Seetonablagerungen, sondern es läßt sich eine feinkörnigere Zwischenschicht aus Fein- bis Grobsand oder Fein- bis Mittelsand mit jeweils geringerem Kiesanteil unterscheiden. Es ist aber nicht sicher feststellbar, ob es sich hierbei um eine eigene Entwicklung in postglazialer Zeit handelt oder wiederum um einen Aufarbeitungshorizont. Die geologische Situation - Vorkommen dieses Horizontes über jedem Untergrund, auch in den tiefen Kolken in der Schluchtstrecke (s.o.) - spricht für eine eigene Entwicklungsphase, von der im nachfolgenden Zeitabschnitt infolge Erosion nur noch Reste übrig blieben.

Die heutige Geschiebesohle ist in ihrer Mächtigkeit, wie sich durch die vorliegenden Untersuchungen erneut bestätigte, außerordentlich unregelmäßig verteilt. Sie reicht von über 5 m auf großen Bänken bis wenige Dezimeter und damit praktisch null im Stromstrich bzw. in den Prallhangkolken. Der Aufbau des Untergrundes hat hierauf keinen Einfluß, er behindert oder fördert die Ausdünnung der Geschiebesohle nicht; lediglich in der Schluchtstrecke scheint das Geschiebe schneller durchtransportiert zu werden wie üblich. Entsprechend hat sich davor die schon aus dem Untergrund der Seebeckenfüllung be-

kannte Umlagerungsstrecke bis heute erhalten; sie ist gleich lang geblieben, wie aus der relativ großen Mächtigkeit der Geschiebeauflage in diesem Abschnitt hervorgeht. Vor der Laufener Enge, wo man eine vergleichbare Umlagerungsstrecke erwarten könnte, bietet sich dieses Bild nur andeutungsweise, wie es auch im Untergrund nur andeutungsweise vorhanden war.

4.1.3 Anmerkungen zu den Längsschnitten

In Anlage 2 (Längsschnitt mit Talweg) wurden alle Bohrungen in den amtlichen Flußlängsschnitt M 1:50.000 eingetragen (Zeichen und Farben nach DIN 4023). Eine Säule füllt jeweils einen 200 m-Abschnitt aus, das bedeutet jedoch lediglich, daß die betreffende Bohrung innerhalb dieses Abschnitts oder nahe am jeweiligen Profil liegt, wie auch aus der Anlage 1 ersichtlich ist. Dieser Längsschnitt soll einen ersten allgemeinen Überblick über die Lage der Schichten im Untergrund des Flusses geben sowie einen Überblick über die Lage der tiefsten Sohle 1992. Daraus ergeben sich erste Anhaltspunkte über die Mindestmächtigkeit der Geschiebesohle bzw. über das Liegende der Sohle.

Deutlich sichtbar werden Bereiche mit noch ausreichend mächtiger Geschiebesohle und Bereiche, wo kein ausreichendes Polster mehr vorhanden ist. Da die Bohrungen bis auf wenige Ausnahmen nicht im Talweg abgeteuft wurden, ergeben sich mitunter scheinbar Widersprüche; dies beruht darauf, daß eine Bohrung auf einer Kiesbank angesetzt wurde, der Talweg nur wenige Meter seitlich aber schon wesentlich tiefer liegt. Somit ist trotz seitlich liegender Kiesvorräte die Gefahr des Sohlendurchschlags gegeben. Die entsprechenden Querprofile (Anlage 4) zeigen die Situation genauer.

Die Bohrprofile zeigen die Gesteinsabfolge, wie sie aus dem Bohrgut ermittelt wurde; die Auffüllungen (A) stellen die geschütteten Rampen dar, von denen aus im Fluß gebohrt wurde. Wenn von einer Kiesbank aus gebohrt wurde, erscheint die Kiessignatur der natürlichen Abfolge.

Die Anlage 3 (Längsschnitt Gesamtübersicht mit Restkiesauflage) faßt die Interpretation aller Bohrungen zusammen. Die geologische Situation ist aus allen Bohrergebnissen auf der linken und rechten Seite des Flußbettes ermittelt worden. Die Bereiche, bei denen auf einer Seite erhebliche Unterschiede auftreten, wurden kenntlich gemacht. Die Interpretation beschränkt sich auf das Flußbett, das Längsprofil macht daher alle Laufkrümmungen mit, auch die Schlinge von Laufen. Der Vorteil liegt hierbei in einer vollständigen Information über den direkten Flußbettuntergrund. Die Querschnitte mit den Bohrprofilen, die Querschnitte aus [2] und die geologischen Karten [16] fügen das Ganze zu einer umfassenden Gebietsaufnahme zusammen.

Zur Verdeutlichung, mit welchen Kiesauflagen insgesamt in der untersuchten Strecke durchschnittlich zu rechnen ist, wurde in Anlage 3 der Talweg 1992 eingetragen und die verbliebene Geschiebeauflage farbig gekennzeichnet. Die feinkörnige liegende Zwischenschicht, die sich sedimentologisch gleichartig verhält, entsprechend auch der Laufener Schotter und die Kolkfüllungen im Tertiär der Schluchtstrecke wurden gleichfalls als Teil der Kiesauflage, aber gesondert gekennzeichnet. Die Seetonoberkante ist als besonderer Gefahrenbereich durchgehend mit einer farbigen Linie bezeichnet, das widerständigere Tertiär ist hellgrün angelegt.

Bei den Bohransatzpunkten, die auf dem nicht farbig angelegten Kies liegen, handelt es sich um Standorte auf Kiesbänken, die mit dem Bohrfahrzeug erreicht werden konnten. Zusätzlich mußten auch

auf Kiesbänken teilweise Rampen geschüttet werden, um sie entweder am Fuß eines Steilhangs erreichen zu können oder um eine gewisse Sicherheit gegen die schwankenden Abflüsse und damit Wasserstände der Salzach im Schwellbetrieb zu erreichen. Insgesamt wird hierbei die Differenz zwischen Kiesbankoberfläche und Sohlentiefstem hervorgehoben.

4.1.4 Anmerkungen zu den Flußquerschnitten

Die Bohrungen wurden so angeordnet, daß sie möglichst an oder in der Nähe jeweils eines Flußquerschnitts (vgl. Anlage 4) liegen. Damit konnte in guter Näherung jede Bohrung einem Querschnitt zugeordnet werden. Die Bohrungen sind nach Lage und Höhe eingemessen, geben also zusammen mit den neuesten Flußquerschnittsmessungen die Situation sehr genau wieder. Alle Höhenangaben sind auf m ü. NN (neues System) bezogen.

Anhand der Querschnitte mit jeweils zwei Bohrprofilen sind Rinnenstrukturen bzw. Erosionsvorgänge zu verfolgen, z.B. ist im oberen Abschnitt eine Rinne, gefüllt mit “sandigem Seeton”, im liegenden tonigen Substrat erkennbar (Fkm 57,0 abwärts, B7/91, BL21/93 bis B10/91, BL18/93), die bei Fkm 50,8 bereits verschwunden ist (B20/91 - BL12/93) und seitlich im heutigen Auwald verlaufen dürfte. Gut zu verfolgen sind auch die links und rechts unterschiedlich hohen Tertiäraufragungen (z.B. Fkm 42,0 abwärts), die im Längsschnitt nur unvollkommen darzustellen sind.

4.2 Abschnitt Saalachmündung - Salzburg/Nonntal

4.2.1 Geologische Situation

Dieser Abschnitt im Stadtbereich von Salzburg besitzt nicht nur an der Oberfläche komplizierte Strukturen, sondern gerade im Untergrund. Die Salzach wurde durch die Königsseer Ache und die Saalach an den Ostrand des Tales gedrängt und nahm nun ihren Lauf zwischen den Felsaufragungen in der Stadt Salzburg. Entsprechend unterschiedlich ist der Schichtenaufbau unter dem Flußbett. Das betrifft sowohl die Laufstrecke wie auch große Unterschiede zwischen linkem und rechtem Ufer.

Allgemein besteht die Beckenfüllung des ehemaligen Salzburger Sees flächendeckend aus Seeton mit aufliegendem Flußschotter, doch im Stadtbereich gibt es mehr Abweichungen vom gewohnten Erscheinungsbild. Der Felsuntergrund tritt deutlicher in Erscheinung und steht streckenweise am rechten oder linken Ufer direkt an, um allerdings bis zum gegenüber liegenden Ufer steil in verhältnismäßig große Tiefen abzusinken. Die Salzburger Felsen haben somit steile Flanken im Untergrund. Der einzige Bereich, wo der Fels beidseitig ansteht, ist die Bergheimer Schwelle (Flysch-Sandstein, vgl. 6.2). Einen Gesamtüberblick dieses Salzachabschnittes gibt die Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg [19].

Aus allen verfügbaren Bohrungen, Schürfen und geophysikalischen Messungen wurden die beiden Längsschnitte links und rechts erarbeitet (Anlagen 6.1 und 6.2). Anders als beim untersten Flußlauf, vgl. [2] liegen zwar einige Bohraufschlüsse aus dem Flußbett vor, doch reicht die Information nicht aus, um einen eigenen Flußbettlängsschnitt entsprechend der Anlage 3 zu entwerfen. Gleichwohl waren die Informationen ausreichend, für den Stadtbereich ein Gesamtbild vorzustellen. Die Längsschnit-

te der Anlagen 6.1 und 6.2 geben die Situation unmittelbar am Fluß wieder, so wie er heute als korrigiertes Gerinne besteht; eingetragen ist der Talweg 1992 als Orientierungshilfe.

Betrachtet man die Beckenfüllung vom Hangenden zum Liegenden so ist festzustellen, daß auch südlich des Laufen-Freilassinger Beckens und damit offenbar in weiten Bereichen des Salzachtales soweit es mit Seeton gefüllt ist, diese Seetonfüllung des spätglazialen Stausees zweigeteilt ist; die schluffig-tonige tiefere Beckenfüllung, die südlich und westlich von Salzburg bis in große Tiefen reicht ("Unterer Seeton"), geht nach oben in eine schluffig-sandige Phase ("Oberer Seeton") über. Der schluffige Feinsand ist streckenweise mittelsandig und hat dann nur noch wenig Schluffanteile. Bereichsweise ist der Übergang zwischen den Seetonschichten abrupt, d. h. die sandige Phase liegt diskordant über dem Schluff und bildet offenbar Rinnenfüllungen aus. Wie schon im Laufener und Tittmoninger Becken nachgewiesen, stellt der obere Seeton ein flächenhaft verbreitetes Verlandungssediment des Salzburger Sees dar.

Im Untergrund der Salzach im Stadtbereich wurde wiederholt durch die Bohrungen der Felstalboden erreicht. In den Bohrungen tritt die aus den tieferen Beckenteilen bekannte Grundmoräne ebenfalls am und im Fluß auf. Sie liegt ihrerseits - hier wie im gesamten Becken - unmittelbar auf dem Fels, wobei es gleichgültig ist, ob dieser aus Kalkalpin oder Flysch aufgebaut wird.

Wo der Felstalboden der Oberfläche nahe kommt oder sie erreicht, zieht also auch die ihm aufliegende Grundmoränenauflage mit herauf. Lediglich am Müllner Steg ist sie luvseitig teilweise erodiert.

4.2.2 Geschiebesohle

Wie im Flußabschnitt Saalachmündung-Burghausen existiert auch im Stadtbereich von Salzburg zwischen dem schluffig-sandigen oberen Seeton und dem postglazial-rezenten Kies stellenweise die feinkörnige Zwischenschicht (in den Längsschnitten als "Sand, kiesig" bezeichnet). Sie tritt hier aber nur noch rudimentär an zwei Orten auf: zwischen Fkm 60,0 und 60,8 sowie zwischen Fkm 66,0 und 68,0; erstaunlicherweise und vielleicht durch die Lage der Bohrpunkte bedingt, war diese Zwischenschicht nur linksufrig eindeutig als solche erkennbar. Das rechtsufrige Vorkommen im subrezenten Kies bei Fkm 60,0 - 62,0 ist wohl eine junge Rinnenfüllung, die nicht unbedingt damit zusammenhängt.

Die Geschiebesohle über dem Seeton ist bis auf wenige Kolkfüllungen (Autobahnbrücke, Staatsbrücke) in der Regel nur etwa 1 m bis maximal 3 m mächtig. Das Liegende dieser Kiesauflage ist bis auf die Bergheimer Schwelle und das linke Ufer am Müllner Steg ausschließlich der Untere oder Obere Seeton.

Die Salzach war auch im hier betrachteten Abschnitt bis zur Korrektion überwiegend eine Verzweigungsstrecke, die von den Felsaufragungen seitlich nicht eingeengt wurde, da sie im Naturzustand ausweichen konnte. Die Bergheimer Schwelle trat vor der Korrektion bis Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts nicht in Erscheinung.

4.2.3 Anmerkungen zu den Längsschnitten

Die Längsschnitte mit den eingetragenen repräsentativen Bohrungen (Anlagen 5.1, 5.2 und 5.3) dienen

wie Anlage 2 einer schnellen ersten Übersicht über die allgemeine geologische Situation im Flußlauf. Ähnliches gilt für den Längsschnitt der Anlage 8 (vgl. 4.3).

Die Längsschnitte der Anlage 5 umfassen alle Bohrungen am linken und rechten Flußufer im Stadtbereich bis zum Josefiausteg. Von dort ab flußaufwärts wird die Datenlage für genauere Längsprofildarstellungen zu gering.

Anlage 6.1 (linkes Ufer): Als einziger die gesamte Flußbreite übergreifender Felskörper durchdringt die Bergheimer Schwelle das Seetonbecken. Im Luv, also im direkten Anstrom des Felsrückens, ist der Untere Seeton abgetragen und durch den Oberen Seeton ersetzt worden. Etwas unklar ist der Anstieg des Oberen Seetons bei Fkm 63,2 (Austraßensteg), worin sich auch die sandig-kiesige Zwischenschicht zur hangenden Kiesauflage verbergen kann; die Bohraufschlüsse waren hier nicht eindeutig zu interpretieren. Auffallend sind am linken Salzachufer die Flyschaufragungen bei Fkm 63,4 und der Mönchsberg-Ausläufer aus alten Konglomeraten am Müllner Steg (Fkm 65,4), dessen Flyschsockel steil nach Osten abtaucht. Hier wiederholt sich oberstrom die Situation wie bei der Bergheimer Schwelle: im Anstrombereich des Felsrückens ist der Untere Seeton teilweise abgetragen und durch den Oberen Seeton ersetzt worden; unterstrom dagegen hat sich der Untere Seeton erhalten, dafür scheint der Obere teilweise erodiert worden zu sein. Am südlichen Stadtrand (Fkm 68,0 aufwärts) tritt der Untere Seeton wesentlich stärker in Erscheinung. Das bedeutet, daß auf der Salzachostseite der Obere Seeton rinnenartig in den Unteren eingesenkt ist.

Anlage 6.2 (rechtes Ufer): Das Längsprofil beginnt unmittelbar oberhalb des Muntigler Flyschsporns, der bis an das rechte Salzachufer heranreicht. Das Flußbett selbst wird nach den verfügbaren Unterlagen von ihm nicht mehr beeinflußt; am linken Ufer liegt die Felsoberfläche bereits mehr als 10 m unter GOK. Die Seetonauflage umhüllt gewissermaßen den Flysch der Bergheimer Schwelle (ca. Fkm 62,0), die mit ihrer Umkleidung aus Würmgrundmoräne hoch ansteht. Es ist nicht mehr rekonstruierbar, ob der Seeton früher die Schwellenregion auch noch überdeckt hat. Der Flysch läßt sich - moränenbedeckt - in der Tiefe weiter flußaufwärts verfolgen, wird aber nicht mehr morphologisch bestimmend. Den Untergrund unter dem Kies bildet durchgehend der Seeton mit seiner deutlichen Zweiteilung. Im Bereich Austraßen-(Trakl-)Steg bis Lehener Brücke, wo im Untergrund der Flysch wieder etwas ansteigt und mit ihm auch der Untere Seeton, ist der Obere Seeton entweder nicht ausgebildet oder später erodiert worden. Im südlichen Stadtbereich steht unter dem Kies rechtsufrig gleichmäßig der Obere Seeton wieder an; eine sandig-kiesige Zwischenschicht war hier nicht erkennbar.

Der in beide Längsschnitte eingetragene Talweg 1992 zeigt deutlich, daß das heutige Flußbett fast vollständig im Oberen Seeton liegt. Der einzige Bereich, wo die Eintiefung einigermaßen wirkungsvoll gebremst - nicht aufgehalten - wurde und wird, ist die Bergheimer Schwelle (vgl. 6.2); am Müllner Steg ist nur das linke Flußufer felsig, aber schon nicht mehr die Flußsohle.

4.2.4 Anmerkungen zu den Flußquerschnitten

Aus den Aufschlußbohrungen für Neubauten wie den Salzachdüker, dem geplanten Kraftwerk Hagenau, der Sohlstufe Salzburg-Lehen sowie den Sanierungsarbeiten und Neubauplänen von Salzburger Stadtbrücken (einschließlich Autobahn- und Bundesbahnbrücke) wurden 16 Querprofile übernommen, geologisch z.T. neu bearbeitet und einheitlich dargestellt (Anlage 7).

Da die amtlichen Querprofilaufnahmen auf diese Anlagen weitgehend Rücksicht nehmen, waren die geologischen Querprofile wie im Abschnitt Saalachmündung-Burghausen in die amtlichen Aufnahmen projizierbar. Somit stehen zwischen Burghausen und dem südlichen Stadtrand von Salzburg 35 eingemessene flußmorphologisch-geologische Querprofile zur Verfügung.

Die Salzburger Bohrungen reichen aus gründungstechnischen Notwendigkeiten tiefer hinunter. In den Profilen der Anlage 7 sind sie deshalb nicht immer über die volle erbohrte Tiefe dargestellt, was gewässermorphologisch auch nicht unbedingt erforderlich ist. Die Informationen sind jedoch vollständig in die Längsschnitte der Anlage 6 eingegangen.

Ein Überblick über Topographie und Flußbettgeologie wird in der Anlage 1 versucht, in denen Grundriß, Lage der Bohrpunkte und Untergrundverhältnisse des heutigen Flußbettes von Burghausen bis zum südlichen Stadtrand von Salzburg zusammengefaßt sind. Auf diese Weise konnte zusätzlich zu den Übersichtslängsschnitten der Anlagen 3 und 6 der Bezug zur Lage in der Fläche hergestellt werden.

4.3 Abschnitt Salzburg/Nonntal - Kuchl

4.3.1 Geologische Situation

Einen Überblick gibt der Längsschnitt der Anlage 8. Bis Fkm 69,0 wurden charakteristische rechtsseitige Uferbohrungen hierfür ausgewählt. Der Abschnitt bis Hallein besitzt wenige flußmorphologisch verwertbare Bohrungen, so daß die hier wiedergegebene Situation aus den verfügbaren Aufschlüssen gemittelt ist. Daraus ergibt sich folgendes Bild:

Der noch in der Josefiau hoch hinaufreichende Untere Seeton (links) macht insgesamt einer sandigeren Fazies Platz, die bis Fkm 72,0 reicht. Hier nun setzt das bereits genannte Ursteiner Konglomerat ein, das bis über Hallein stromaufwärts ansteht. Soweit aus den Bohraufschlüssen ersichtlich, liegt es praktisch diskordant auf dem Seeton und scheint auch teilweise rinnen- oder muldenartig in den Seeton eingesenkt zu sein. Um den Grillberg (Fkm 73,9) legt es sich auf der Westseite gewissermaßen herum. Der Oberalmer Kalk dieses Felssporns taucht wie die Salzburger Hügel steil (hier nach Westen) ab. Die erbohrte Mächtigkeit des Konglomerates reicht im Flußbettbereich von etwa 4 m bis rund 20 m (im Bereich des KW Urstein). Dieses mitten im Tal auftretende Konglomerat ist unterschiedlich interpretiert worden (PENCK / BRÜCKNER [24], Diskussion in EBERS / WEINBERGER / Del NEGRO [14]). Das harte Material ist kreuzgeschichtet und stellt offensichtlich eine Deltaschüttung (einer Ur-Salzach ?) in den spätglazialen Salzburger See dar. Es ist nicht identisch und nicht zu verwechseln mit dem älterglazialen Konglomerat, auf dem das Schloß Urstein steht. Älterglaziale Deltaschotter, sowie in den Seeton eingelagerte gröbere würmzeitliche Schuttfächer aus den Seitenbächen sind bekannt. Das Gebilde des Ursteiner Konglomerates ist in dieser Form und Lage einmalig. Die räumliche Ausdehnung des Konglomerates im Talboden und über Hallein stromaufwärts ist nicht genau bekannt. Flußmorphologisch relevant ist davon nur noch die Strecke von Hallein bis ca. Fkm 72,0.

Weitere morphologische Zwangspunkte waren und sind für den Fluß der Bergsturz von Abtwald (ca.

Fkm 85,0) bei Vigaun und unmittelbar oberhalb davon die Einmündung des Taugl-Baches (Fkm 85,6). Die Taugl selbst hat sich in ihren eigenen ausgedehnten spätglazialen Schuttkegel eingeschnitten. Der "Kuchler Schwall" (ca. Fkm 89,7 - 90,0), eine kleine Stromschnelle, wird von den den Fluß querenden Oberalmer Kalken verursacht. (Sie stellt somit einen morphologischen Fixpunkt dar, dessen Stützwirkung aber noch nicht abschließend abgeschätzt werden kann.

Abbildung 5: Salzach im Bereich Rehhofsiedlung (Fkm 77,7), Rinne im Ursteiner Konglomerat, Aufnahme vom 22.10.1969

Im Bereich Taugl-Mündung bis Kuchl wurde eine morphologische Grenze gesetzt, weil die Taugl (Fkm 85,6) neben der Lammer (Fkm 95,5) und Saalach (Fkm 59,3) als Hauptgeschiebelieferant anzusehen wäre. Massive Geschiebeentnahmen in den letzten Jahrzehnten haben die Bedeutung der Taugl als Geschiebelieferant erheblich geschmälert (vgl. 5.10 und 5.12). Flußmorphologisch verwertbare Bohrungen liegen aus dem Abschnitt Hallein - Kuchl nicht vor.

Abbildung 6: Unterspültes Ursteiner Konglomerat im Bereich Rehhofsiedlung (Fkm 77,7), Aufnahme vom November 1989

4.3.2 Geschiebesohle

Die ausgedünnte Geschiebesohle hat zwischen dem Josefiausteg und (flußaufwärts) etwa Fkm 72,0 offenbar überwiegend den oberen (schluffig-sandigen) Seeton als unmittelbar Liegendes. Ab dort steht flußaufwärts das Ursteiner Konglomerat als Basis an. In dieses Konglomerat hatte sich die Salzach seit dem Hochwasser 1959 z.T. schluchtartig eingegraben; ein Sohlendurchbruch zum auch dort liegenden Seeton war die ständige Gefahr. Mit dem Bau der Stufe Urstein (Fkm 75,062) und den Umbauten am Halleiner Wehr (Fkm 80,42) ist die Sohle bis einschließlich des Staubereiches des Wehres der Halleiner Papierfabrik (Fkm 82,88) weitgehend geschützt, ausgenommen jedoch das obere Drittel im Stauraum KW Urstein; hier schreitet die Eintiefung fort, wenn auch deutlich langsamer wie in früheren Jahrzehnten, vgl. FLÖGL [31].

Die Situation während des Baus der Stufe Urstein (November 1968 bis Mai 1971) zeigt Abb. 5 (vgl. 5.12). Das Foto zeigt den Zustand vom November 1969 unterhalb Fkm 78,3 mit Blickrichtung Salzburg (links die Rehhofsiedlung, im Hintergrund die Autobahnbrücke). Dieser Bereich ist heute eingestaut. Abb. 6 zeigt den aktuellen Zustand im Bereich Rehhofsiedlung während einer Staulegung im November 1989. Deutlich zu sehen sind die sog. "Hurdenbänke", welche von Zeit zu Zeit unterspült werden und nachbrechen. Das bedeutet, daß seit der Einsenkung des Flusses in das Ursteiner Konglomerat dieses nicht nur als Geschiebelieferant diente (bis zu einem gewissen Grad kann unterhalb der Stufe Urstein weiterhin damit gerechnet werden), sondern auch selbst eine Geschiebesohle darstellt.

Unterhalb Urstein liegt der Flußschlauch noch frei, er ist tief in das Konglomerat eingesenkt. Je nach erfolgter Eintiefung und weiterem Eintiefungsfortschritt bzw. Konglomeratmächtigkeit kann eine verbleibende Restmächtigkeit zwischen 3 m und 5 m angenommen werden. Nach den Unterlagen - im Gelände ist das schwer eindeutig auszumachen - endet im Flußschlauch dieses Konglomerat bei ca. Fkm 72,0 auf kurze Entfernung, es scheint nicht allmählich auszukeilen.

Die von kleineren Seitenbächen praktisch nicht mehr gespeiste Geschiebesohle erhält sich als dünne ca. 1 m bis maximal 2 bis 3 m mächtige Gemischauflage aus Geschiebe und Konglomeratresten.

4.4 Mündungsbereich der Saalach

4.4.1 Geologische Situation

Im Unterlaufgebiet der Saalach stehen die gleichen Sedimente der Beckenfüllung des spätglazialen Salzburger Sees an, in deren oberste Lagen sich die Saalach ganz entsprechend wie die Salzach eingetieft hat. Auf einige Besonderheiten soll hingewiesen werden.

Das Saalachtal zeigt ab Bad Reichenhall die gleiche spät- und postglaziale Terrassenbildung wie die Salzach, d.h. die Pidinger Schwelle war im Würmglazial schon nicht mehr als Hindernis wirksam, die Terrassenbildung läuft durch. Entsprechend konnte der Saalachteilgletscher, der große Flächen des westlichen Vorlandgletschers überdeckte bzw. den westlichen Teil des Salzachvorlandgletschers bildete, seine Schmelzwässer nach NO abführen.

Insgesamt hat diese Entwicklung bewirkt, daß die Ur-Saalach bereits während der Verlandungsphase des Salzburger Sees die Ur-Salzach - wohl auch mitbedingt durch den Einfluß der Königsseeache - hier an den Ostrand der weiten Talung gedrängt hat und dadurch sich u.a. auch die weiten Moorflächen im Mündungsdreieck der beiden Flüsse auf der Friedhofterrasse bilden konnten.

4.4.2 Geschiebesohle

Infolge ausbleibenden Geschiebes ist eine Kiessohle im heutigen eingetieften Flußbett der Saalach nur mehr rudimentär ausgebildet. Die Saalach hat sich über längere Strecken hinweg durch die alluviale Kiesauflage hindurch in den unmittelbar darunter liegenden Oberen Seeton eingesenkt. Dessen Oberfläche ist - bedingt durch die frühere Flußtätigkeit - nicht eben und selbst auf die kurze Distanz zwischen linkem und rechtem Ufer nicht gleich hoch.

Die Mächtigkeit der Kiesdecke auf dem Seeton im Mündungsgebiet schwankt zwischen etwa 3 m und 10 m. Die davon heute unabhängige Kiessohle im Flußbett liegt an der Mündung nur bei ca. 1 m bis 2 m, bei Fkm 0,8 schwankt sie zwischen knapp 1 m (B1) links und 2 - 2,5 m rechts, bei Fkm 1,4 ist sie relativ am stärksten mit 3,5 - 4 m, um weiter flußaufwärts kaum noch zu existieren (Anlage 11). Insgesamt besitzt die Saalach in dem betrachteten Mündungsabschnitt praktisch keine intakte Geschiebeauflage der Sohle mehr.

4.4.3 Anmerkungen zum Längsschnitt und zu den Flußquerschnitten

Der Flußlängsschnitt der Saalach im Mündungsgebiet (Anlage 10) zeigt die auch im Salzachtal immer wieder gefundene Dreiteilung der Beckenfüllung in von oben: alluviale Kiesauflage, Oberer Seeton, Unterer Seeton. Der Untere Seeton ist hier allerdings nur im unmittelbaren Mündungsbereich erschlossen, er wurde in den saalachaufwärts gelegenen Bohrungen nicht mehr angetroffen (vgl. 4.1, 4.2, 6.2). Wie aus BLÖ 1/97 erkennbar ist, schaltet sich hier in den Oberen Seeton die von der Salzach bekannte

grobsandige, teilweise feinkiesige Zwischenschicht als Verlandungssediment oder Aufarbeitungshorizont ein, die dann vom alluvialen Kies überlagert wird bzw. in diesen übergeht.

BL Ö2 und BL Ö3 erschließen in ca. 10 m bzw. 13,5 m Tiefe eine geringmächtige, stark kiesige Zwischenlage, die aufgrund ihrer Ausbildung und Geröllformen als Driftkies gedeutet werden kann. Der Driftkies spricht für eine spätglaziale Ablagerung in einem Becken, an dessen Rand Eisschollen von einem Gletscher abgebrochen sind. Über diese abschmelzenden Eisschollen sind die schlecht gerundeten Gerölle mit eiszeitlichen Kritzern direkt in die sandigen Beckensedimente abgelagert worden. Man kann deshalb annehmen, daß die Verlandungsphase des Salzburger Sees im Saalachtal noch eisrandnah geschah, anders als im eigentlichen Salzburger See, wo der Gletscher sich offenbar bereits weiter in das Gebirgsinnere zurückgezogen hatte. Ob hier vom Oberen Seeton die obersten Schichten fehlen, d.h. eine Schichtdiskordanz zum alluvialen Kies existiert, ist nicht ganz sicher, die Oberfläche des Oberen Seetons, die Schichtgrenze also, spricht eher dafür, wie z.T. im Salzachtal auch.

Die Oberfläche des Oberen Seetons fällt zunächst flußabwärts bis BL Ö4 gleichmäßig, zwischen BL Ö4 und BL Ö3 steiler ab, um dann sogar leicht wieder bis BL Ö1 anzusteigen. Dies ist sehr wahrscheinlich auf unterschiedliche Ausräumung des Seetons und Wiederverfüllung mit Flußkies - also normale fluviale Umlagerungsvorgänge - während des Holozäns zurückzuführen. Die Querprofile geben gewissermaßen die Momentaufnahmen in den einzelnen Flußabschnitten wieder (Anlage 11).

5 Flußmorphologische Bestandsaufnahme

5.1 Flußgeschichte

5.1.1 Flußbauliche Eingriffe

5.1.1.1 Zustand bis zum Beginn der Korrektion

Die untere Salzach hatte bis zum Jahre 1820 kein geregeltes Flußbett. Betrachtet man eine Kartendarstellung aus dieser Zeit, die ”Fluß-Karte der Sala und Salzach zur Gränzregulierung zwischen Oesterreich und Baiern” aus dem Jahre 1817 oder den historischen Lageplan in Anlage 16, so erkennt man über weite Strecken ein stark verzweigtes Gewässer, das bei jedem Hochwasser seinen Lauf veränderte. Andere Bereiche, wie z.B. zwischen Salzburg und Golling, wiesen eher einen pendelnden Gewässerlauf mit geringer Verzweigungsneigung auf. Die Hauptgeschiebezubringer liegen im südlichen Salzburger Becken und hatten ihre breiten Geschiebefächer ins Haupttal vorgeschoben. Die damaligen Verhältnisse werden im ”gemeinschaftlichen hydrotechnischen Gutachten über die Salzach und Saale” aus dem Jahre 1820 wiedergegeben, wo insbesondere der Abschnitt zwischen Salzburg und Laufen (Geschiebestau durch die Laufener Enge) als ”der getreueste Spiegel verwahrloster Flüsse” bezeichnet wird, in dem auf einer Breite von 1000 bis 2000 Klafter (1900 bis 3800 m) alljährlich ”fürchterliche Verheerungen” stattfanden. In diesem Gutachten wird zur Verbesserung der Abflußverhältnisse im wesentlichen empfohlen, ”dem Fluß einen geraden Lauf und hiermit zugleich das Vermögen zur Eintiefung seines Grundbettes zu geben”. Die Saalach zwischen Hammerau und Mündung erstreckte sich über eine Breite von 600 m.

5.1.1.2 Die Phase der Korrektion (ab 1820 bis etwa 1930)

Schon aus dem Mittelalter sind erste Querbauten (z.B. das Stadtwerk bei Fkm 81,270 in Hallein) und lokale Regulierungs- und Entwässerungsarbeiten (1564 bis 1583 bei Mittersill im Oberpinzgau) überliefert. Die systematischen Regulierungsarbeiten am Oberlauf der Salzach begannen 1823 mit "Versteinungsarbeiten und Entsumpfung" im Pinzgau. Von Hallein abwärts war die Verbesserung der Schiffbarkeit neben dem Hochwasserschutz ein vorrangiges Ziel. Da die Salzach zwischen ihren natürlichen Ufern hin und her pendelte, galt es, die sich immer neu bildenden Seitenarme abzubauen und die Ufer gerade dort, wo sie einbrechen zu sichern. Die beiden Grenzstaaten Bayern und Österreich beschlossen daher mit Staatsvertrag vom 24.12.1820 eine gemeinsame Rektifikation der ”Saale und Salzach”. Zweck dieser durchgreifenden Korrektion war die Festlegung der Landesgrenze, die Erhaltung der Schiffahrt, die Beseitigung der Verheerung und die künftige Verminderung des Bauaufwands, insbesondere in der Strecke zwischen Saalachmündung und Laufen sowie zwischen Geisenfelden und Tittmoning. Diese Korrektion wurde mit einer Normalbreite von 80 Wiener Klaftern (151,73 m) in den beiden Strecken Saalachmündung bis Laufen und Geisenfelden bis Tittmoning im Jahre 1820 gleichzeitig in Angriff genommen, und zwar bis Anfang der 40er Jahre des 19. Jahrhunderts in Buhnenbauweise. Nachdem diese Baumethode nicht zum gewünschten Erfolg führte, ging man zum Bau von Leitwerken über.

Nach einem Fehlschlag, der auf eine zu groß bemessene Normalbreite zurückzuführen war, gelangte auf Grund der ”Additional-Convention” vom 09.02.1873 zum Staatsvertrag von 24.12.1820 die Mit-

telwasserkorrektion zwischen der Saalachmündung und dem Inn mit einer geringeren Normalbreite von 60 Wiener Klaftern (113,80 m) zur Ausführung, die Grundrißplanung hierzu lag bereits seit 1867 vor. Diese neue Korrektion wurde zwar den bereits ausgeführten Bauten nach Möglichkeit angepaßt, im allgemeinen mußte jedoch Bayern in die neue Linie vorrücken und daher viele Kilometer der in der alten Trasse bereits hergestellten Bauten wieder aufgeben.

Ähnlich verhielt es sich mit der Korrektion der Saalach. Wie bei der Salzach führte die zu groß gewählte Normalbreite zur Anlandung des bei Hochwasser transportierten Geschiebes, verbunden mit Aufhöhung der Flußsohle und Ausuferung. Nach der "Additional-Convention" wurde das Normalprofil auf Mittelwasserhöhe beschränkt und bis 1898 in wechselnder Breite (32,25 und 37,95 m) ausgeführt. Aufgrund der raschen Sohleintiefung zwischen Zollhauswehr (Fkm 8,05) und Fkm 3,2 erfolgte bis Ende der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts eine Aufweitung auf 45 bis 50 m Breite.

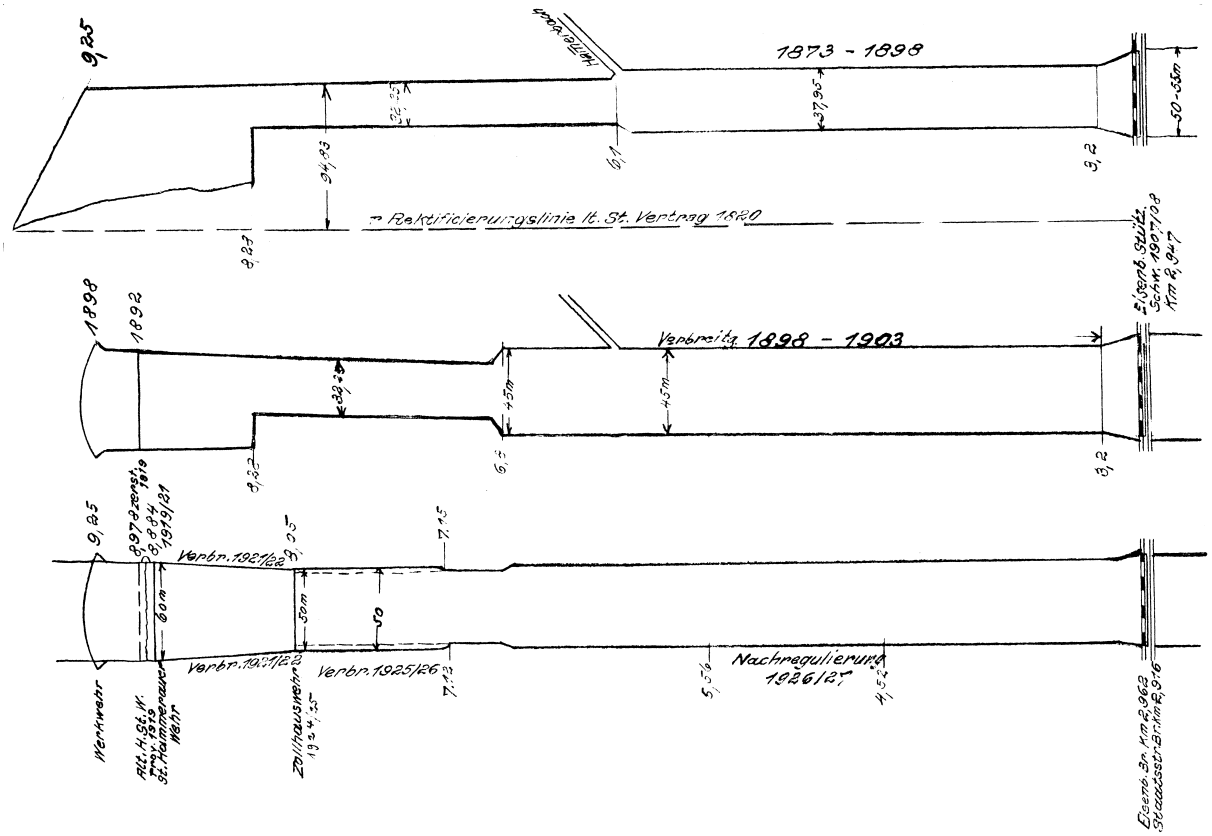


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Saalachkorrektion, unmaßstäblich

Die Saalach zählt somit zu den wenigen bayerischen Beispielen, wo das Ziel "Überführung der bestehenden Flußkorrektionen in den normalen Unterhaltungszustand ... durch Festlegung der Flußsohle in den vertieften Korrektionen mittels Profilerweiterung an den größeren ... Flüssen" [32] auch tatsächlich umgesetzt wurde. In den meisten Fällen erfolgte o.g. Überführung in den normalen Unterhaltungszustand mittels Querbauten, eine Bauweise die ursprünglich nur "an kleineren Flüssen" als Regelbauweise vorgesehen war [32]. Als Folge der Eintiefung und des verbesserten Hochwasserschutzes entstand i.d.R. ein hoher Nutzungsdruck bis an die Flußufer, was eine Profilerweiterung meist unmöglich machte. Ein typisches Beispiel für diese Entwicklung ist das Vorrücken der Stadt Salzburg in den ehemaligen Auenbereichen bis zur nächsten natürlichen Barriere Saalach, s. Abb. 8.

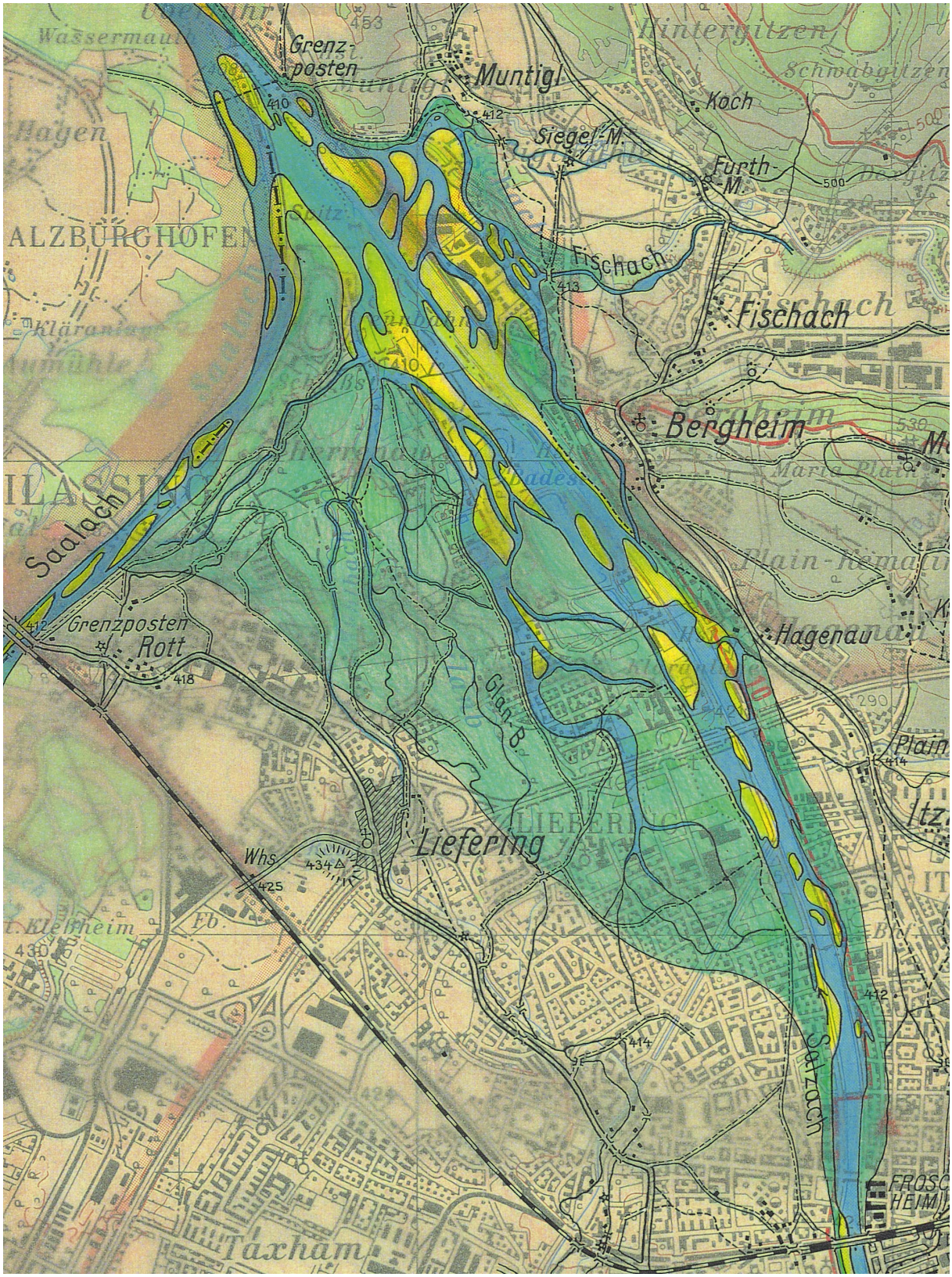


Abbildung 8: Das ”Nachrücken” der Stadt Salzburg in die Salzachaue, M = 1:50.000

Im Stadtgebiet von Salzburg erfolgten 1856 bis 1859 die maßgeblichen Regulierungsarbeiten. Eine Sicherung der Ufer mit Steindeckwerken erfolgte zwischen 1868 und 1873. Bis September 1886 war der gesamte Flußlauf von Hallein bis Salzburg, ebenso die Saalach als gemeinsame Landesgrenze ge-

schlossen reguliert. Im Abschnitt Saalachmündung bis Laufen (Fluß-km 59,3 bis 48,0) begann die planmäßige Korrektion mit der verminderten Normallinie von 113,80 m in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts und war im Jahre 1909 im wesentlichen abgeschlossen. Der Ablauf der Korrektion von Laufen bis Nonnreit gleicht dem Ablauf im Freilassinger Becken. In der anschließenden Strecke von Nonnreit bis Burghausen waren Teilkorrektionen zum Schutz von Siedlungen bei Unterhadermark (1898/1907) und Raitenhaslach (1903/1909) zunächst vordringlich, die nach 1909 zunächst untereinander und dann mit den anschließenden Korrektionen zusammengeschlossen wurden. Die Anfänge des untersten Teiles der Salzachkorrektion gehen auf das Jahr 1896 zurück (Teilkorrektionen zwischen Holzfeld und Piesing und unterhalb Haiming) und waren im Jahre 1927 abgeschlossen. In den 20er und 30er des 20. Jahrhunderts wurden im obersten Teil ab Hallein die Regulierungsarbeiten durchgeführt.

Ein Salzburger Bericht aus dem Jahre 1880 besagt, daß "die beabsichtigte Eintiefung Fortschritte macht" und diese durch Ergänzung der Steinvorlagen im Uferbereich planmäßig kompensiert werden mußte. Das Jahr 1880 markiert zugleich den Beginn einer Hochwasserserie, welche in dem Katastrophenhochwasser von 1899 gipfelten, das umfangreiche Schadensbehebungen an der gesamten Salzachstrecke erforderte. So wurde die Brücke Laufen-Oberndorf in den Jahren 1896, 1897 und 1899 weggerissen. Abb. 9 zeigt die alte Brücke bei ruhiger Wasserführung und Abb. 10 während des Hochwassers 1899 (der bayerische Teil ist überströmt, Teile des Geländers sind noch sichtbar, der österreichische Brückenteil ist bereits vom Hochwasser zerstört).

Abbildung 9: Alte Brücke Laufen-Oberndorf bei ruhiger Wasserführung, vor 1899

Abbildung 10: Zerstörte alte Brücke Laufen-Oberndorf während des Hochwassers vom 14.09.1899

Abbildung 11: Oberndorfer Damm kurz vor der Fertigstellung, ca. Ende 30er Jahre des 20. Jahrhun-

Abbildung 12: Zerstörte alte Brücke Laufen-Oberndorf während des Hochwassers vom 08.09.1920

Unter dem Eindruck der permanenten Hochwassergefahr faßte die Gemeindevertretung von Oberndorf schließlich 1900 den Beschluß, den Ort Oberndorf zu verlegen (bis 1910 im wesentlichen abgeschlossen, Dammbau und Abriß der letzten Häuser in den Jahren 1920 bis 1940). Abb. 11 zeigt den Oberndorfer Damm kurz vor der Fertigstellung. Das Hochwasser vom 07.09.1920 zerstörte neuerlich die Brücke zwischen Laufen und Oberndorf (s. Abb. 12), welche seit 1907 nur mehr als Fußgängerbrücke diente und seit dem Neubau der heutigen Grenzbrücke in den Jahren 1902/3 und der Verlegung von Oberndorf zunehmend entbehrlich geworden war.

Im Staatsvertrag vom 24.12.1820 wurden für die Strecke Hallein bis zur Mündung in den Inn detailliertere Regelungen zur Unterhaltung der Ziehwege, Rodung abbrüchiger Ufer sowie Reinigen des Flußbetts von Stöcken, Wurzeln und Felsen getroffen. Durch den rasch fortschreitenden Ausbau der Bahnverbindungen kam die Salzachschiffahrt jedoch bald vollständig zum Erliegen. Das Jahr 1870 markiert das offizielle Ende der Schiffergemeinde Laufen-Oberndorf.

5.1.1.3 Flußbauliche Maßnahmen seit Korrektionsende

In der bayerisch-österreichischen Grenzstrecke beschränkten sich flußbauliche Tätigkeiten im wesentlichen auf die Sicherung des Korrektionszustandes und Verbesserungen des Hochwasserschutzes. Abb. 13 zeigt eine Geschiebebaggerung der Salzach zur Gewinnung von Deichbaumaterial oberhalb der Tittmoninger Brücke. So wurden die versteinten Uferböschungen nach Hochwasserschäden ausgebessert bzw. in Folge der fortschreitenden Eintiefung ergänzt, ebenso wurden die gesicherten Fundamente der vier Salzachbrücken in Laufen, Tittmoning und Burghausen (2 Brücken) bei Bedarf ergänzt. Die größeren Hochwasserschutzmaßnahmen sind Tab. 5 zu entnehmen:

Größere Hochwasserschutzmaßnahmen entlang der Salzach **Tabelle 5**

Name	Lage [Fkm]	Bauzeit	Sanierung, Bemerkung
Triebenbach	54,9-52,2	1891/1900	1957, inclusive Rücklaufdeich Sur
Untergeisenfelden	39,2-28,1	1912/1919	1950/55
Ettenau	23,6-30,0	um 1900	1993/97
Tittmoning	29,2-26,1	1888/1911	1954, 1987, inclusive Rücklaufdeich Götzinger Achen

Abbildung 13: Geschiebebaggerung oberhalb der Tittmoninger Brücke, um 1910

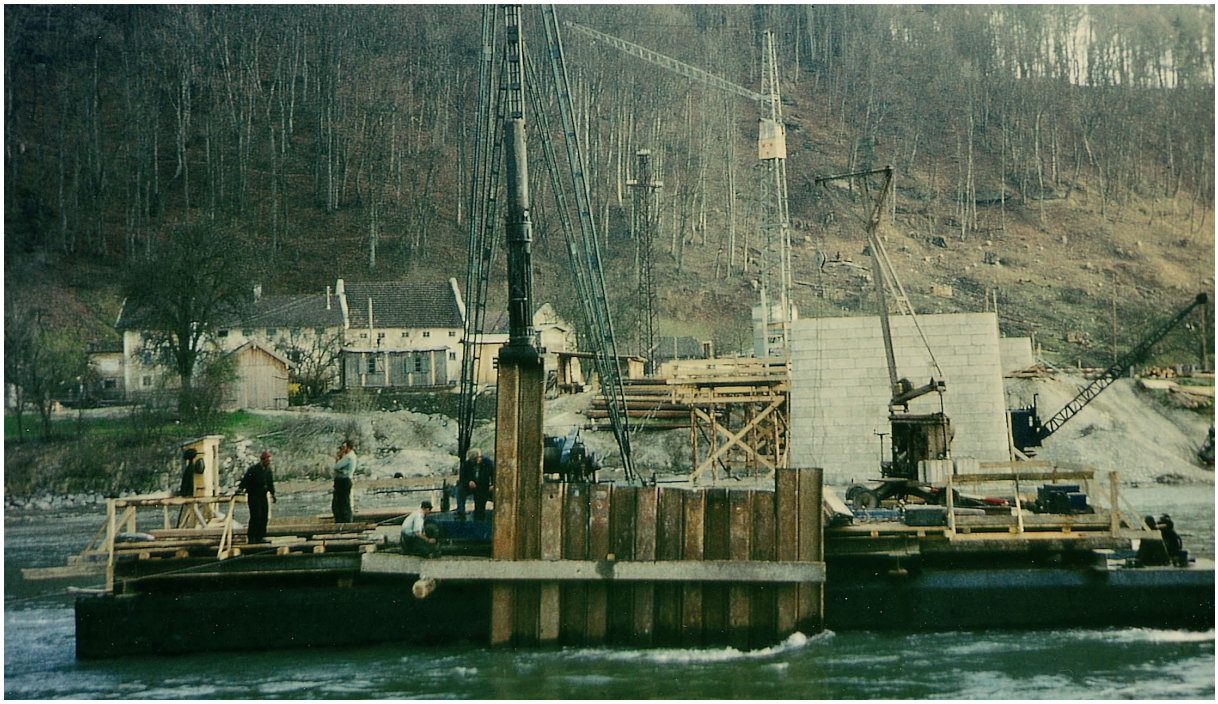


Abbildung 14: Schwimmbagger während des Neubaus der Brücke Wanghausen-Burghausen 1959 (Aufnahme Dr. Henselmann)

Der seit dem frühen Mittelalter bestehende Salzachübergang in Burghausen (im Jahre 1272 befreite Herzog Heinrich das Kloster Reitenhaslach von der alten Verpflichtung ein Brückenjoch zu erhalten) wurde wiederholt von Hochwässern beschädigt oder weggerissen, zuletzt 1959. Durch das Hochwasser vom 14.06.1959 wurde die Brücke zwischen Ach und Burghausen durch den Schwimmbagger, der zum Bau der neuen Salzachbrücke in Wanghausen verwendet wurde (s. Abb. 14) und sich dort losgerissen hatte, teilweise zerstört. Das erste Joch auf der bayerischen Seite wurde gänzlich weggerissen, das zweite schwer beschädigt, so daß zwei Brückenfelder einstürzten, s. Abb. 15. Durch das große Hochwasser vom 13.08.1959 wurde die Brücke dann vollständig weggerissen [33].

Abbildung 15: Vom Hochwasser 14.06.1959 beschädigte Brücke Ach-Burghausen
(Aufnahme Dr. Henselmann)

Im Tittmoninger Becken beschäftigt eine seit den 70er Jahren wiederholt aufgetretene Instabilität der Uferböschung die oberösterreichische Wasserbauverwaltung. Im Bereich Fkm 35,8-36,2 bewirkte das Hochwasser von 1975 auf 320 m Länge ein Absacken des Ufers um ca. 1 m, der Schaden wurde seinerzeit durch Auffüllung mit 1.200 m^3 Salzachkies behoben. In den Folgejahren - insbesondere durch das Hochwasser von 1981 - erfolgte ein Ausschwemmen des vorwiegend aus Feinsand bestehenden labilen Untergrundes. Die neuerliche Ufersackung von bis zu 2 m wurde mit 20 Stützrippen saniert, welche eine dauerhafte Entwässerung und Abstützung der Böschung bewirken sollten, zudem wurde die Böschung massiv mit Wasserbausteinen gesichert. Zwei neuerliche Rutschungen im Zeitraum 1997/98 führten in Verbindung mit Profilaufnahmen vom April 1998 zu der Erkenntnis, daß der am oberösterreichischen Ufer verlaufende Talweg sich im Bereich 36,0-36,2 in etwa auf gleicher Höhe mit der 1983 durch Rammsondierungen erkundeten Seetonoberkante befindet. Diese Seetonoberkante steht am oberösterreichischen Ufer höher an als auf bayerischer Seite, s. 3.6, Abb. 4.

Die Eintiefungserscheinungen oberhalb der Saalachmündung wurden das erste Mal um die Jahrhundertwende dokumentiert. Die im Längsschnitt nicht genauer bezeichnete Sohllage (mittlere Sohle, Talweg o.ä.) aus den Jahren 1898, 1900, 1912, 1920 und 1930 ergab Erosionsgeschwindigkeiten in der Größenordnung 2-10 cm/a, wobei der Eintiefungsfortschritt nicht kontinuierlich vor sich ging, sondern Erosion und Anlandung sich sowohl zeitlich als auch in Längsrichtung variabel zeigten.

Die Erosion im Flußbett erreichte seit dem Hochwasser 1954 besorgniserregende Werte, insbesondere durch die Ausräumung der z.T. nagelfluhartig verkitteten Flußschotter (Ursteiner Konglomerat, vgl. 4.3), unter denen Sande, Feinsande und Schluffe (Auffüllungssedimente des Salzburger Seebeckens) anstehen. Die Höhe des NNW hat sich beispielsweise am Pegel Salzburg Staatsbrücke zwischen 1870 und 1960 um etwa 5,2 m abgesenkt, wobei allein zwischen 1930 und 1961 bzw. 1966 eine Flußbetteintiefung bei Fkm 64,0 von 2,4 m und bei Fkm 75,0 von 4 m eintrat. Bis zum Jahre 1959 betrug die Eintiefung bei der Staatsbrücke in Salzburg 4,4 cm jährlich, in Hallein sogar 7 cm [34].

Während des Augusthochwassers von 1959 erfolgte im gesamten Stadtgebiet von Salzburg eine plötzliche Sohleintiefung von ca. 1 m und ein lokaler Kolk beim rechtsufrigen Pfeiler von rd. 7 m Tiefe führte zum Einsturz der Autobahnbrücke Liefering, s. Abb. 16 und Abb. 17. Die gleiche Wassermenge wie vom August 1959 hatte im Jahre 1920 aber noch wesentlich verheerendere Folgen, z.B. die Zerstörung der Wehranlage der Zellulosefabrik in Hallein (vgl. 5.1.2).

Abbildung 16: Eingestürzte Autobahnbrücke Liefering nach dem Hochwasser vom 13.08.1959

Abbildung 17: Eingestürzte Autobahnbrücke Liefering nach dem Hochwasser vom 13.08.1959

Das mittlere Gefälle des Niedrigwassers betrug 1961 zwischen Salzburg und Urstein 1,34 ‰, zwischen Urstein und Hallein sogar 1,88 ‰. In der zuletzt genannten Strecke sägte sich die Salzach in einer Stufe von etwa 3 m flußaufwärts fortschreitend durch die z.T. verkitteten Schotter. Nach dem Hochwasser von 1959, dem eine Serie von Überschwemmungen vorausgegangen war (1946, 1949, 1954 und schließlich alljährlich zwischen 1956 und 1959) nahm die Eintiefung der Salzach für die Bauwerke im und am Fluß ein bedrohliches Ausmaß an. Ein 1961 eingesetzter Arbeitsausschuß schlug Abhilfe anhand eines Stufenplanes vor, s. Abb. 18. Dieser wurde in Zusammenarbeit mit der Bundesversuchsanstalt für Wasserbau in Wien (heute IWB) entwickelt und umfaßte die Sanierung der Salzach von Hallein bis Salzburg durch drei Querbauwerke, nämlich:

- die Sohlstufe Salzburg-Lehen bei Fkm 63,95, deren Stabilisierungseffekt über etwa 11 km bis zur Mündung der Königssee Ache reichen sollte (Bauzeit 1965/68),
- das Kraftwerk Urstein, eine Mehrzweckanlage zur Energiegewinnung und flußbaulichen Sohlenstabilisierung bei Fkm 75,045, dessen Stabilisierungseffekt bis zur Sohlstufe Hallein reichen sollte (Bauzeit 1968/71) und
- die Sohlstufe Hallein bei Fkm 80,42, die im Rahmen der Salzachsanierung Hallein in den Jahren 1964 bis 1972 gebaut wurde. Zwischen Nov. 1968 und Mai 1971 wurde die Sohlstufe zum Kraftwerk umgebaut (Stauerhöhung um 1,60 m gegenüber der ursprünglichen Sohlschwelle).

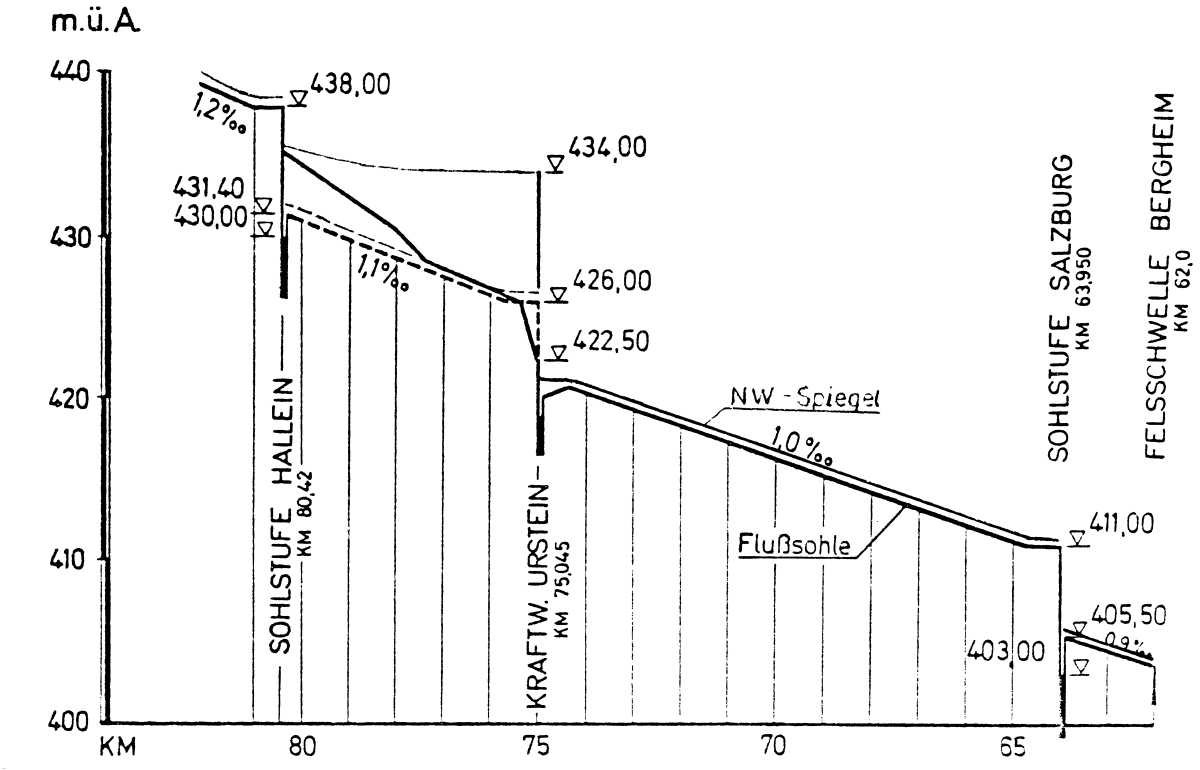


Abbildung 18: Salzach-Stufenplan im Längsschnitt, nach [34]

Die Bestimmung der Höhenlage für die mittlere Stufe, das Kraftwerk Urstein, erforderte die Kenntnis des Ausgleichsgefälles der Salzach, welches von MAYRHOFER [30] mit Hilfe einer modifizierten Meyer-Peter-Formel erechnet wurde. Als einzige Musterstrecke mit angenommenem Beharrungszustand bot sich die Strecke Oberndorf bis zur Salzburger Landesgrenze bei St. Georgen an. Mit Quer- und Längsprofilen, Eintiefungsbeobachtungen, den erforderlichen hydraulischen Daten der Angabe von mittleren Korndurchmessern und Schätzwerten zum Geschiebeeintrag der Seitenzubringer wurde das Ausgleichsgefälle für die Salzach im Stadtgebiet von Salzburg schließlich zu 1,02 ‰ ermittelt.

Die Tosbeckenkote der Sohlstufe Hallein wurde der damaligen Eintiefungstendenz entsprechend mit 430 m über Adria gewählt. Man nahm an, daß die Tosbeckentiefe auf eine 30 Jahre fortschreitende gleichmäßige Erosion anzulegen sei und legte die Tosbeckengegenschwelle 2 m unter die damalige ausgeglichene Sohle. Schon während der 1962 beginnenden Projektierungsarbeiten schritt aber die Erosion unter der Stufe so schnell voran, daß sich der erwartete Wert bereits nach 8 Jahren eingestellt hätte [36]. Die Errichtung des Kraftwerkes Urstein und die damit verbundene Sohlenstabilisierung im Unterwasser erfolgte gerade noch rechtzeitig. Die verhältnismäßig lange Dauer der Bauarbeiten an der Sohlstufe Hallein war durch die notwendige Pause 1966 bis 1970 zur Fertigstellung der Regulierungsarbeiten vor Aufrichtung des Staus durch die Sohlstufe bedingt. Diese Maßnahmen umfaßten vier Abschnitte und zwar:

- Regulierung der großen Salzach,
- der kleinen Salzach,
- Regulierung der Mündungsstrecke des Almbaches
- und Umbau des Stadtwerkes zur Abflußverteilung zwischen großer und kleiner Salzach.

Die Ufer der großen Salzach waren auf hölzernen Rammpfählen gegründet Da das NW wegen der fortschreitenden Erosion bereits tief unter die Pfahlköpfe abgesunken war, verrottete das Holz und hatte umfangreiche Setzungen und Zerstörungen der Ufermauern zur Folge. Vor der Sanierung des Stadtwerks hatte die große Salzach bei einem Katastrophenhochwasser von 2000 m^3/s ca. 1200 m^3/s aufzunehmen, die kleine Salzach dagegen nur rd. 800 m^3/s. Seit dem Umbau erfolgt die Beaufschlagung beider Arme gleichmäßig.

Schon bei der Planung des Kraftwerks Urstein wurden aufgrund des prognostizierten geringen Geschiebetriebs verstärkte Eintiefungstendenzen im Unterwasser des Kraftwerks erwartet [37]. Durch entsprechende Tieferlegung der Turbinen wurde die in den nächsten 30 bis 40 Jahren erwartete Unterwassereintiefung von ca. 2 m berücksichtigt. Wie ein Vergleich der Unterwassersohlen von 1972 und 1993 zeigt, ist die erwartete Unterwassereintiefung bereits in einem Zeitraum von 20 Jahren eingetreten. Dies führte dazu, daß bei geringeren Wasserführungen mit niedrigem Unterwasserspiegel die Laufräder der Turbinen Luft zogen, was zu Schwingungen und Kavitationsschäden an den Laufradschaufeln führte. Daher wurde 1996 im Unterwasser des KW Urstein eine Rampe und zusätzliche Nachbettsicherung gegen zu niedrige Wasserstände eingebaut.

Die Sohlstufe Salzburg sollte anfangsunmittelbar unterhalb der Lehener Brücke bei Fkm 65,0 errichtet werden. Wegen der äußerst ungünstigen Gründungsverhältnisse wurde sie gut 1 km flußab errichtet. Wie in Hallein verzichtete man auch hier auf die Ausnützung des Gefälles zu Wasserkraftzwecken, weil "die ständige Anspannung der Hochwasserkote in den Stadtbereichen äußerst unerwünscht wäre" [34].

Der Flußabschnitt unterhalb der Sohlstufe Salzburg wurde von KERSCHBAUMER [34] durch die natürliche Felsschwelle Bergheim bei Fkm 62 als vor größeren Eintiefungen geschützt beurteilt. Von der Flußstrecke unterhalb von Bergheim wurde erwartet, daß diese langfristig aufgrund der natürlichen Abpflasterung trotz künftigen Geschiebedefizits vor größerer Eintiefung bewahrt bleibt. Kritisch wurde allenfalls die Zeit während des Geschieberückhalts in den Stauräumen der Sohlstufen angesehen.

Unterhalb der Saalachmündung queren die Salzach lediglich 4 Brückenbauwerke auf knapp 60 km Flußstrecke, dagegen gibt es im Stadtbereich Salzburg insgesamt 12 Brückenbauwerke und eine Gewässerunterkreuzung, deren Fundierung beobachtet und ggf. wasserbaulich gesichert werden muß:

- Hellbrunner Brücke (neu) Fkm 70,810 2 Pfeiler in der Böschung, (alt: Fkm 71,140)
- Josefiausteg Fkm 68,495 2 Pfeiler im Fluß
- Nonntaler Brücke Fkm 67,055 2 Pfeiler im Fluß
- Mozartsteg Fkm 66,650 2 Pfeiler im Fluß
- Staatsbrücke Fkm 66,310 2 Pfeiler im Fluß
- Makartsteg Fkm 66,115 2 Pfeiler im Fluß
- Müllner Steg Fkm 65,605 2 Pfeiler im Fluß
- Eisenbahnbrücke Fkm 65,210 4 Pfeiler im Fluß
- Lehener Brücke Fkm 64,940 2 Pfeiler in der Böschung
- Pioniersteg Fkm 64,570 2 Pfeiler im Fluß
- Austrassen- oder Traklsteg Fkm 63,530 2 Pfeiler im Fluß
- Autobahnbrücke Liefering Fkm 62,955 2 Pfeiler im Böschungsfuß (seit Neubau)

- RHV-Düker Fkm 60,585 Abwasserdüker quert die Salzach

Im Bereich der Nonntaler Brücke, Fkm 67,050, wurden nahezu im gesamten Brückenbereich Steinrollierungen eingebracht, die eine lokale und temporäre Sohlsicherung im Bereich der Flußpfeiler bewirkt. Die beiden letzten Sohlsicherungsmaßnahmen in dieser Art wurden in den Wintern 1990/91 und 1995/96 durchgeführt. Für den Makartsteg, Fkm 66,115, ist für das Jahr 2000 ein Neubau vorgesehen. Das Projekt sieht einen Pfeiler statt der bisherigen zwei im Fluß vor.

Im Bereich des Müllner Steges, Fkm 65,615, ist bedingt durch die Flußkrümmung nach rechts ein ausgeprägt asymmetrisches Profil mit einer linksufrigen Kolkrinne in der Sohle und einer Schotterbank am rechten Ufer entstanden. Die Sohle mußte anläßlich des Neubaus 1995/96 nicht gesichert werden, da eine tiefe Pfeilergründung vorhanden ist.

Bei Fkm 65,210 quert die Eisenbahnbrücke die Salzach. Dort befindet sich unterhalb eines Querwerks aus Wasserbausteinen ein etwa 1 m hoher Absturz, welcher zuletzt im Winter 1991/92 im Bereich der Flußpfeiler ergänzt wurde. Der Bereich der Eisenbahnbrücke wurde während der vergangenen Jahrzehnte gegen Auskolkung der Pfeiler kontinuierlich gesichert. Die dort vorhandene Aufweitung des Salzachgerinnes als Ausgleich für die massiven Pfeilereinbauten wirkt in diesem Bereich zusätzlich sohlstabilisierend; die vorhandenen Kiesbänke sind ein Beleg hierfür. Die sohlstützende Wirkung der Sohlstufe Salzburg Lehen-Salzburg reicht etwa bis zur Eisenbahnbrücke bei Fkm 65,210. Unterhalb der Sohlstufe, vor allem aber unterhalb der Schwelle Bergheim bis zur Laufener Enge schreitet die Eintiefung seit Ende der 60er Jahre keilförmig mit 3 bis 4 cm/a rasch voran.

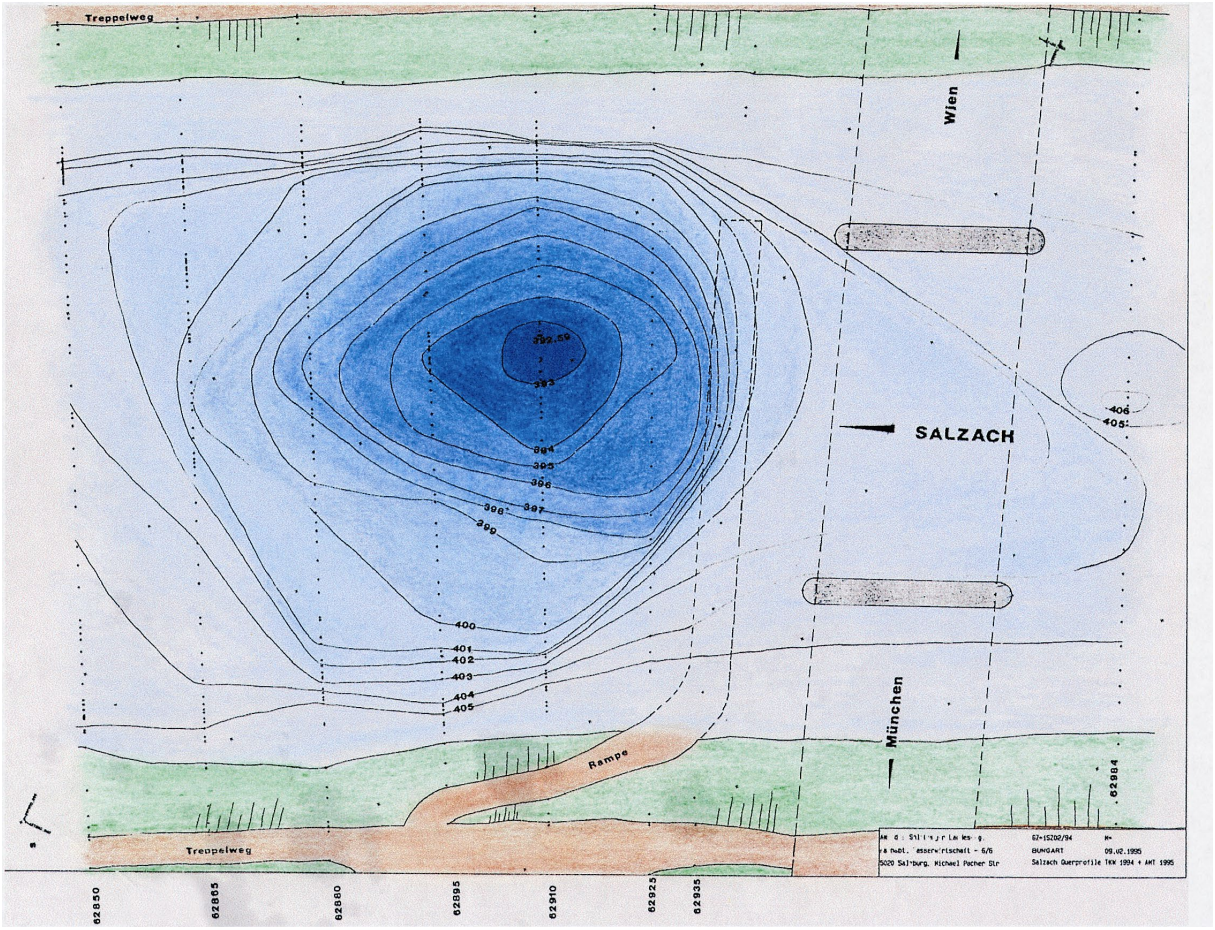


Abbildung 19: Kompressionskolk der Autobahnbrücke Salzburg/Liefering vor der Sanierung

Die Pfeiler der Autobahnbrücke Liefering, Fkm 62,955, wurden im Februar 1988 durch eine Steinschlichtung gesichert. Anläßlich der Profilaufnahme 1992 wurde im Unterwasser ein Kompressionskolk bemerkt, der in den Jahren 1994/95 sehr aufwendig saniert werden mußte, vgl. Abb. 19. Die Sicherungsmaßnahmen erstreckten sich über 600 m Flußstrecke und umfaßten neben einer Kolksicherung mit filterstabilem Aufbau, einen Sohlgurt und eine temporäre Gegenschwelle. Insgesamt wurden 40.000 m^3 Wasserbausteine und Filterkies verbaut. Gegenwärtig ist eine rasche Eintiefung im Unterwasser der zwischenzeitlich neu gebauten Gegenschwelle zu beobachten.

Noch 1961 konnte in der eingekiesten Schwelle Bergheim, Fkm 62, eine Flußprofilaufnahme erfolgen. Heute ist die Schwelle aus den umgebenden Seetonschichten durch die turbulenten Strömungsverhältnisse herauspräpariert und kann wegen ihrer ”weichen” Gesteine (Flyschsandstein unterschiedlicher Härte bzw. Frostsicherheit) dem Erosionsfortschritt weniger entgegensetzen als früher angenommen. Im Bereich der Schwelle sind mit konventionellem Aufwand keine Flußprofilaufnahmen mehr möglich.

Der RHV-Düker bei Bergheim Fkm 60,585 wurde in den Jahren 1988 bis 1990 gebaut und mit einem Sohlgurt gesichert. Dieser Sohlgurt mußte im Winter 1997/98 wieder ergänzt werden, da der Stromstrich insbesondere das rechte Ufer anzugreifen begann und den Gurt aufzulösen drohte.

Die Fischachmündung, Fkm 59,915, wurde Anfang der 60er Jahre durch eine Rampe gesichert. 1985 mußte die Rampe wegen der fortschreitenden Eintiefung um 1,5 m verlängert werden. Die Eintiefungs-

geschwindigkeit im Bereich der Fischachmündung lag in der Größenordnung von 5 bis 6 cm/a.

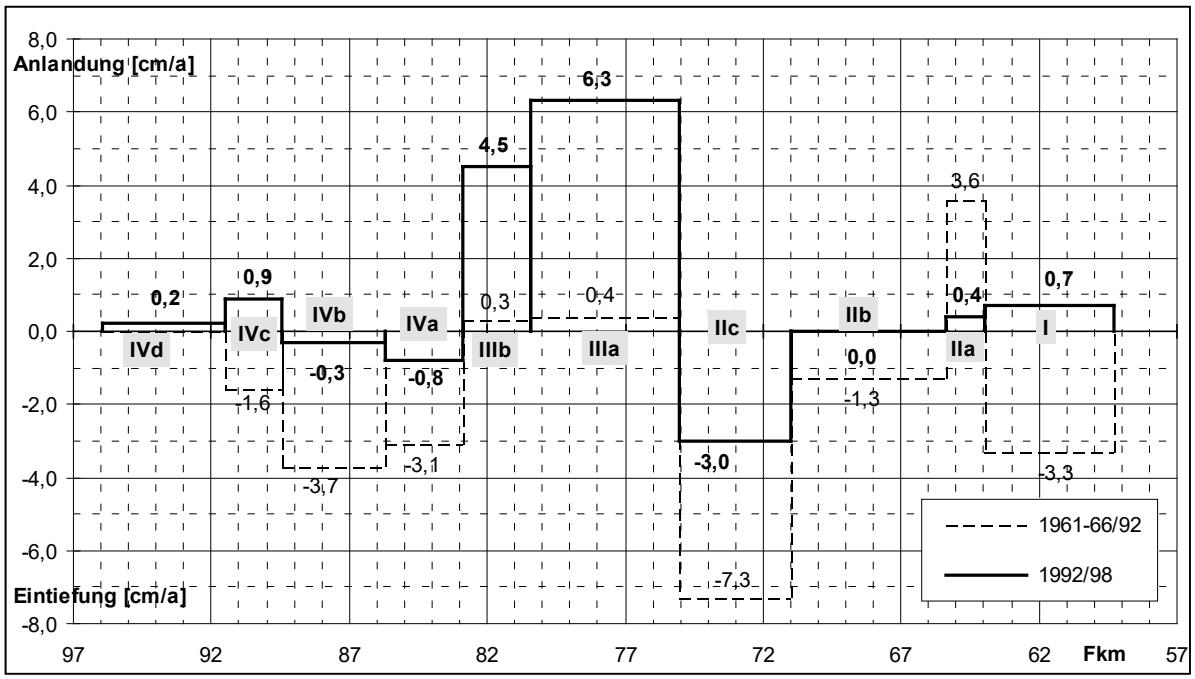


Abbildung 20: Sohländerungen der Salzach im Zeitraum 1961-66/92 und 1992/98

Die Sohlentwicklung der Salzach oberhalb der Saalachmündung zeigt Abb. 20. Seit Anfang der 60er Jahre bis Anfang der 90er Jahre kann oberhalb von Hallein eine deutliche Eintiefungstendenz beobachtet werden, die in jüngster Zeit dem Pendeln um eine mittlere Sohllage gewichen ist. Im Stauhaltungsbereich der Kraftwerke ist die Sohllage starken Schwankungen unterworfen, so daß dem Zeitraum 1992/98 nur die Bedeutung einer Momentaufnahme zukommt. Unterhalb des KW Urstein hat die Erosion merklich nachgelassen, dies darf jedoch keinesfalls als Entspannung der Situation gewertet werden, da zahlreiche kleinere flußbauliche Maßnahmen eine Dämpfung des tatsächlichen Erosionsvermögens bewirken. Insbesondere im Abschnitt I wurden umfangreiche Sohlsicherungsmaßnahmen eingebracht (Autobahnbrücke Liefering), die den wahren Charakter einer Erosionsstrecke verdecken.

Die Saalach unterhalb des 1940/50 errichteten Kraftwerks Rott-Freilassing ist durch eine massive Sohlerosion gekennzeichnet. Seit den 20er bis Mitte der 50er Jahre lag die Sohlerosion relativ gleichmäßig bei 6 bis 8 cm/a. Seit Inbetriebnahme des Kraftwerks Rott-Freilassing wurden in der Mündungsstrecke 2 bis 3 m Kiesauflage abgetragen. Inzwischen sind die erosionsempfindlichen, feinkörnigen Sandschichten freigelegt und ausgewaschen worden. Seit Ende der 70er Jahre schwankt die Eintiefungsgeschwindigkeit stark (1 bis 15 cm/a), was als Folge des Fehlens der Kiesauflage gedeutet werden kann. Die Sohlbreite zwischen den versteinten Ufern hat sich seit 1920 mit 40 bis 45 m durch das Einschneiden der Sohle auf 25 bis 27 m reduziert und geschiebetechnisch damit ein Transportoptimum erreicht (jede Änderung der bewegten Sohlbreite würde eine Abnahme des Geschiebetransports bzw. der Erosion bewirken).

Abbildung 21: Verpreßte Kiesbank an der Saalachmündung, Aufnahme vom 02.02.1994, ca. 120 m^3/s

Vom WWA Traunstein wurde erwogen gegen die fortschreitende Sohlerosion die Kiesbank im Saalachmündungsbereich mit einem Riegel (Fkm 59,33 zum Saalachspitz) zu stabilisieren. Zu Testzwecken wurde im April/Mai 1980 eine Versuchsfläche von 10 x 40 m Größe mit 1 bis 2 m Kies aufgehöht und durch rd. 90 m^3 Zementinjektionen ca. 2 bis 3 m unter aufgehöhter GOK verpreßt (Abb. 21, Verpreßtiefe ca. 399 mNN). Die im Anschluß durchgeführten Beobachtungen zeigten, daß eine solche Maßnahme der Sohlerosion nur wenig Widerstand entgegensetzten würde. Der verpreßte Bereich wurde z.T. zersetzt (Frost etc.), an einigen Stellen wurde zwischenzeitlich die Unterkante des verpreßten Bereiches freigelegt.

Als Folge des nachlassenden Geschiebeeintrags aus Salzach und Saalach sind die alternierenden Kiesbänke im Freilassinger Becken seit Mitte der 60er Jahre bis Ende der 70er Jahre weitgehend verschwunden (eine Folge des Geschieberückhalts durch die Sanierung von Salzburg bis Hallein mit Querbauten und abflußreicher Jahre). Das Verschwinden der Bänke kann auch dahingehend interpretiert werden, daß die Mächtigkeit der Kiesauflage zu gering ist um solche Strukturen zuzulassen. Im Tittmoninger Becken kann seit Mitte der 70er Jahre ein langsames Nachlassen der Kiesbankdynamik beobachtet werden. Zwischen beiden Becken kann ein Zeitversatz der ”Bankausräumung" von ca.15 Jahren beobachtet werden. In 5.8 wird auf diese Entwicklung näher eingegangen. Das Verschwinden der Bankstrukturen im Tittmoninger Becken wird um einige Jahrzehnte länger dauern als im Freilassinger Becken weil:

- wegen der Sohlerosion im Freilassinger Becken das Geschiebedefizit im Tittmoninger Becken geringer ist und

- das Tittmoninger Becken größer als das Freilassinger Becken ist (Sohlspeicher mit größerem Puffervolumen).

Parallel zum nachlassenden Geschiebeeintrag können verstärkt Schwebstoffanlandungen im Böschungsbereich festgestellt werden, deren Ursache einerseits in der Betriebsweise der Stauräume von Hallein und Urstein liegen kann (z.B. werden je Spülung im Stauraum Urstein zwischen 400.000 und 800.000 m^3 fast ausschließlich feinkörnige Feststoffe freigesetzt) und andererseits auf die Ausräumung feinkörniger Schichten in Bereichen mit geringer Restkiesauflage zurückgeführt werden kann (während eines Hochwassers gerät die Sohle in Bewegung und die zu dünne Kiesauflage kann das Aussaugen von feinkörnigem Untergrundmaterial nicht mehr verhindern). Als Initialereignis beider Vorgänge - direkt und indirekt - kann das Hochwasser vom 13.08.1959 angesehen werden.

Seit der Jahrhundertwende kann eine rückschreitende Erosion vom Inn her beobachtet werden, die durch eine geschiebefreie Einleitung des Alzkanals mit 70 m3/s bei Fkm 6,5 seit Ende 1922 noch verstärkt wurde. Zu Beginn der 50er Jahre durchwanderte die rückschreitende Erosion den Bereich Burghausen. Durch die Inbetriebnahme der Innstufe Simbach-Braunau Ende 1953 wurde der Erosionskeil wieder weitgehend verfüllt und oberhalb der Stauwurzel (Fkm 8,0 bis 7,0) durch Baggerung des Geschiebes ein Beharrungszustand der Sohle erreicht.

Im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten (Zeitraum 1953/64) ist in Abb. 22 die derzeitige Sohlentwicklung der Salzach (Zeitraum 1977/95) als Änderung der mittleren Sohllage in cm je Jahr dargestellt. Generell nimmt die Erosionsgeschwindigkeit zu. Der Erosionskeil im Freilassinger Becken (Fkm 59,3 bis 49,0) zeigt sich in einer Abnahme der Erosionsgeschwindigkeit zwischen Saalachmündung bis Laufen. Bis auf einen Teilabschnitt zwischen Nonnreit und Burghausen (Fkm 22,0 bis 14,0) hat ab Laufen eine Trendumkehr von der Anlandung zur Erosion stattgefunden. Durch die Wahl der Vergleichszeiträume tritt die Wiederverfüllung des o.g. Erosionskeils ab Burghausen (Fkm 14,0) besonders deutlich in Erscheinung. Im Detail wird auf diese Entwicklung in 5.13.3 eingegangen.

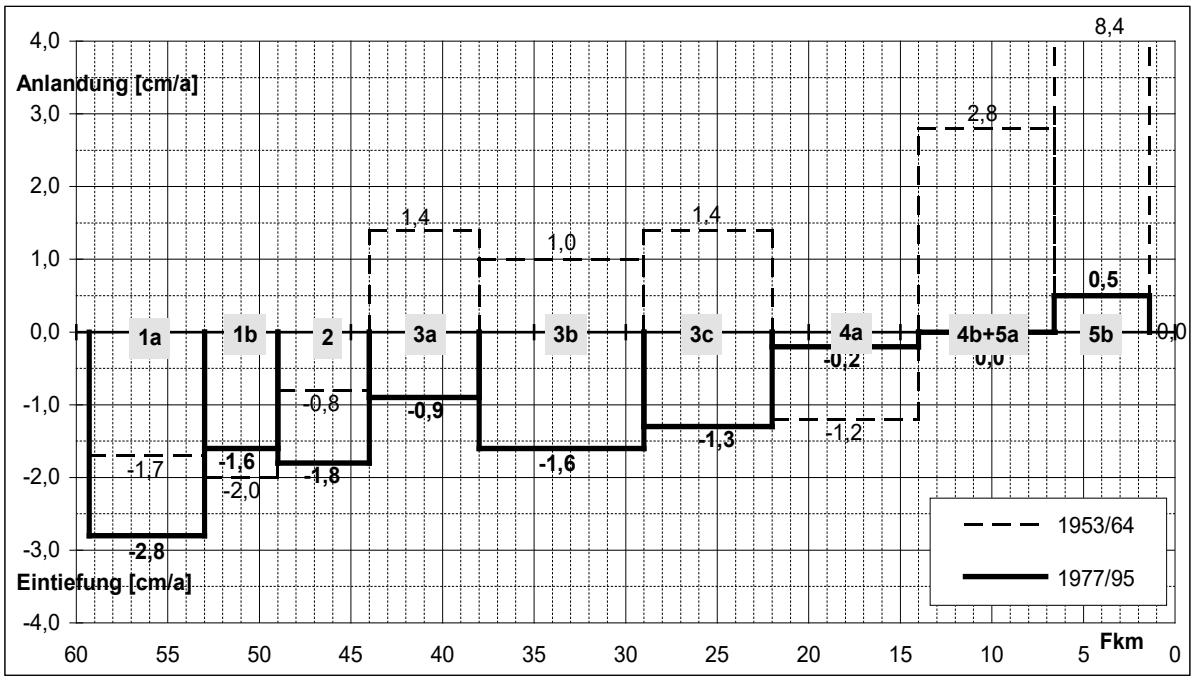


Abbildung 22: Sohländerungen der Salzach im Zeitraum 1953/64 und 1977/95

5.1.2 Wasserkraftnutzung

Die Wasserkraftnutzung an der Salzach bzw. ihrer Zubringerflüsse blickt auf eine lange Tradition zurück. Bereits 1891 erfolgte der Bau der ersten Kraftwerksanlage an der Salzach in Hallein durch die damalige Papier- & Zellulosefabrik Keller-Partington. Nach der Zerstörung der Wehranlage durch das Hochwasser 1920 erfolgte in den Jahren 1926 bis 1928 ein Neubau der Wehranlage. Jahrzehntelang wurde im Oberwasser des Wehres eine Geschiebeentnahme betrieben, erst seit wenigen Jahren sind detailliertere Spülmaßnahmen wasserrechtlich verankert worden. Das inzwischen baufällige Wehr soll in absehbarer Zeit durch einen Neubau ersetzt werden, dessen Konzeption und Bertiebsweise den Erfordernissen der Geschiebetrift Rechnung tragen wird.

Das Hauptinteresse der Wasserkraftnutzung ruhte jedoch auf der Hauptgefällestrecke von Bruck bis Golling und auf den wasserreichen Zubringern ausder Tauernregion. Bis Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts konnte die Kraftwerkskette ”Mittlere Salzach” zwischen Schwarzach und Kreuzbergmaut ver-wirklicht werden, zuletzt jedoch mit wachsenden Schwierigkeiten. Die Folgen der Liberalisierung des Strommarktes trugen mit dazu bei die Realisierung des KW Pfarrwerfen vorerst zurückzustellen. Die Planungen für das KW Hagenau im Bereich der Schwelle Bergheim bei Fkm 62,0 wurden vorerst eingestellt.

Zwei weitere Kraftwerke wurden in der Unteren Salzach errichtet, deren flußmorphologischer Hintergrund in 5.1 bereits erläutert wurde:

- Das Kraftwerk Urstein von November 1968 bis Mai 1971
- Das Kraftwerk Hallein von Juli 1985 bis Dezember 1987

Die Salzach unterhalb der Saalachmündung war oftmals Gegenstand von Denkschriften und Kraftwerksplanungen, die einen Staffelausbau mit überwiegend 7 Stufen (Surheim, Laufen, Eching, Fridol-

fing, Tittmoning, Burghausen und Neuhofen, s. Abb. 23) vorsahen. Mit Antrag vom 15.10.1974 hat die ÖBK bei der ROB ein Raumordnungsverfahren für den Kraftwerksausbau der Unteren Salzach beantragt. Die Planung sah einen Staffelausbau mit 4 Staustufen vor, deren letzter Planungsstand vom 13.05.1977 in Abb. 23 und Abb. 24 dargestellt ist.

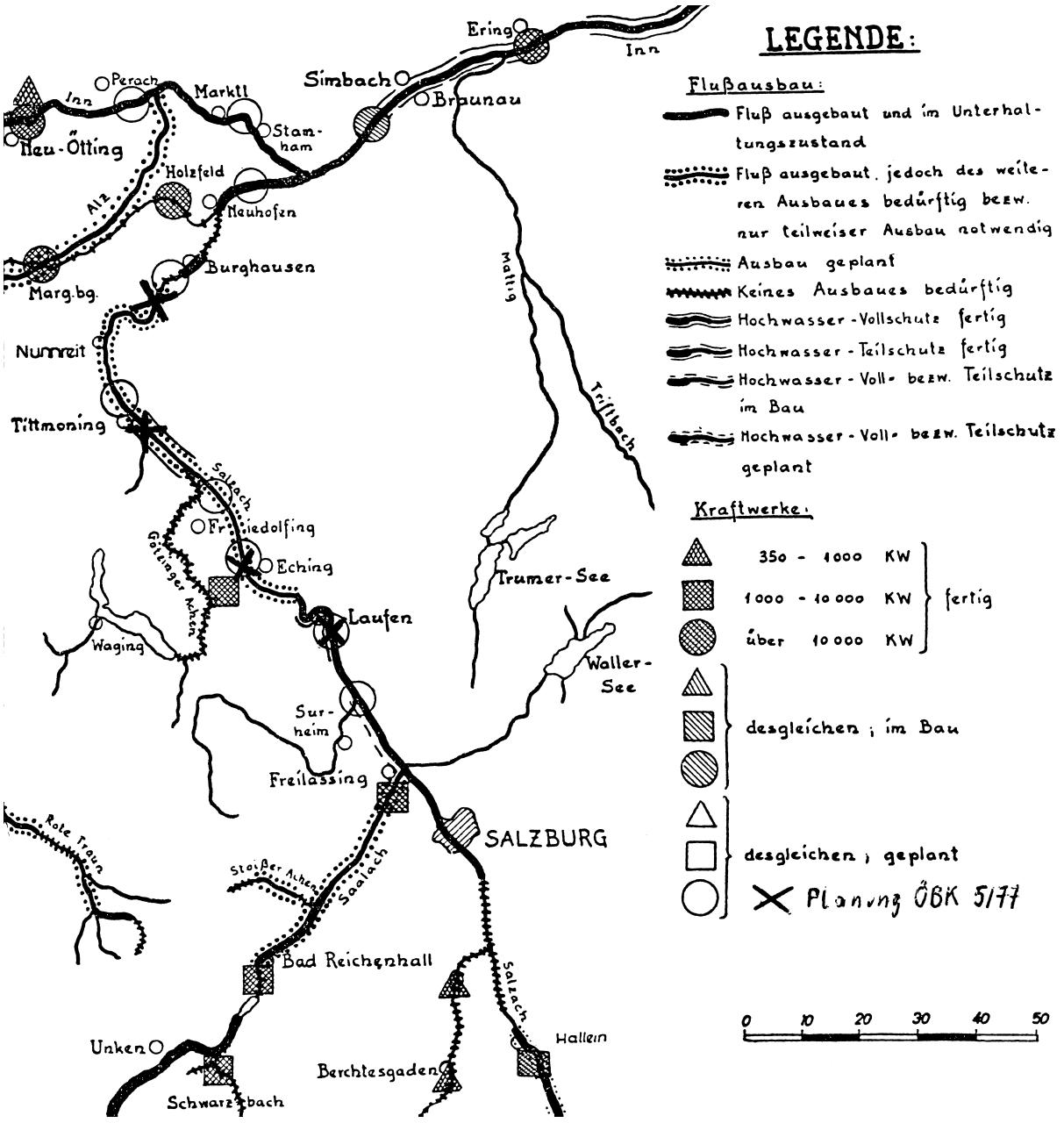


Abbildung 23: Bayerisches Innstromgebiet, Flußausbau und Kraftwerke, Stand 1952 mit Planungen der ÖBK ergänzt, nach [38] verändert

In der landesplanerischen Beurteilung vom 10.07.1978 wurde festgestellt, daß ”aufgrund der von Verfahrensbeteiligten erhobenen erheblichen Bedenken klar erkennbar” wurde, daß ”diese schwerwiegenden Einwendungen durch entsprechende Auflagen nicht ausgeräumt werden können und somit eine Realisierung des Projektes nicht möglich ist.” Die o.g. erheblichen Bedenken wurden insbesondere seitens des Natur- und Landschaftsschutzes, der Wasserwirtschaft, der Naherhohlung und des Fremdenverkehrs geltend gemacht.

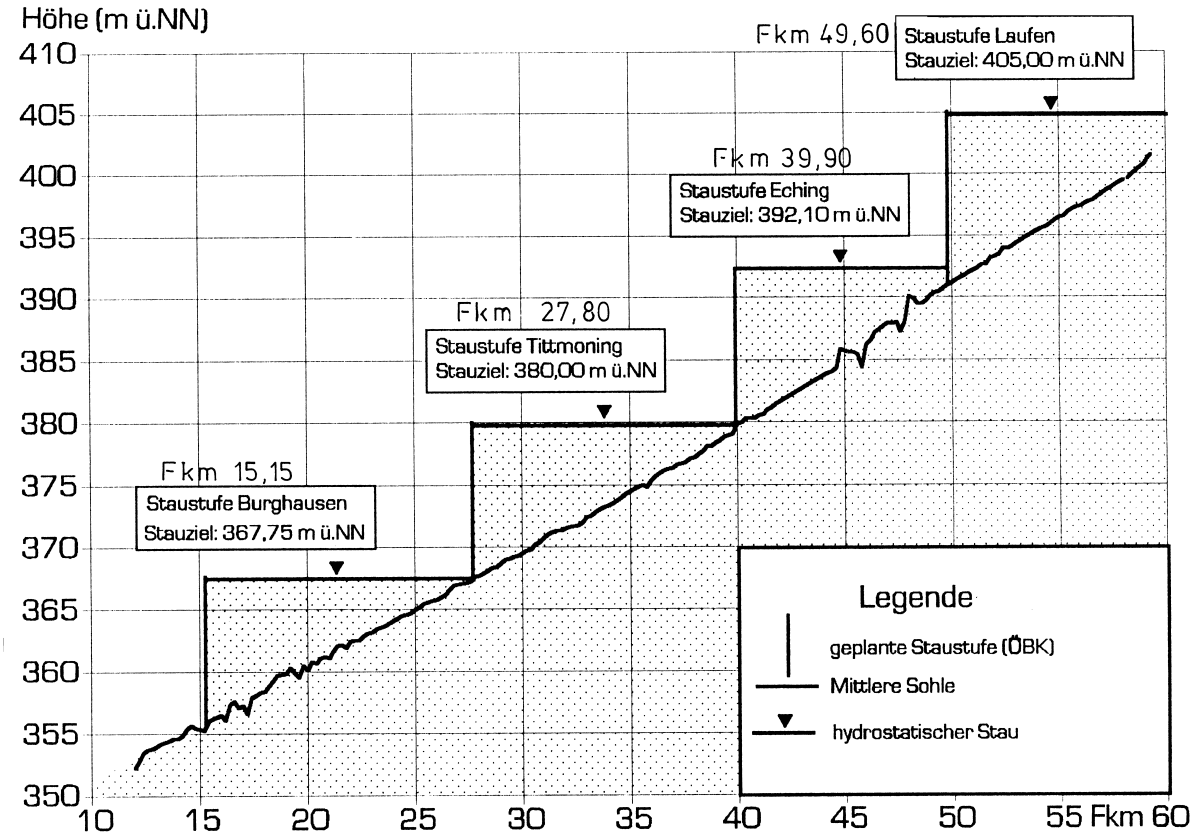


Abbildung 24: Längsprofil der Salzach mit geplanten Staustufenausbau der ÖBK, Stand 13.05.1977

Der Hauptgeschiebezubringer der Unteren Salzach, die Saalach, ist noch stärker durch die Wasserkraftnutzung geprägt. Maßgebend hat hierzu Bau und Betrieb der Talsperre Kibling beigetragen. Das ursprüngliche Saalachprojekt von 1907 (s. Abb. 25) sah die Errichtung eines Ausleitungskraftwerkes vor: Wehr oberhalb der Maßbachmündung (ca. Fkm 26,7), ca. 2 km langen Werkkanal bis zu einem Stauweiher im Weißbachtal und ein 4250 m langen Stollen bis zum Kraftwerk. Bei einem Nutzgefälle von 24,0 m und einer Ausleitungsmenge von 20 m^3/s sollte eine Höchstleistung von 5000 PS erzielt werden [39]. Der technische Vorbericht vom Oktober 1908 sah jedoch eine grundlegend andere technische Konzeption vor: Talsperre bei Fkm 20,69, Nutzgefälle 19,5 m, Ausleitungsmenge 60 m^3/s und eine Höchstleistung von 8000 PS (+ 2000 PS Reserveaggregat).

Die Tragweite dieser Konzeption schildert bereits eine Beschreibung der BLfG aus dem Jahre 1928/29 [40] sehr nüchtern: "Der Einbau der 9 m hohen Stausperre bei Kibling (Fluß-km 20,69) hat den ganzen Flußcharakter etwa von km 26 ab geändert". Ein Aktenvermerk des LfW vom 19.01.1998 zeigt einen anschaulichen Vergleich für die flußmorphologischen Konsequenzen an Saalach und Salzach auf: "Es sei hier erlaubt, den Patienten Fluß im Sinne meines geschätzten Hochschullehrers Fritz Hartung mit einem kranken Menschen zu vergleichen. Bei der diagnostizierten Erkrankung des Patienten Fluß an Geschiebemangel ist man zwar bereit, die Symptome medikamentös, durch künstliche Geschiebezugabe, und orthopädisch, mit Stützmaßnahmen, zu behandeln, man bringt aber den Mut nicht auf, die Ursache anzugehen und die enorm Schmerzen bereitende, mit Steinen gefüllte Gallenblase chirurgisch zu entfernen, im Falle der Saalach also den Einflußbereich der Kiblinger Sperre zurückzubauen und das alte, für die Geschiebedurchgängigkeit erforderliche Talgefälle wieder herzustellen. Nur so könnte ein beschwerdefreier Zustand für die Unterlaufstrecke erreicht und auch der für die Salzach erforderliche ungehinderte Geschiebezulauf qualitativ und quantitativ auf Dauer wiederhergestellt werden."

Durch die Umplanung hatte man die wirtschaftlichen Interessen in den Vordergrund gerückt und die Problematik der Feststofführung eines alpinen Gewässers hintangestellt. Zwar wurde im Bescheid von 1913 - sinngemäß - festgelegt, daß alles ankommende Geschiebe nach unterstrom zu verbringen sei, die Realität hat das juristische Diktum aber über Jahrzehnte in Frage gestellt. Seit 1999 wird eine Form der Geschiebebewirtschaftung betrieben, die den Geschiebehaushalt, betriebliche Möglichkeiten und wirtschaftliche Rahmenbedingungen nachhaltig sichert.

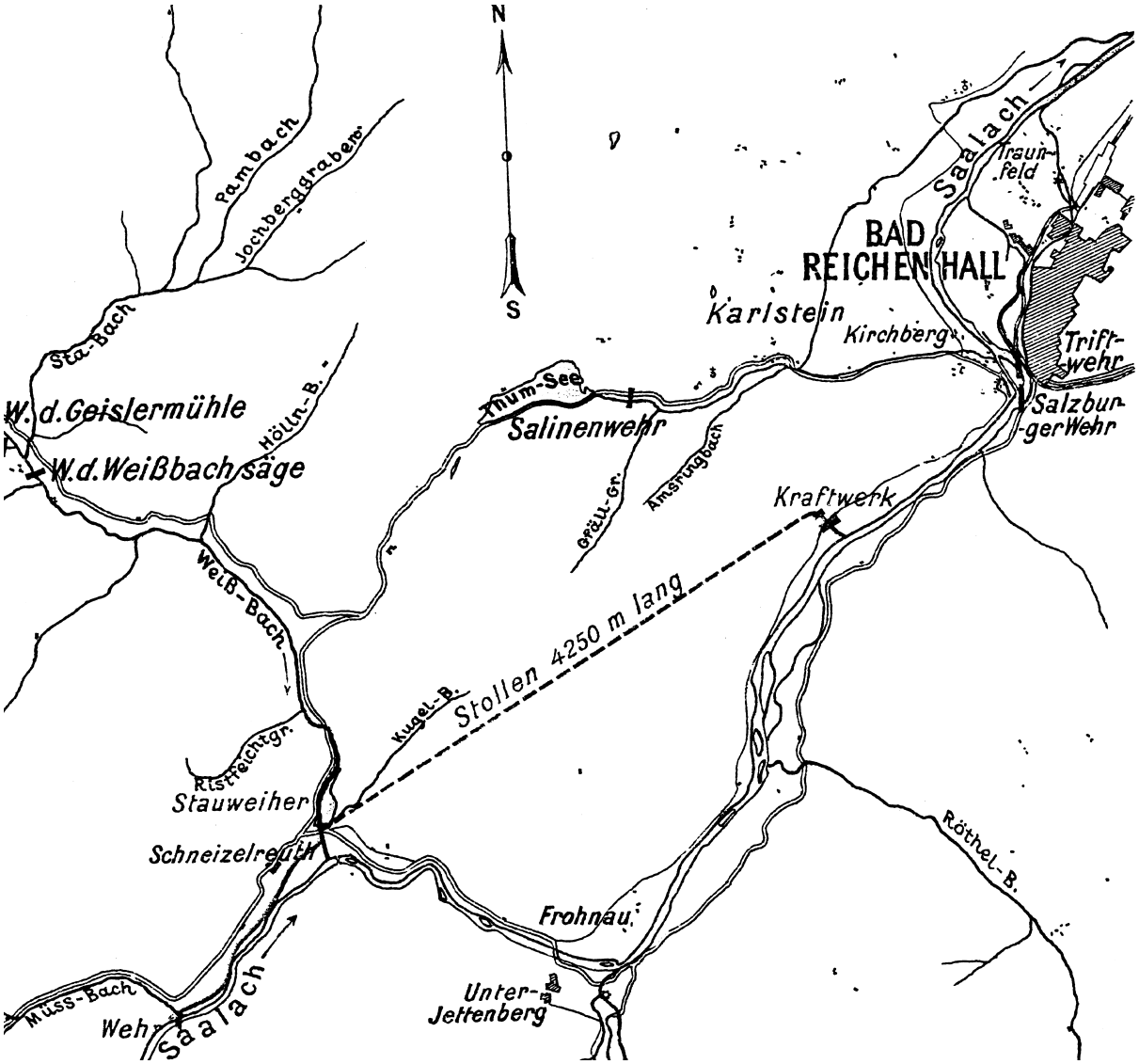


Abbildung 25: Saalachprojekt oberhalb Reichenhall, M = 1:50.000, nach [39]

Stromab der Talsperre Kibling wurden im Lauf der Jahrzehnte Querbauten zu Ausleitungszwecken und Wasserkraftnutzung errichtet (Käferhamer Wehr Fkm 10,143, Hammerauerwerk Wehr Fkm 9,250, Staatswehr Fkm 8,880, KW Zollhauswehr, Fkm 8,051, KW Rott-Freilassing Fkm 2,500). Gegenwärtig liegt im Bereich Bruch/Hausmoning ein Bewilligungsantrag auf Bau eines Kraftwerkes zur Bearbeitung bei den zuständigen Behörden.

Unterhalb von Burghausen mündet bei Fkm 6,5 der Alzkanal in die Salzach. Nach einer Bauzeit von 1916 bis 1922 ging die 4. Alzstufe Holzfeld in Betrieb. Seit dem 30.11.1922 werden aus der Alz über den Alzkanal 70 m^3/s Abfluß geschiebefrei in die Salzach eingeleitet.

Nach einer Bauzeit von 1951 bis 1954 begann die Instufe KW Simbach-Braunau am 30.10.1953 mit der Energieerzeugung. Der Rückstau in die Salzach reicht je nach Wasserführung bis von Fkm 7,0 oder 8,0. Seit 1972 wurde eine Stauerhöhung von 348,50 mNN auf 349,00 mNN vorgenommen.

5.1.3 Schiffahrt

Die Schiffahrt wurde seit dem 9. Jahrhundert vom Inn bis über Hallein hinaus betrieben, sie war flußaufwärts von Tittmoning jedoch wegen der Untiefen infolge des sich ständig in Umbildung befindlichen Flußlaufes nicht ungefährlich. So wurden unweit der alten Laufener Brücke 1773 zwei Felsen (sog. ”Nocken”) gesprengt, welche die Schiffahrt behinderten. Im Münchner Staatsvertrag vom 14.04.1816 wurde festgestellt , daß "die Flüsse Saala und Salzach Gemeingut beider Uferstaaten sind." und sich beide alle Arbeiten und Auslagen teilen, "die mit der Sicherung und Erhaltung der auf der Salzach bestehenden Schiffahrt verbunden sind."

Eine lebendige Schilderung der Schifffahrtsverhältnisse enthält PUTZINGER [48]: Von der Lammermündung abwärts wurde die Salzach seit alters her mit gebundenen Flößen befahren. Durch die im Jahre 1860 erfolgte Eröffnung der Westbahnstrecke bis Salzburg wurde das Schicksal der Salzach-Schifffahrt endgültig besiegelt. Dieser Verlust war aber umso leichter zu verschmerzen, weil die Schifffahrt durch ihren ungeheuren Bauholzverbrauch - alljährlich 50 000 der schönsten Stämme - zur Verwüstung der Wälder wesentlich beitrug. Im Mittelalter und zu Beginn der Neuzeit war die Verfrachtung wegen der schlechten Wege und Straßen der Gebirgsgaue auf weite Entfernungen kaum möglich. Versuche, die Salzach von Lend abwärts schiffbar zu machen, reichen bis in das 16. Jahrhundert zurück, mussten aber, ganz abgesehen von den schweren Schifffahrtshindernissen, schon in ihren Anfängen an der Unzulänglichkeit der damaligen technischen Mittel scheitern.

Den entscheidenden Anstoß zur Entwicklung der Schifffahrt gaben die Salinen von Hallein, Reichenhall und Berchtesgaden, deren Bedeutung vom 9. Jahrhundert angefangen ständig wuchs. Schon der im 8. Jahrhundert aufscheinende Stadtname ”Salzburg” gibt Zeugnis von der Benützung der Wasserstraße zur Salzverfrachtung. Die Verschiffung des Salzes der bayerischen Salinen erfolgte vom Umschlagplatz in Rief, nördlich von Hallein, während die Saline Hallein ihr Salz in der Stadt selbst verfrachtete. Zur damaligen Zeit, als die Einzugsgebiete des Flusses vielfach noch dichter besiedelt waren und die zahlreich vorhandenen Überschwemmungsgebiete den Abfluss verzögerten, herrschten wesentlich günstigere Naufahrtsverhältnisse. Nichtsdestoweniger erforderte die Ausübung der Schifffahrt auf den niedrigen Salzplätzen wegen ihrer Gefährlichkeit besondere Geschicklichkeit, um die zahlreich vorhandenen Schifffahrtshindernisse und schlechten Furten mit ihren Querströmungen überwinden zu können. Zur Blütezeit der Schiffahrt beherrschte ein reger Frachtverkehr, während der Zeit vom März bis zum September, den Fluß.

Durch die Salzachregulierung wurde aber, infolge der durch Laufverkürzung bewirkten Gefällsvermehrung, die Naufahrt durchwegs verschlechtert. Trotzdem wurden aber auch in dieser Zeit Versuche unternommen, den Fluss ständig mit Dampfbooten zu befahren. Nachdem in der niederösterreichischen Donau bereits im Jahre 1837 ein Raddampfer erschienen war, gelang es noch im Jahre 1857 einem Raddampfer, die Bergstrecke vom Inn bis Salzburg zu überwinden. Die verschiedenen Versuche, einen ständigen Dampferverkehr aufrecht zu erhalten, wurden aber zu Ende des Jahrhunderts wegen der ungünstigen Verhältnisse endgültig aufgegeben. Bis zum Jahre 1920 wurde auf der Salzach

und auf einigen Nebenflüssen die Brennholztrift aufrecht erhalten. Nach der Zerstörung des Halleiner Griesrechens durch das Hochwasser vom Jahre 1920 wurde das neue Zellulosewehr in Hallein errichtet. Die durchgängige Befahrung des Salzach-Unterlaufes ist in Ermangelung einer Floßgasse aber unmöglich geworden.

Seit 1920 wurde die Trift noch im Lammerfluß und in der Großarlerache ausgeübt, musste aber wegen Unwirtschaftlichkeit schließlich wieder aufgegeben werden. Anfang der 50er Jahre wurde noch in einigen Flussstrecken der Taxenbacherenge, mangels anderer Bringungsmöglichkeiten, die Blochholztrift während der Wintermonate betrieben.

Die derzeit an der Salzach zwischen Saalachmündung und Inn ausgeübte Schiffahrt beschränkt sich auf Fahrten der Wasserbauverwaltungen im Rahmen ihrer Dienstaufgaben, einer kommerziellen Schiffahrt zwischen Tittmoning und Burghausen (Fremdenverkehr) und im Rahmen der Brauchtumspflege durch das Schifferschützen-Corps in Oberndorf. Aus einem Schiffbautechnischen Gutachten aus dem Jahre 1996 geht hervor, daß die Plätten des Schifferschützen-Corps eine Länge von 9,90 m, eine Breite von 2,47 m, einen Tiefgang mit Zuladung von 0,23 m bei einem Freibord von 0,45 m aufweisen. Für diesen Plättentyp sind maximal 30 Personen zugelassen.

5.2 Abflußverhältnisse

Langjährige Abflüsse liegen für die Salzach auf der bayerischen Seite von den Pegeln Laufen (seit 1957) und Burghausen (seit 1901) veröffentlicht im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch 1995 [42], vor:

Hauptwerte der Salzachpegel Laufen und Burghausen

Tabelle 6

Pegel	Laufen	Burghausen
Einzugsgebiet	6113 km^2	6649 km^2
Lage bei Fkm	47,5	11,4
Hauptwerte der Beobachtungsreihe	1957/95	1901/95
NQ	39,4 m^3/s	41,5 m^3/s
MNQ	78,1 m^3/s	78,9 m^3/s
MQ	237,0 m^3/s	250,0 m^3/s
MHQ	1370,0 m^3/s	1370,0 m^3/s
HQ vom 13.08.1959	2860,0 m^3/s	3150,0 m^3/s

Die Abflüsse des seit 1961 beobachteten und im Hydrographischen Jahrbuch von Österreich veröffentlichten österreichischen Pegels Oberndorf (Fkm 47,1) werden hier nicht aufgeführt, da die Lage der Meßstelle nahezu identisch mit dem Pegel Laufen ist und die Hauptwerte nur geringfügig wegen der kürzeren Beobachtungsdauer abweichen. Von den Pegeln Ettenau (Fkm 27,04) und Ach (Fkm 11,37) liegen nur Wasserstände vor.

Die Hochwasserverhältnisse für die Salzach und die Saalach sind aus den Tab. 7 und 9 ersichtlich. Die für die Pegel Burghausen und Laufen angegebenen Jährlichkeiten der Hochwasser wurden zwischen dem HZB und dem LfW abgeglichen [43]. Die Werte der österreichischen Salzachpegel und des Saalachpegels Siezenheim wurden vom Hydrographischen Dienst des ASLR aus der Beobachtungsreihe 1951/96 ermittelt [45].

Salzachpegel: Hochwasserabflüsse [m^3/s] vorgegebener Jährlichkeiten

Tabelle 7

Pegel	Fkm	HQ_1	HQ_2	HQ_5	HQ_{10}	HQ_{20}	HQ_{30}	HQ_{50}	HQ_{100}
Burghausen	11,40	1200	1450	1800	2150	2500	2750	3000	3300
Laufen	48,60	1130	1350	1680	2000	2300	2500 [1)]	2800	3100
Salzburg	64,35	820	1035	1320	1550	1760	1900	2000	2300
Hallein	79,66	680	850	1030	1230	entfällt	1500	1600	1800
Golling	93,41	600	720	900	1000	1160	1200	1325	1460

[1)] Abschätzung LfW [44]

An der Saalach existieren zahlreiche Pegel, vgl. 5.3.8, von denen die Hauptwerte der Pegel Unterjettenberg und Staufeneck in Tab. 8 angegeben sind [42], [46]. Für den österreichischen Pegel Siezenheim (Fkm 5,53, Einzugsgebiet 1139 km^2, errichtet 1940, seit 15.12.1958 Schreibpegel) liegen kürzere Beobachtungszeiträume (1951/96) vor; auf eine Darstellung der Hauptwerte in Tab. 8 wurde daher verzichtet.

Hauptwerte der Saalachpegel Unterjettenberg und Staufeneck

Tabelle 8

Pegel	Unterjettenberg	Staufeneck
Einzugsgebiet	940 km^2	1034 km^2
Lage bei Fkm	26,0	15,0
Hauptwerte der Beobachtungsreihe	1901/95	1951/92
NQ	4,5 m^3/s	4,7 m^3/s
MNQ	8,75 m^3/s	10,6 m^3/s
MQ	38,4 m^3/s	42,4 m^3/s
MHQ	354,0 m^3/s	387,0 m^3/s
HQ vom 13.08.1959	671,0 m^3/s	741,0 m^3/s

Zu den Hochwasserabflüssen verschiedener Jährlichkeiten liegen einige Angaben des LfW zu den Pegeln Unterjettenberg und Staufeneck aus den Jahren 1979,1982 und 1997 vor, die sich nur wenig von den verfügbaren Angaben des Pegels Siezenheim unterscheiden. Die Übersicht von Tab. 9 beschränkt sich daher auf den Pegel Siezenheim.

Saalachpegel: Hochwasserabflüsse [m^3/s] vorgegebener Jährlichkeiten

Tabelle 9

Pegel	Fkm	HQ_1	HQ_2	HQ_5	HQ_{10}	HQ_{20}	HQ_{30}	HQ_{50}	HQ_{100}
Siezenheim	5,53	310	425	570	680	790	850	930	1050

Von Bedeutung für eingehendere Untersuchungen sind ferner historische Ereignisse vor Beginn der Pegelbeobachtung. Für den Salzachpegel Burghausen liegen entsprechende Aufzeichnungen vor, die für Hochwasserstatistiken wertvolle Hinweise liefern: "Die Hochwasserverhältnisse sind hier insofern schwierig zu beurteilen, als die empirische Verteilung der Jahresreihe 1827/1989 keine Besonderheiten erkennen läßt, sich aber bei Hinzufügung der fünf historischen Ereignisse aus dem Zeitraum 1570-1827 eine andere Größenordnung auftut." [43]. Die fünf historischen Ereignisse bewegen sich allesamt in einem Bereich seltener als HQ_{100}. Trotz dieser Schwierigkeiten wurde für das HQ_{1000} zwischen HZB und LfW ein Abfluß von ca. 4400 m^3/s abgestimmt [47]. Tab. 10 zeigt die größten 10 Hochwasserscheitelabflüsse und Abb. 26 zeigt die größten Jahresabflüsse (HQ-Werte) des Pegel Burghausen seit Beobachtungsbeginn 1827 bis 1989.

Pegel Burghausen: Die größten 10 Hochwasserscheitelabflüsse [m^3/s] Tabelle 10

Jahr	1598	1570	1787	1786	1736	1899	1920	1959	1840	1954
Abfluß	ca.4600	ca.4400	ca.4000	ca.3800	ca.3500	ca.3350	3150	3020	ca.2700	2580

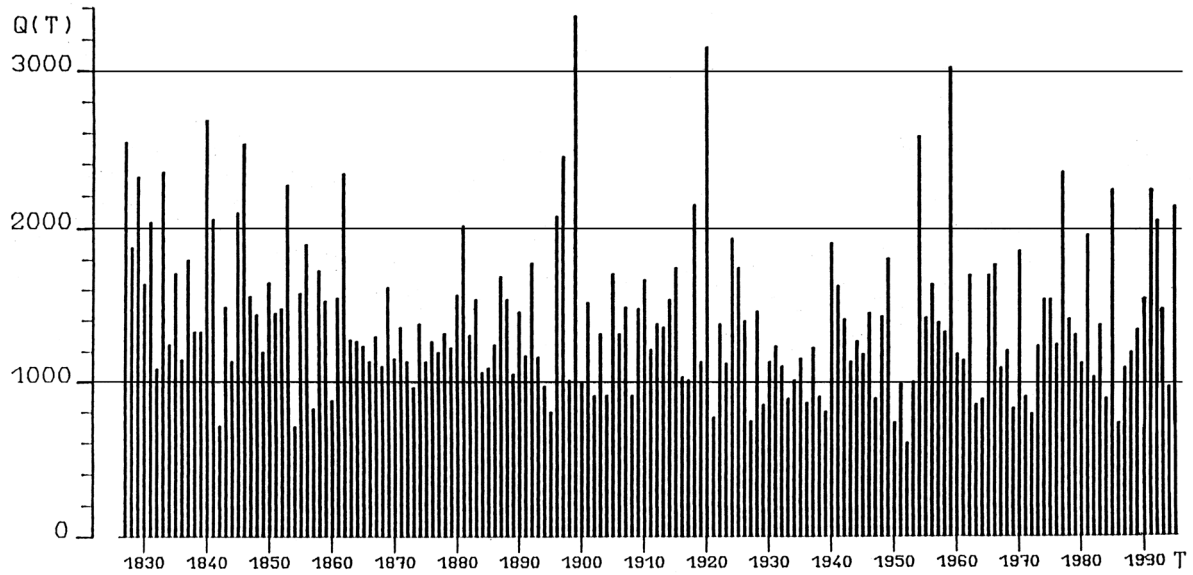


Abbildung 26: HQ-Werte in [m^3/s] Pegel Burghausen, Reihe 1827 bis 1995, nach [43] ergänzt

Für die WRS wurden weitere Auswertungen auf der Basis von Tagesmittelwerten des Pegels Burghausen, Jahresreihe 1901/95 vorgenommen, um Eckdaten für die Beurteilung längerfristiger Abläufe und Trends (Planungszeitraum 100 Jahre) zu erhalten, s. 5.11 (Vorprüfungsverfahren). Der Pegel Burghausen hat gegenüber dem Pegel Laufen den Vorteil einer längeren Beobachtungsdauer (Beobachtungsbeginn 1901 statt 1951) und geringerer Schwankungsbreite der Abflußbeziehung (kaum Sohländerungen im Pegelbereich, kontinuierliche Fließstrecke ohne Krümmungen).

Abb. 27 zeigt die maximalen Tagesmittelwerte eines Jahres. Die Spitzenwerte von bettverändernden

Hochwässern geben Aufschluß über markante zeitliche Einschnitte in sohlmorphologische Entwicklungen, vgl. 5.7. Die Spitzenposition nehmen die Hochwässer von 1920 und 1959 ein, dicht gefolgt von den Jahren 1954 und 1944. Seit Beginn der 60er Jahre ist eine Massierung mittlerer Hochwässer zu beobachten (Größenordnung 1500 bis 2200 m^3/s). Inwieweit natürliche Faktoren oder der Ausbau der mittleren Salzach an dieser Entwicklung beteiligt sind kann nicht im Rahmen dieser Untersuchung geklärt werden.

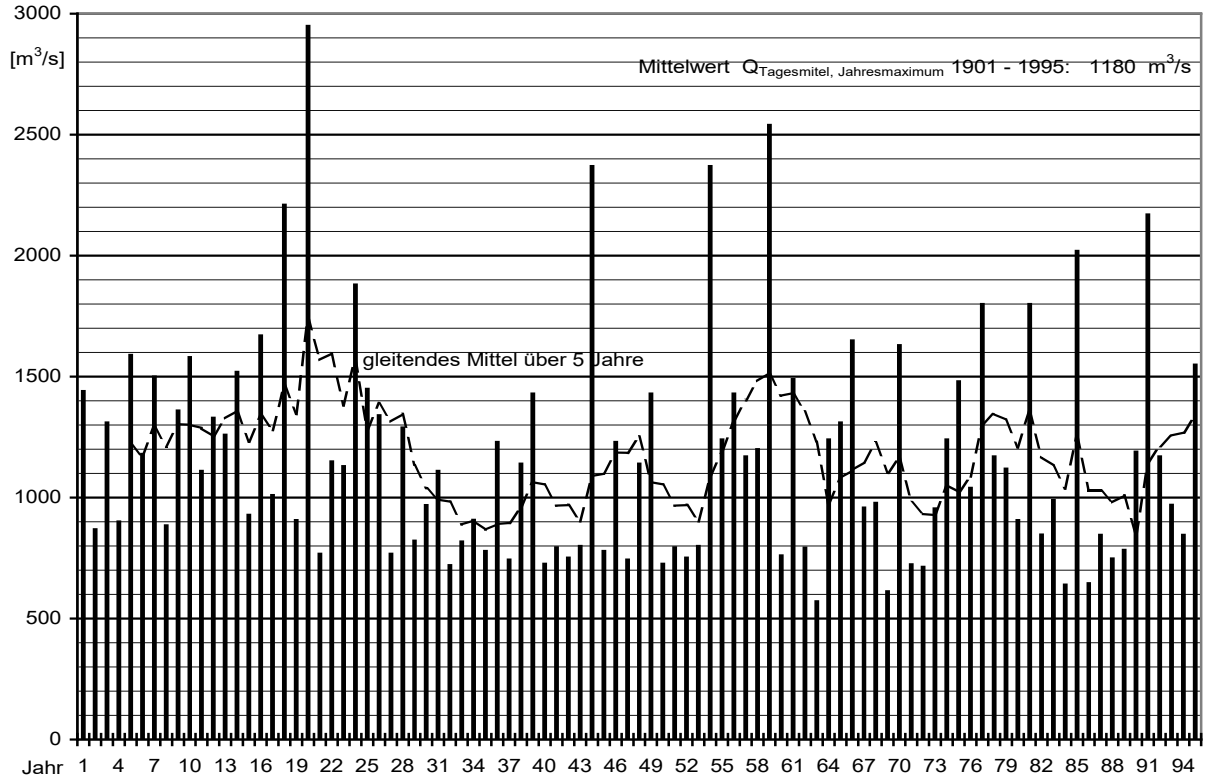


Abbildung 27: Maximaler Tagesmittelwert eines Jahres, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95

Abb. 28 zeigt die Jahresabflußsummen der Salzach. Die Betrachtung der Abflußsumme ermöglicht die Unterscheidung in Trocken- und Naßjahre bzw. längerer Zeitabschnitte. Die abflußreichsten Jahre waren 1910, 1965 und 1970, dicht gefolgt von 1912, 1944 und 1966. In all den Jahren flossen mehr als 10 Milliarden Kubikmeter ab. Jahre mit hohen Spitzen fallen i.d.R. nicht mit abflußreichen Jahren zusammen (z.B. 1959). Seit Beginn der 70er Jahre sind die Abflußsummen deutlich zurückgegangen, während in der zweiten Hälfte der 60er Jahre besonders hohe Abflußsummen erreicht wurden. Von Bedeutung für den untersten Salzachabschnitt ist ferner die Einleitung des Alzkanals bei Fkm 6,5. Bezogen auf die Ausbauleistung der 4. Alzstufe Holzfeld von 70 m3/s führt die Salzach seit 1923 unterhalb Fkm 6,5 jährlich rd. 2200 Millionen m^3 (bzw. 28 %) mehr Abfluß ab als vor der Überleitung. Tatsächlich fällt diese Abflußerhöhung wegen des geringeren Wasserdargebots der Alz und Stillstandszeiten der Kraftwerksanlage aber wesentlich geringer aus.

Abb. 29 zeigt die aufsummierten Tagesmittelwerte eines Jahres mit einem Abfluß > 300 m^3/s. Die Größenordnung von 250 bis 300 m^3/s entspricht überschlägig dem Beginn des Geschiebetransports, vgl. 5.11. Die Darstellung erlaubt Rückschlüsse, in welchen Zeiträumen mit mäßigem oder hohem

Geschiebetransport zu rechnen war. Die Werte sind relativ gleichmäßig verteilt, abgesehen von einer Massierung der transportwirksamen Abflüsse Mitte der 60er bis Mitte der 70er Jahre und einer eher "transportarmen" Abflußperiode seit Beginn der 80er Jahre.

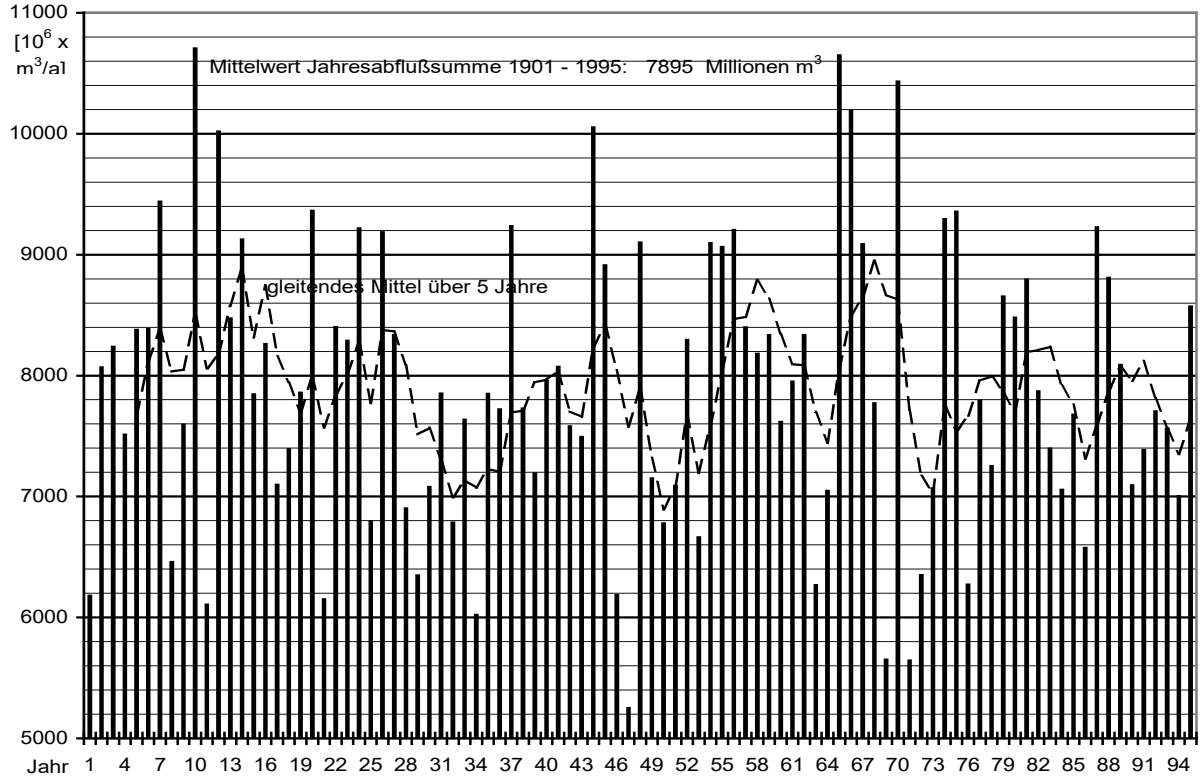


Abbildung 28: Jahresabflußsummen, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95

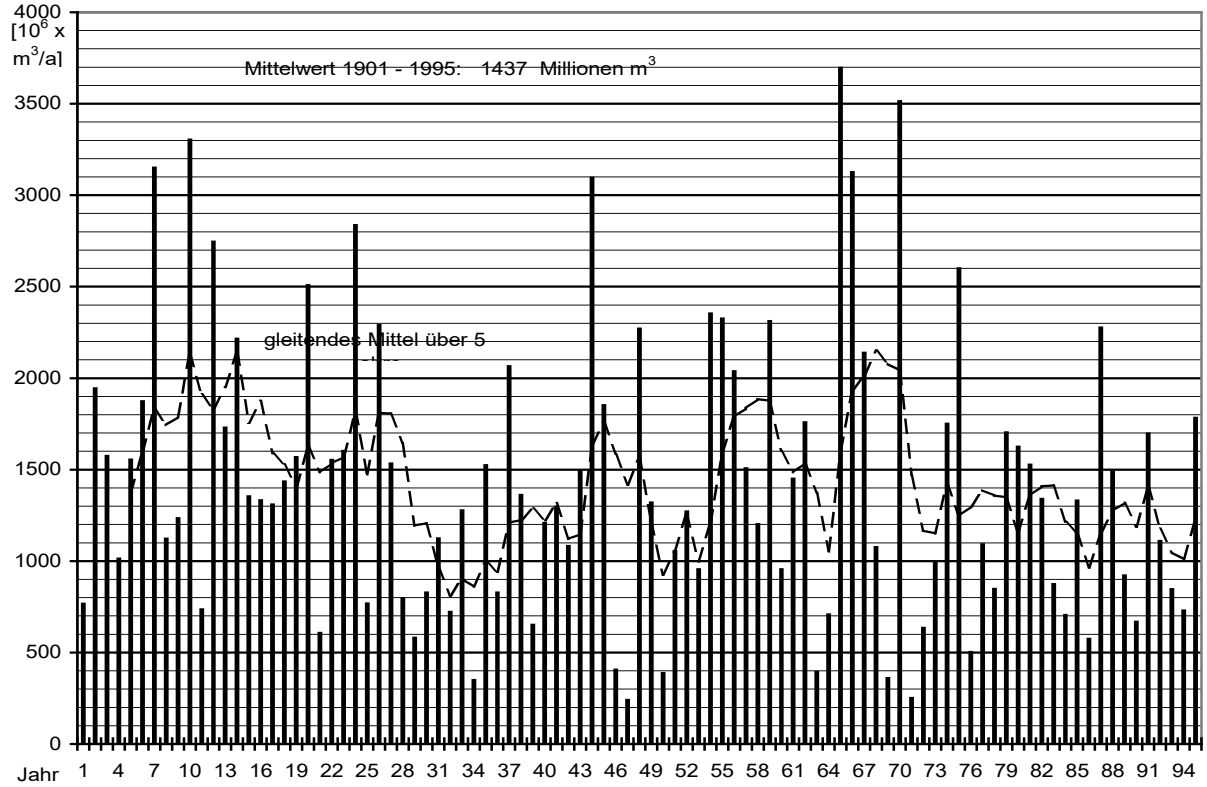
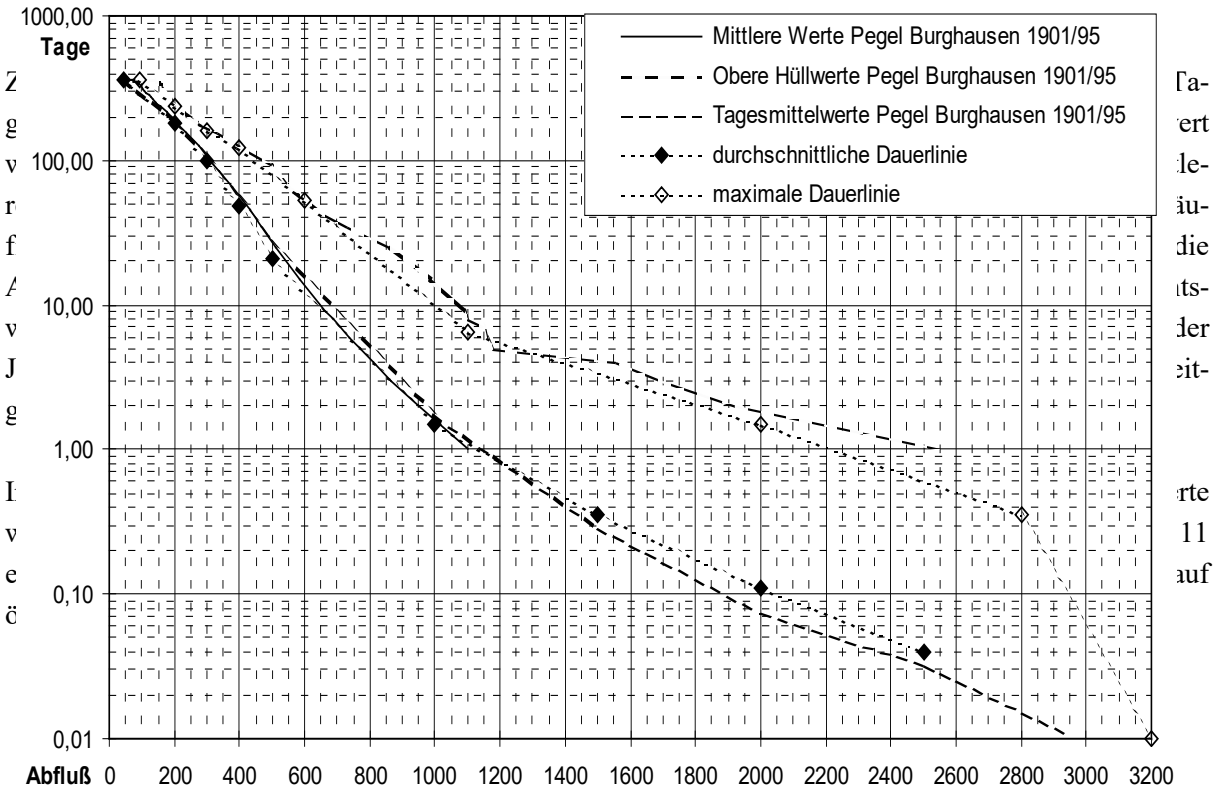


Abbildung 29: Aufsummierte Tagesmittelwerte eines Jahres mit einem Abfluß > 300 m^3/s, Pegel Burghausen, Reihe 1901/95

Für das Vorprüfungsverfahren, vgl. 5.11, wurden Stützstellen von Bemessungsdauerlinien abgeleitet, deren Werte tabellarisch und grafisch in Abb. 30 dargestellt sind (0,01 Tage = 14,4 Minuten).

	Q [m³/s]	45	200	300	400	500	1000	1500	2000	2500
durchschnittliche Dauerlinie	Tage	365,000	178,660	99,430	48,610	20,675	1,500	0,350	0,110	0,040
	Q [m³/s]	95	200	300	400	600	1100	2000	2800	3200
maximale Dauerlinie	Tage	365,000	239,000	161,000	123,000	52,500	6,500	1,500	0,350	0,010

Abbildung 30: Dauerlinien des WRS-Vorprüfungsverfahrens



Hydrologische Kenngrößen der Salzachzubringer in deren Mündungsbereich Tabelle 11

Name	Fkm	[km²]	NQ - MNQ - MQ [m³/s]	HQ_1 - MHQ – HQ_{30} - HQ_{100} [m³/s]
Salzach [1]	95,5	3135,0	entfällt - 26,0 – 119,0	440 - 560 - 800 - 950
Lammer	95,5	395,5	1,42 - 3,0 - 18,0	195 - 245 - 500 - 600
Torrener Bach	94,3	66,3	0,18 - 0,40 - 3,4	20 - 27 - 55 – 70
Almbach	81,0	199,2	1,0 - 2,1 - 8,3	120 - 133 – 290 - 370
Königsee Ache	75,3	429,5	4,0 - 5,3 - 18,3 [2]	120 - 140 - 290 - 350
Fischach	59,9	166,9	0,56 - 1,16 - 4,4	34 - 40 - 85 – 115
Saalach [3]	59,3	1156,7	7,8 - 10,5 - 44,6	310 - 400 - 770 - 950
Sur [4]	52,4	149,7	ca. 0,42 - ca. 0,75 - ca. 3,1	ca. 40 - ca. 45 - entfällt - ca. 158
Oichtenbach	49,0	113,4	0,4 – 0,6 – 1,8	20 - 25 - 50 – 60
Moosache	34,7	124,9	0,04 - 0,24 - 1,1	10 - 13 - 35 – 45
Götzinger Ache (Schinderbach)	27,8 (41,4)	230,2 (32,0)	entfällt - entfällt – ca. 4,8 (MQ ca. 0,50) [5]	ca. 16 - ca. 20 – entfällt - ca. 55 (entfällt)

[1] oberhalb der Lammermündung [2] mit Ausleitung Almkanal [3] mit Werkskanal (Siezenheim)

[4] Werte Pegel Brodhausen im Verhältnis der Einzugsgebiete gesamt/Pegel hochgerechnet

[5] Götzinger Achen, Rodingbach und Schinderbach sind durch das KW Lebenau verbunden (Q_A = 15,9 m³/s, Kanalmündung bei Fkm 41,4), diese Abflußangaben sind Schätzwerte des WWA Traunstein

5.3 Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den Pegeln

In der Untersuchungsstrecke liegen insgesamt folgende Pegel:

Einzugsgebiet: bayerische Salzach Tabelle 12

Pegel	Fkm	Beobachtungszeit	Bemerkungen
Golling	93,410	1895/1996	Jahrbücher ab 1896
Hallein	80,520	1895/1920	Jahrbücher ab 1896
	79,662	1921/1965	
Salzburg	66,275	1821/1940	Jahrbücher ab 1893
	66,250	1940/1952	
	64,350	1951/1996	
Neu-Oberndorf	48,690	seit 1907	
Laufen	47,820	1826/1904	
	48,600	1905/1996	
Ostermiething	31,820	1851/1925	Jahrbücher ab 1896, 1925 aufgelassen
Tittmoning	27,000	1832/1974	1974 aufgelassen
Ettenau	27,040	1896/1994	
Burghausen	11,400	1826/1996	

Ach	11,400	seit 1896	

Um das Maß der Sohlenveränderungen der Salzach an einzelnen Punkten zu verfolgen, eignen sich die Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den einzelnen Pegelstellen, s. Anlage 17. Zur Abrundung der Untersuchung nach oberstrom wurden auch die österreichischen Pegel Golling, Hallein und Salzburg mit einbezogen, deren veröffentlichte hydrologische Daten (Jahrbücher) ab 1893 vorliegen.

Parallel zu den bayerischen Pegeln Laufen, Tittmoning und Burghausen liegen auf der österreichischen Seite die Meßstellen Oberndorf, Ettenau und Ach. Mit Ausnahme des Pegels Ettenau, der ab 1974 die Ganglinie der Jahresmittelwasserstände des aufgelassenen bayerischen Pegels Tittmoning fortführt, wurden diese in Anlage 17 nicht aufgetragen. Die Beobachtungen am Pegel Ostermiething wurden ebenfalls nicht ausgewertet, da dieser Pegel bereits 1925 aufgelassen wurde.

5.3.1 Pegel Golling

Der seit 1895 beobachtete Pegel Golling (Fkm 93,41) zeigt nur geringe Änderungen, und zwar im Zeitraum von 1896 bis 1940 eine Absenkung um rd. 50 cm. Die Flußsohle steigt anschließend bis Anfang der siebziger Jahre sogar um rd. 30 cm an. Auch die Anfang der siebziger Jahre im Raum Kuchl (Fkm 90,0) erfolgte Kiesentnahme für den Bau der Tauernautobahn im Ausmaß einer Jahresgeschiebefracht scheint auf die Sohlenlage keinen langfristigen Einfluß auszuüben.

5.3.2 Pegel Hallein

Anders sieht es bereits am nächsten, rd. 14 km flußabwärts befindlichen Pegel Hallein (Fkm 79,66) aus, der ebenfalls seit 1895 beobachtet wird. Die Flußsohle tieft hier im Zeitraum von 1896 bis 1965 (70 Jahre) rd. 3,20 m ein. Diese starke Eintiefung ist auf die Regulierungsmaßnahmen des vorigen Jahrhunderts, auf den Geschieberückhalt in den Oberläufen der Zubringer und auf das Wehr der Zellulosefabrik oberhalb Hallein zurückzuführen. Zusätzlich wirkt sich auch die Senkung des Mündungsschuttkegels der Saalach nach Errichtung des Saalach-Stausees aus, welcher die Erosionsbasis des Flußabschnittes bis zum Zellulosewehr bildete. Durch den Bau der Stufe Hallein bei Fkm 80,4 im Zuge der Ausführung des Salzachstufenplanes, die 1964/66 zunächst als Grundschwelle ausgeführt und später um 4 m erhöht wurde (Fertigstellung 1972), konnte der fortschreitenden Eintiefung Einhalt geboten werden.

5.3.3 Pegel Salzburg

Am Pegel Salzburg (Fkm 66,275, ab 1951 Fkm 64,35) setzte die fortschreitende Eintiefung offenbar bereits mit Beginn der Korrektion um 1860 ein (Unterlagen erst ab 1893 vorhanden). Die Beobachtungen des Salzburger Pegels wurden durch den Neubau der Staatsbrücke seit 1939 gestört. Weiterhin wurde der Pegel 1951 um 1,94 km flußabwärts verlegt (die alte Pegelstelle besteht seitdem als Lattenpegel), so daß aus den hier vorliegenden Unterlagen die absoluten Eintiefungsmaße nicht exakt ermittelt werden können. Nach PUTZINGER [48] betrug die Eintiefung im Zeitraum von 1848 bis 1895 1,25 m, im Zeitraum von 1896 bis 1944 2,30 m, also im Zeitraum von 1848 bis 1944 insgesamt 3,55 m. Nach FLÖGEL/ NEURURER [37] und KERSCHBAUMER [34] erreichte die Wasserspiegelsenkung am Pegel Staatsbrücke Salzburg im Zeitraum von 1870 bis 1960 sogar 5,20 m. Über das Ausmaß

dieser gefährlichen Erosionsstrecke und die ergriffenen Gegenmaßnahmen Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde in 5.1.1.3 ausführlich berichtet. Seit 1966 liegt der Pegel bis in den MW-Bereich hinein im Rückstau der Sohlstufe Salzburg.

5.3.4 Pegel Laufen

Der seit 1826 beobachtete Pegel Laufen (Fkm 47,5) zeigt in seinem Bereich lebhafte Flußbettumbildungen an. Die Ganglinie der Jahresmittelwasserstände weist zunächst bis 1860 keine wesentlichen Änderungen auf (etwa Gleichgewichtszustand) und steigt bis etwa 1900 fast stetig um 1,50 m an. Die Geschiebeablagerungen sind Folge der oberhalb durchgeführten Korrektion, sie wurden durch die stauende Wirkung der Flußenge unterhalb Laufen noch begünstigt. Auch die Einengung des Normalprofils von 151,70 m auf 113,80 m ab 1873 und ausgiebige Flußbaggerungen oberhalb Laufen zwischen 1896 und 1901 brachten keine Besserung. Eine Tendenz zur Eintiefung trat erst aufgrund umfangreicher, gemeinsam mit Österreich durchgeführter Flußbaggerungen unterhalb von Laufen zwischen 1903 und 1909 ein.

Aufgrund laufender Baggerungen für Dammschüttungen hielt die Eintiefungstendenz stetig bis etwa 1940 an, stagnierte bis Ende der fünfziger Jahre und setzt sich seit dieser Zeit mit rd. 4 cm/a fort. Die Eintiefungstendenz seit Ende der fünfziger Jahre ist wohl hauptsächlich auf die vorübergehende geschieberückhaltende Wirkung der oberstrom in der Eintiefungsstrecke ausgeführten sohlstützenden Maßnahmen (Sohlstufen Hallein und Salzburg, Kraftwerk Urstein mit einem Stauraum von rd. 2.500.000 m^3 Inhalt) sowie auf die in dieser Strecke bis vor kurzem durchgeführten Kiesentnahmen zurückzuführen. Seit Mitte der achtziger Jahre ist ein Rückgang der Eintiefung zu erkennen, der z.T. auf die abflußärmere Periode und z.T. auf die seit 1985 betriebene Geschiebezugabe an der Saalach zurückzuführen ist.

5.3.5 Pegel Tittmoning

Beim nächsten, seit 1833 beobachteten Pegel Tittmoning (Fkm 27,0) zeigt die Ganglinie der Jahresmittelwasserstände seit 1838 bis etwa 1920 einen ziemlich stetigen Anstieg. Dieser Anstieg ist auf die Geschiebeablagerungen infolge der oberstromigen Korrektionsarbeiten, begünstigt durch die stauende Wirkung der Flußenge bei Nonnreit, zurückzuführen.

Die starke Aufhöhung der Flußsohle von 1833 bis 1869 ist eine Folge der beiden oberstromigen Korrektionen zwischen Saalachmündung und Laufen sowie zwischen Geisenfelden und Tittmoning. Das Feststofftransportvermögen wurde zwar in den Korrektionsstrecken erhöht, unterhalb in den zunächst unbeeinflußten und flacheren Bereichen blieb das Geschiebe jedoch wieder liegen. Zwischen 1870 und 1885 trat dann eine vorübergehende Beharrung ein, der von 1885 bis 1905 eine abermalige Aufhöhung um rd. 50 cm folgte, bedingt durch die Leitwerkseinengung von 151,70 m auf 113,80 m in den oberstromigen Korrektionsstrecken (Erhöhung des Transportvermögens). Größere Geschiebemengen wurden der Salzach durch Flußbaggerungen wieder entzogen, s. Abb. 13, welche das Schüttmaterial für die Deiche zwischen Untergeisenfelden und Kirchheim (Fkm 39,23 - 28,1; 1912/18), bei Ettenau (Fkm 29,88 - 23,6; 1904/13) und Hainach-Tittmoning (1911/12 und 1926/27) bildeten. Durch die Einspannung des Hochwassers zwischen die Deiche wurde eine Erhöhung der Schubspannung und damit des Transportvermögens im Bereich des Tittmoninger Pegels bewirkt und der weiteren Sohlerhöhung Einhalt geboten. Ein geringfügiger Anstieg trat nochmals zwischen 1930 und 1950 ein, um fortan leicht

abzusinken. Der Anstieg ist nicht ohne weiteres erklärbar, die Senkung ist wohl eindeutig Ausdruck des allgemeinen Geschiebedefizits, so daß die Salzach zunehmend auf den Geschiebespeicher der Flußsohle im Tittmoninger Becken zurückgreift, da flußbetteigene Reserven im Freilassinger Becken zusehends zur Neige gehen, s. a. 5.7.

5.3.6 Pegel Ettenau

Nachdem die Beobachtung am Pegel Tittmoning 1974 eingestellt wurden, wurde versucht, die Ganglinie der Jahresmittelwasserstände durch Verwendung der im Hydrographischen Jahrbuch von Österreich veröffentlichten Daten des Pegels Ettenau (Fkm 27,04) zu ergänzen und fortzusetzen. Dabei fällt auf, daß die am Laufener Pegel deutlich erkennbare Sohleintiefung am Pegel Ettenau zeitlich versetzt und in geringerem Maß etwa Mitte der sechziger Jahre einsetzte und seitdem anhält.

5.3.7 Pegel Burghausen

Der unterste Salzachpegel in Burghausen (Fkm 11,4) wird seit 1826 beobachtet. Die Flußsohle lag hier bis 1860 fast im Beharrungszustand und weist anschließend leicht fallende Tendenz auf. Die leichte Eintiefung entspricht in etwa der Auflandung im Bereich von Tittmoning und ist auf den dortigen Geschieberückhalt zurückzuführen. Die Sohlerhöhung ab etwa 1890, die bis nach 1910 andauert, geht vor allem auf das Konto oberhalb durchgeführter Korrektionen, und zwar der Teilkorrektionen bei Unterhadermark (von 1898 bis 1907) und bei Raitenhaslach (1903/09), die nach 1909 untereinander und mit den Korrektionen in den angrenzenden Flußabschnitten zusammengeschlossen wurden.

Die abflußreiche Periode zwischen 1910 und 1920 führte wieder zu einem Abbau der Auflandungen. Die seit 1914 beobachtete Eintiefung der Salzach zwischen km 8 und 2 wurde seit 1923 durch die Alzüberleitung bei Fkm 6,5 (77 m^3/s, geschiebefrei) noch begünstigt; sie wirkte sich bis oberhalb Burghausen (Fkm 12,0) aus. Eine Beharrung trat erst wieder Anfang der 50er Jahre ein, sie ist auf den Rückstau der Innstufe Simbach- Braunau (Einstau November 1953) zurückzuführen.

5.3.8 Saalachpegel

Von den bayerischen und österreichischen Saalachpegeln sind folgende Meßstellen für die Untersuchung brauchbar:

5.3.8.1 Pegel Unterjettenberg (Fkm 25,96)

Diese seit 1911 beobachtete Meßstelle befindet sich oberhalb der Talsperre Kibling, die ab 1913 einen morphologischen Fixpunkt im Längsschnitt der Saalach darstellt. Die Ganglinie weist bis etwa 1940 nur geringe Änderungen auf, anschließend bis etwa 1950 leicht steigende Tendenz, die mit der Verlandung der Stauwurzel zusammenhängen. Durch Maßnahmen am Gerinne (Bau von Leitdämmen, ständige Kiesentnahme an der Stauwurzel) kam diese Entwicklung wieder zum Stillstand.

5.3.8.2 Pegel Staufeneck (Fkm 14,97)

Seit Beobachtungsbeginn im Jahre 1827 zeigt der Pegel Staufeneck leicht fallende Tendenz bis etwa

1910. Seit 1910 beträgt das Gesamtmaß der Eintiefung rund 1,5 m. Der plötzliche Geschiebeentzug durch die 1911/13 erbaute Talsperre Kibling macht sich durch einen plötzlichen Knick in der Ganglinie bemerkbar. Während sich die Zehnjahresmittel in den vorhergehenden 40 Jahren nahezu konstant hielten, sinkt die Ganglinie und damit die Flußsohle in den folgenden Jahrzehnten um folgende Beträge ab:

Eintiefungen am Pegel Staufeneck im Zehnjahresmittel

Tabelle 13

Zeitraum	1910/20	1920/30	1930/40	1940/50	1950/60	1960/70	1970/80	1980/90	**Summe**
Eintiefung	42 cm	45 cm	7 cm	9 cm	12 cm	12 cm	11 cm	10 cm	**148 cm**

5.3.8.3 Pegel Siezenheim (Fkm 5,53)

Aus der kurzen Meßreihe 1941/76, deren einzelne Jahreswerte dem Hydrographischen Jahrbuch der Republik Österreich entnommen wurden, ist wie am Pegel Staufeneck die fallende Tendenz in diesem Zeitraum erkennbar.

5.3.8.4 Pegel Saalbrücke (Fkm 2,80)

Die Beobachtungswerte des Pegels Saalbrücke liegen von 1898 bis 1939, also bis zum Baubeginn des Kraftwerks Rott-Freilassing ebenfalls aus dem österreichischen Jahrbuch vor. Der starke Abfall der Ganglinie seit Beobachtungsbeginn 1898 ist sehr deutlich ausgeprägt. Seit 1913 wird die wieder leicht abklingende Eintiefungskurve durch den Geschieberückhalteeffekt der Talsperre Kibling überlagert. Diese erneut initiierte Tiefenerosion, hervorgerufen durch den Eingriff in den Geschiebehaushalt, ist durch die Einzeichnung der gestrichelten Trendlinie in Anlage 17 hervorgehoben.

5.3.8.5 Pegel Freilassing (Fkm 2,920; Fkm 2,135)

Der von 1826 bis 1945 beobachtete Pegel Freilassing weist seit 1830, also seit Beginn der Saalachkorrektion, bis Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts als Folge der Gerinneveränderungen (starke Streckung mit Gefälleerhöhung, Verengung) fallende Tendenz auf. Um 1890 tritt in der Ganglinie ein plötzlicher Knick auf mit starker Zunahme der Eintiefung bis 1913. Dieser Effekt ist vermutlich auf die Maßnahmen zum Schutz der Eisenbahnbrücke bei Fkm 2,96 (Steinvorschüttung mit der Folge einer Verringerung des Durchflußquerschnitts, Bau einer Stützschwelle 1907 ohne ausreichende Kolksicherung) zurückzuführen.

Im Jahre 1913 knickt die Ganglinie wiederum nach unten ab. Die plötzliche Zunahme der Tiefenerosion ist eine Folge der durch den Bau der Talsperre Kibling verursachten Geschieberückhaltung. Die Zerstörung der Stützschwelle der Eisenbahnbrücke durch das Hochwasser 1940 brachte nochmals ein plötzliches Absinken der Ganglinie. Mit dem Bau des Kraftwerkes Rott-Freilassing bei Fkm 2,5 das den Pegel einstaute, wurde die Beobachtung eingestellt. Die örtliche Eingrabung der Flußsohle wird auch zahlenmäßig durch Vergleich der Zehnjahresmittel deutlich.

Eintiefungen am Pegel Freilassing im Zehnjahresmittel

Tabelle 14

Zeitraum	1890/00	1900/10	1910/20	1920/30	1930/40	**Summe**
Eintiefung bei Fkm 2,80	entfällt	entfällt	73 cm	109 cm	38 cm	**220 cm**
Eintiefung bei Fkm 2,92	66 cm	75 cm	79 cm	101 cm	47 cm	**368 cm**

1954 wurde als Ersatz für den durch den Bau des Kraftwerks Rott-Freilassing eingestauten Pegel bei Fkm 2,92 ein neuer Pegel erstellt. Die aus der Beobachtungsreihe 1954/96 ermittelte Ganglinie weist seit Beginn fallende Tendenz auf. Aus der kurzen Reihe errechnet sich im Vergleich aller Zehnjahresmittel eine mittlere Eintiefung von 4,7 cm/a, also exakt der gleiche Wert wie für das letzte Zehnjahresmittel bei Fkm 2,92 vor Baubeginn des KW Rott/Freilassing. Diese mittlere Eintiefung steht einerseits in guter Übereinstimmung mit der Erosionsgeschwindigkeit, welche aus der Massenbilanzierung ermittelt wurde (vgl. 5.10) und kann andererseits als Indiz für die vollständige Trift der Saalach-Restgeschiebefracht durch den Stauraum des KW Rott-Freilassing gewertet werden.

5.4 Niedrigwasserspiegelfestlegungen

Ein noch deutlicheres Bild der Sohlenveränderungen, insbesondere deren Entwicklung im Längsschnitt, vermitteln die NW-Spiegelfestlegungen der Salzach seit 1929. Die NW-Spiegelfestlegungen älteren Datums wurden in dieser Untersuchung zunächst nicht ausgewertet, da diese nicht bei vergleichbaren Abflüssen, im vorliegenden Fall zwischen 90 und 100 m^3/s, erfolgten bzw. weil der Wasserspiegel nur alle Kilometer gemessen wurde. Eine Auswahl enthält Anlage 18.1.

In Anlage 18.2 sind NW-Spiegelfestlegungen der Saalach unterhalb Fkm 9,0 seit 1899 eingetragen. Die dargestellten Abflüsse bewegen sich zwischen 8 und 12 m^3/s. Das Absinken der vergleichbaren Niedrigwasserstände spiegelt in beiden Anlagen deutlich die gestörte Geschiebebewegung wider.

Um die Entwicklung der Salzach seit Beginn der Korrektion abschätzen zu können wurde ergänzend ver-sucht, der ältesten vorhandenen NW-Spiegelfestlegung (1855 während der ersten Korrektionsphase mit 70 m^3/s) vergleichbare Spiegelfestlegungen zuzuordnen [49]. Diese NW-Spiegelfestlegung wurde Anfang der 20er Jahre grafisch erfaßt und im Zuge der WRS digitalisiert und ausgewertet. Bei der Auswertung wurde davon ausgegangen, daß Anfang der 20er Jahre eine zutreffende Umrechnung in das damals neue Höhensystem vorgenommen wurde. Die Differenz zum heute nochmals geänderten Höhensystem liegt mit ca. 4 cm im Toleranzbereich der Aufnahmegenauigkeit. Auf die großen Unsicherheiten älterer Profilaufnahmen, die analog für ältere Wasserspiegelspiegelfestlegungen gelten, wird in 5.5 eingegangen. Der Auswertungsversuch liefert immerhin genügend genaue Aussagen um langfristige Entwicklungstrends der Salzach aufzuzeigen:

- zeitliche Entwicklung der Niedrigwasserspiegel in den einzelnen Abschnitten,
- Aspekte für die Prüfung der sohlmorphologischen Entwicklung.

Für den Salzachabfluß 70 m^3/s existieren allerdings nur zwei vergleichbare NW-Spiegelfestlegungen

(bei zwei Abflußwerten in der Klammer ist der Pegel Laufen an erster Stelle und der Pegel Burghausen an zweiter Stelle angegeben): NW 07.12.1921 (73,1 m³/s) und NW 29.01.1935 (74,6/73,3 m³/s). Es mußte ein Weg gefunden werden, andere NW-Spiegelfestlegungen mit zumeist höheren Abflüssen auf 70 m³/s umzurechnen. Die hydraulische Nachrechnung von NW-Spiegelfestlegungen mit etwa zeitgleichen Profilaufnahmen erbrachte unbefriedigende Ergebnisse (Streuung von Messung und Rechnung z.T. im Meterbereich). Aus der Erfahrung mit Nachrechnungen von NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1985 bis 1994 wurden daher folgende NW-Spiegelfestlegungen pauschal (d.h. über die gesamte Strecke konstant) angehoben oder abgesenkt :

- NW 04.01.1905 (74,0/91,7 m³/s), Reduzierung der Wasserspiegellagen um 15 cm.
- NW 15.10.1947 (ca. 53 m³/s), Anhebung der Wasserspiegellagen um 15 cm.
- NW 17.01.1961 (99 m³/s), Reduzierung der Wasserspiegellagen um 20 cm.

In Tab. 15 sind die Zeitintervalle aufgelistet die zwischen den NW-Spiegelfestlegungen liegen, welche in den Abb. 31 bis 33 dargestellt sind:

Zeitintervalle der dargestellten NW-Spiegelfestlegungen (Q ca. 70 m³/s) **Tabelle 15**

Spiegelfestlegung	1855	1905	1921	1935	1947	1961	1978	1996
Zeitraum in Jahren [a]	50	16	14	12	14	17	18	

Bei der Rekonstruktion zeigt sich, daß die NW-Spiegellagen seit Korrektionsbeginn in einigen Abschnitten sich kaum verändert haben (z.B. Abb. 31: Fkm 49 und Abb. 32, Fkm 32-23). Eine Deutung solcher Bereiche als "sohlmorphologisch stabil" ist jedoch nicht zulässig (vgl. 5.7).

Bei der Interpretation der Niedrigwasserspiegelfestlegungen von 1855 muß aber berücksichtigt werden, daß die Salzach sich seinerzeit über weite Strecken noch über die gesamte Talbreite verlagern konnte und nur in Abschnitten im Abflußbett der 1. Korrektionsstufe (Normalbreite bei Mittelwasser 151,73 m) verlief. Anhand der Lagepläne von 1855 kann z.B. gezeigt werden, daß im noch nicht korrigierten Bereich des Freilassinger Beckens die Salzach von ihrem "Schuttkegel" in die tiefer gelegenen Randbereiche der österreichischen Schotterfluren ausbrach.

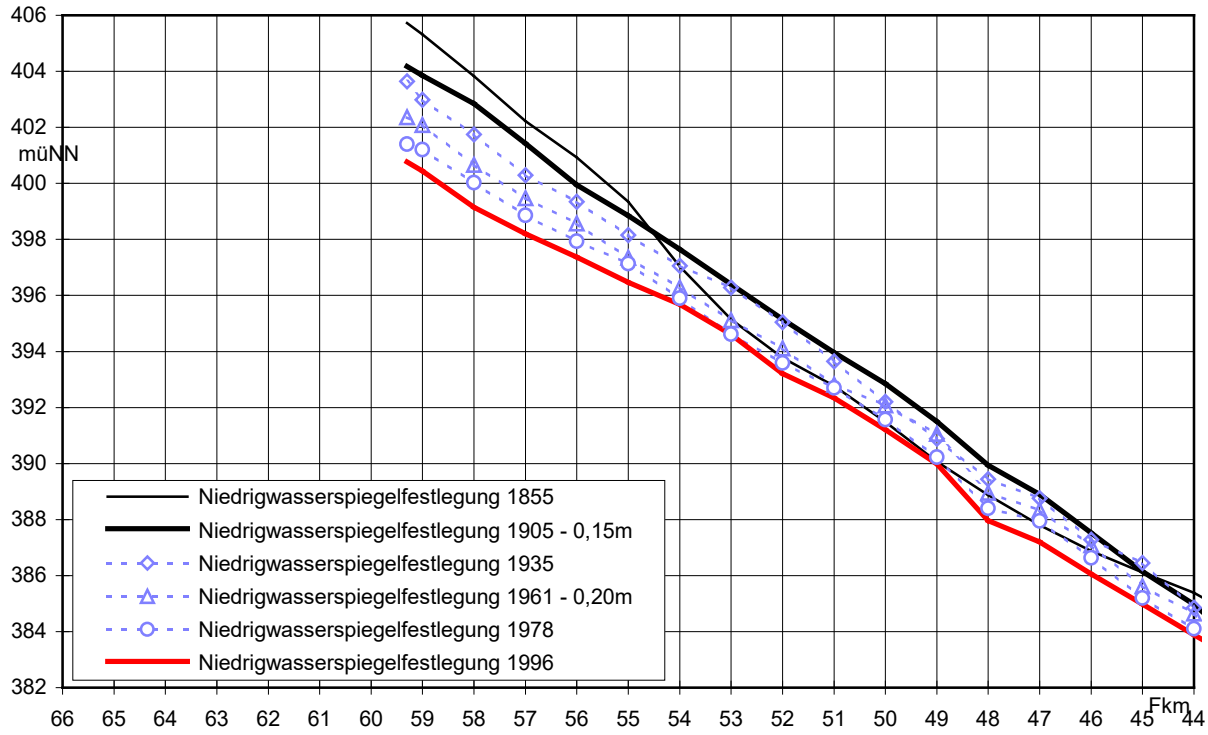


Abbildung 31: NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 66 bis 44

Die Korrektionsbauten endeten z.B. im Freilassinger Becken 1855 rechts ca. bei Fkm 56,0, links ca. bei Fkm 54,8. Flußabwärts bewirkte die plötzliche Überbreite eine rasche Ablagerung des überschüssigen Geschiebes und eine Erhöhung des Gefälles, ein Effekt der in Modellversuchen zur lokalen Gerinneaufweitung gut dokumentiert ist. Von Laufen stromauf waren die Korrektionsbauten 1855 bis zur heutigen Surmündung (Fkm 52,4) gediehen. Die Salzach hätte nun ihren Schuttkegel zur Laufener Enge hin wieder "erklimmen" müssen, tatsächlich verflachte das Sohlgefälle der Salzach jedoch erst ab Beginn der Laufener Enge. Die Ursache hierfür liegt im Einspanneffekt der Korrektionsbauten: infolge Breitenreduktion gegenüber der unverbauten Strecke resultiert eine höhere Schubspannung, die einerseits eine höhere Transportkapazität mit Entnahme von Geschiebe aus der Salzachsohle bewirkt, wodurch sich andererseits durch Gefällereduktion die ungesättigte Transportkapazität wieder reduziert. Anders ausgedrückt: Im verzweigten Bereich hatte die Salzach eine geringere Transportkapazität als im eingespannten Korrektionsquerschnitt. Das Geschiebedefizit (ungesättigte Kapazitätsdifferenz) wurde teilweise durch Geschiebeaufnahme aus der Sohle kompensiert und dadurch zugleich das Gefälle reduziert.

Im Bereich der Laufener Enge, konnte die Salzachbreite nur wenig durch die Korrektion beeinflußt werden (natürliche Engstelle). Schubspannung und Transportkapazität änderten sich somit wenig, solange das obere Tittmoninger Becken noch weitgehend unkorrigiert war: Infolge der neuerlichen Aufweitung (Reduktion von Schubspannung und Transportkapazität) wurde die Laufener Enge gewissermaßen "rückgestaut". Erst in späteren Jahrzehnten, als die Korrektionsbauten Wirkung zeigten, machte sich zunehmend eine rückschreitende Erosion zur Laufener Enge hin bemerkbar. Ein deutlicher Hinweis dafür sind die allmählich sich angleichenden Gefälleverhältnisse in Beckenlandschaften und Durchbruchstrecken (NW 1855 bis NW 1935) sowie Hinweise im Bericht des Straßen- und Flußbauamtes Traunstein von 1924 [50], daß ab 1860 durch die Korrektion im Freilassinger Becken wohl mehr

Geschiebe freigesetzt wurde, als durch die Laufener Enge hindurchtransportiert werden konnte. Die Mulde des Laufener Durchbruchs füllte sich zusehends auf.

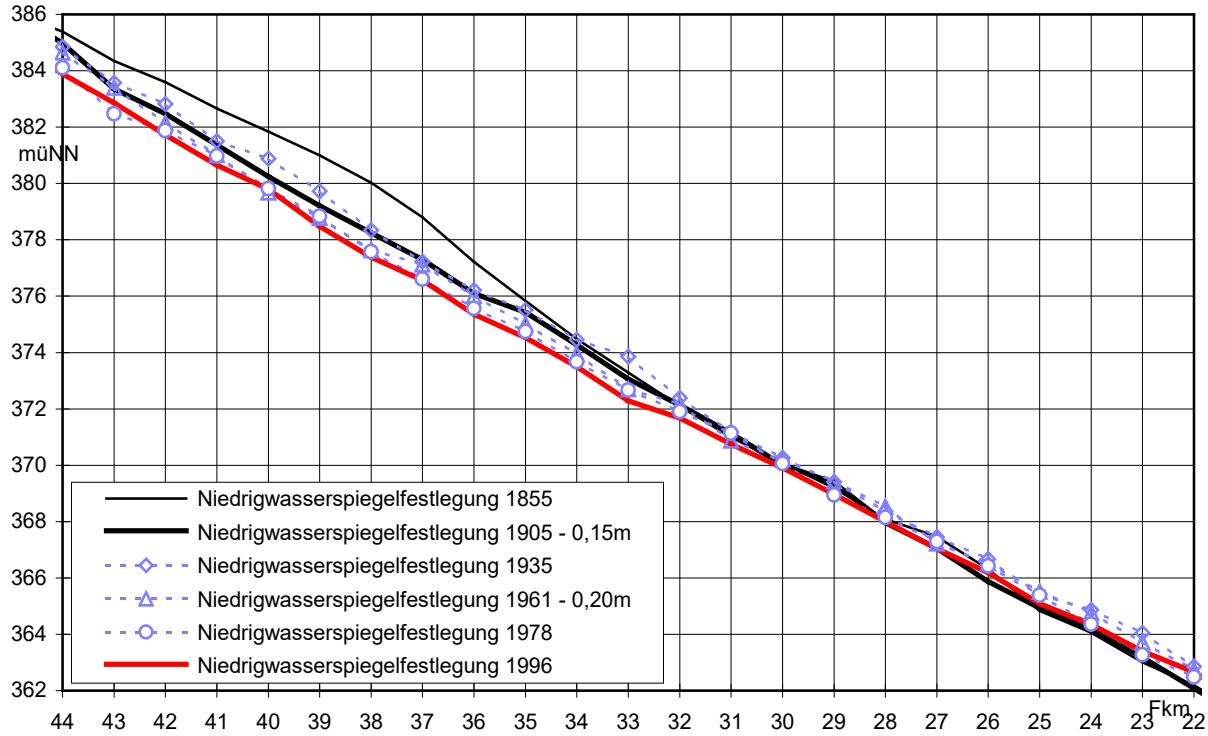


Abbildung 32: NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 44 bis 22

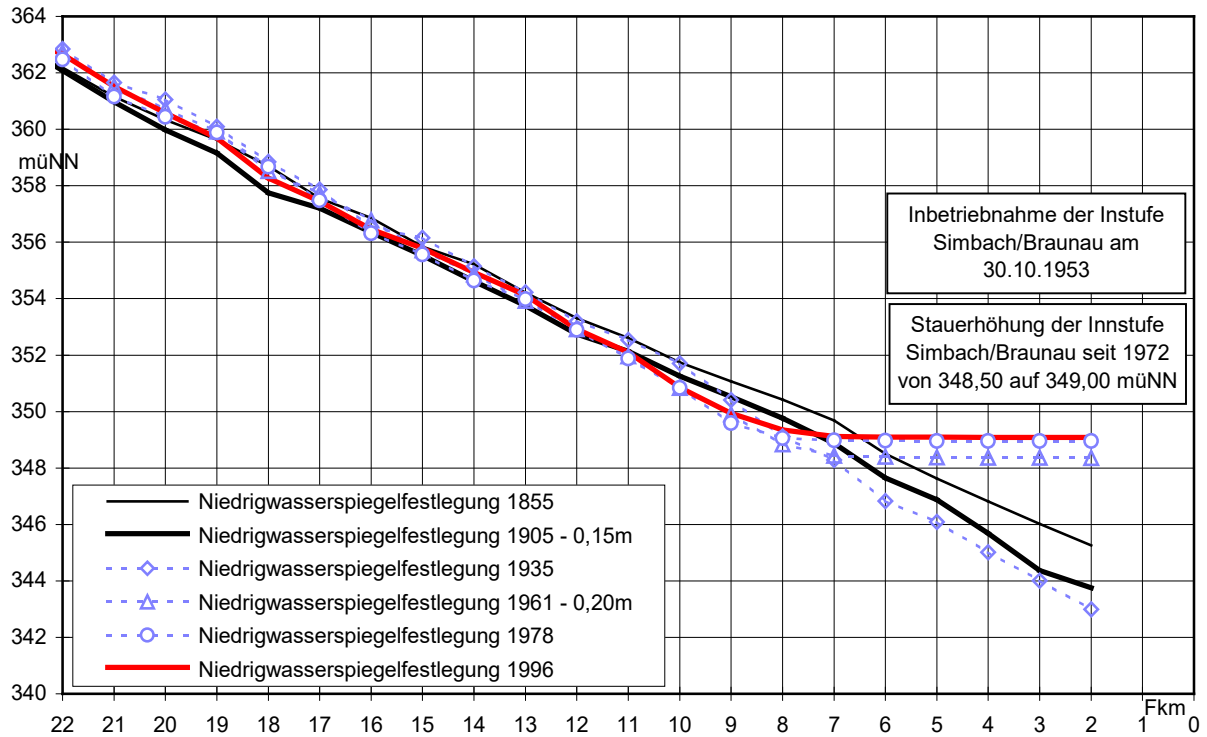


Abbildung 33: NW-Spiegelfestlegungen im Zeitraum 1855/1996, Fkm 22 bis 0

Um Auswirkungen der Korrektion im heutigen regulierten Flußlauf hinsichtlich Eintiefung und Sohl-

stabilität beurteilen zu können, dürfen zu Vergleichszwecken aber erst Niedrigwasserspiegelfestlegungen ab der Jahrhundertwende herangezogen werden, da:

- die Normalbreite bei MW von 113,80 m erst um die Jahrhundertwende weitgehend fertiggestellt war,
- eine gewisse Relaxationszeit (Anpassungsprozeß) der Salzach auf die veränderten flußbaulichen Gegebenheiten von zwei bis drei Jahrzehnten unterstellt werden muß (vgl. 5.7) und
- die Salzach somit erst allmählich, vermutlich erst in den späten 20er Jahren, ein ausgeprägtes Erosionsregime erreichte (mit Flußpeilungen im Stromstrich und Sohländerungen vor und nach dem Hochwasser von 1920 lassen sich zumindest für das Freilassinger Becken noch lebhafte Umlagerungsprozesse belegen).
- Die mit einem Erosionsregime verbundene Kornvergröberung und Erhöhung der Sohlrauheit läßt den Wasserspiegelverfall weniger stark in Erscheinung treten, als dies bei einem direkten Profilvergleich zu erkennen wäre. Exemplarisch hat SÖHNGEN (1995) dieses Phänomen anhand von Meßdaten im Zeitraum 1986/94 der Donaupegel Pfelling und Hofkirchen beschrieben [51, Zitat aus 52]: "Im übrigen ergab sich am Pegel Pfelling eine zwar geringe, aber signifikante Abnahme der Strickler-Werte in den vergangenen 9 Jahren, die offenbar auf eine Vergröberung des Sohlenkorns zurückzuführen ist, wie die Sohlprobenentnahmen ergaben. Eine signifikante Änderung der Wasserspiegellagen für vergleichbare Abflußsituationen wurde aber bisher nicht beobachtet, da die Querschnittsänderung durch Erosion offenbar den Rauheitseinfluß kompensierte."
- Diese Auswirkungen wurden in der Folge noch verstärkt durch den vorübergehenden Geschieberückhalt bei den Querwerken in der österreichischen Oberliegerstrecke, sowie an der Saalach durch die Talsperre Kibling seit deren Errichtung 1913. Salzach und Saalach versuchen ihr Transportvermögen in der Strecke unterhalb der Querbauten durch Kiesaufnahme aus der Flußsohle zu sättigen, wodurch sich großräumige Eintiefungsvorgänge ergaben.

Tab. 16 enthält abschließend eine Übersicht der Eintiefungsvorgänge, die auf dem Vergleich der NW-Spiegelfestlegungen vom 04.01.1905 und 12.02.1996 (91 Jahre) basieren, vgl. Abb. 31 bis 33:

NW-Spiegelfestlegungen: Sohländerungen im Zeitraum 1905/96 (Q ca. 70 m^3/s) **Tabelle 16**

von Fkm - bis Fkm	Bewertung
59,3 - 53,0	von 3,5 m auf 2 m Eintiefung abnehmend
53,0 - 47,0	1,5 m bis 2,0 m Eintiefung
47,0 - 43,0	von 2,0 auf 0,5 m Eintiefung abnehmend
43,0 - 31,0	0,5 - 1,0 m Eintiefung
31,0 - 27,0	Beharrung
27,0 - 17,0	bis 0,5 m Anlandung
17,0 - 11,0	Beharrung
11,0 - 7,4	Eintiefung bis 0,5 m
ab 7,4	Rückstaubereich KW Simbach-Braunau, keine Bewertung

5.5 Querschnittsaufnahmen

5.5.1 Allgemeines

Querschnittsaufnahmen des Flußbettes geben unmittelbar Aufschluß über die Höhenlage der mittleren

Sohle (mS) und des Talweges. Der Vergleich von Aufnahmen, die zu verschiedenen Zeitpunkten gemacht wurden, zeigt die inzwischen eingetretenen Veränderungen an.

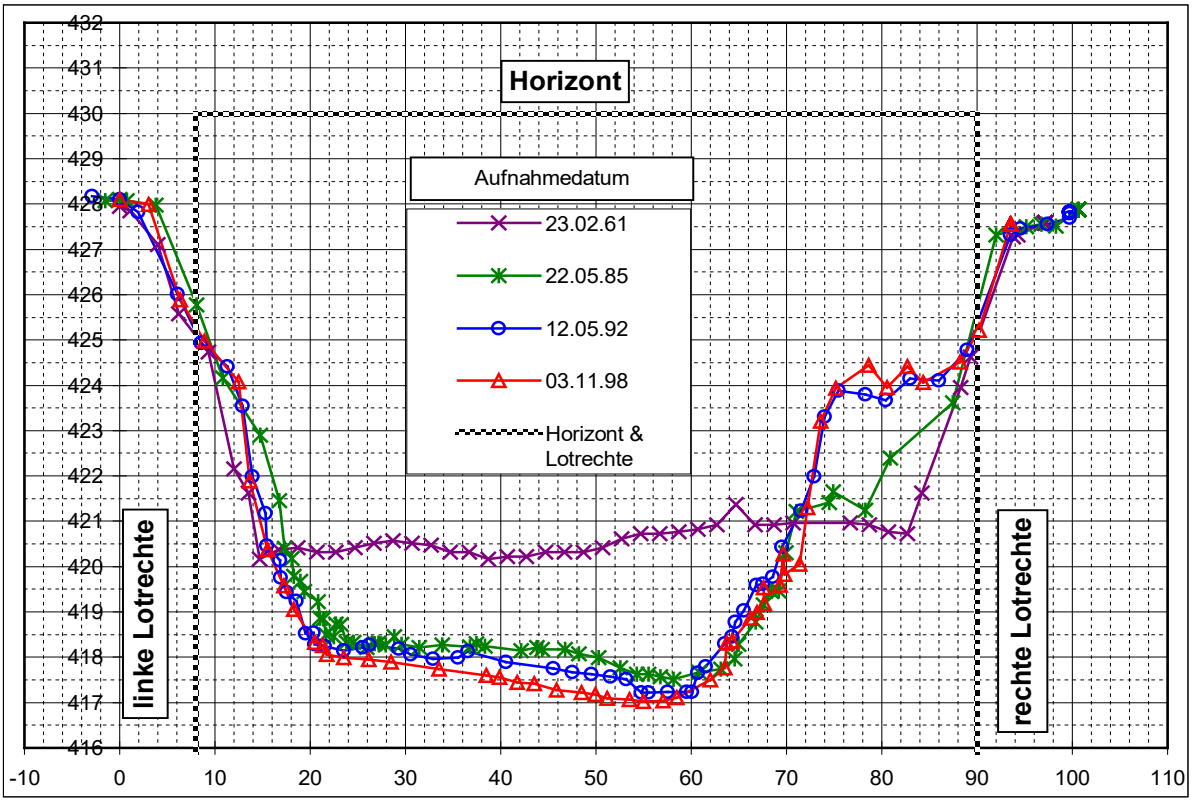


Abbildung 34: Beispiel einer Querschnittsaufnahme (Salzach Fkm 73,0)

Mit Hilfe des für jeden Aufnahmequerschnitt fest vorgegebenen Bezugssystems, bestehend aus Begrenzungslotrechten und Bezugshorizont, läßt sich der Flächenwert ermitteln. Wird der Flächenwert durch den Abstand der Begrenzungslotrechten geteilt, so erhält man eine mittlere Sohle. Die Interpretation der über die Querschnittsauswertung gewonnenen Flächenwerte wird erschwert durch

- künstliche, lokale Geschiebeentnahmen, die sich insbesondere über größere Flußstrecken erstrecken.
- Änderungen im Bereich der Böschungen und schmalen Vorländer, sofern diese Bereiche innerhalb der Begrenzungslotrechten liegen. Die Änderungen können flußbauliche Ursachen (z.B. Nachversteinung der Böschungen, Einbau von Buhnen und Leitwerken) und natürliche Ursachen (Böschungsrutschung, Rehnenbildung (böschungsnaher bzw. uferbegleitender Wall aus Feinteilen, der natürlich entstanden ist), Anlandungen etc.) haben. U.U. kann eine Sohlerosion durch Böschungsanlandungen weitgehend kompensiert werden.

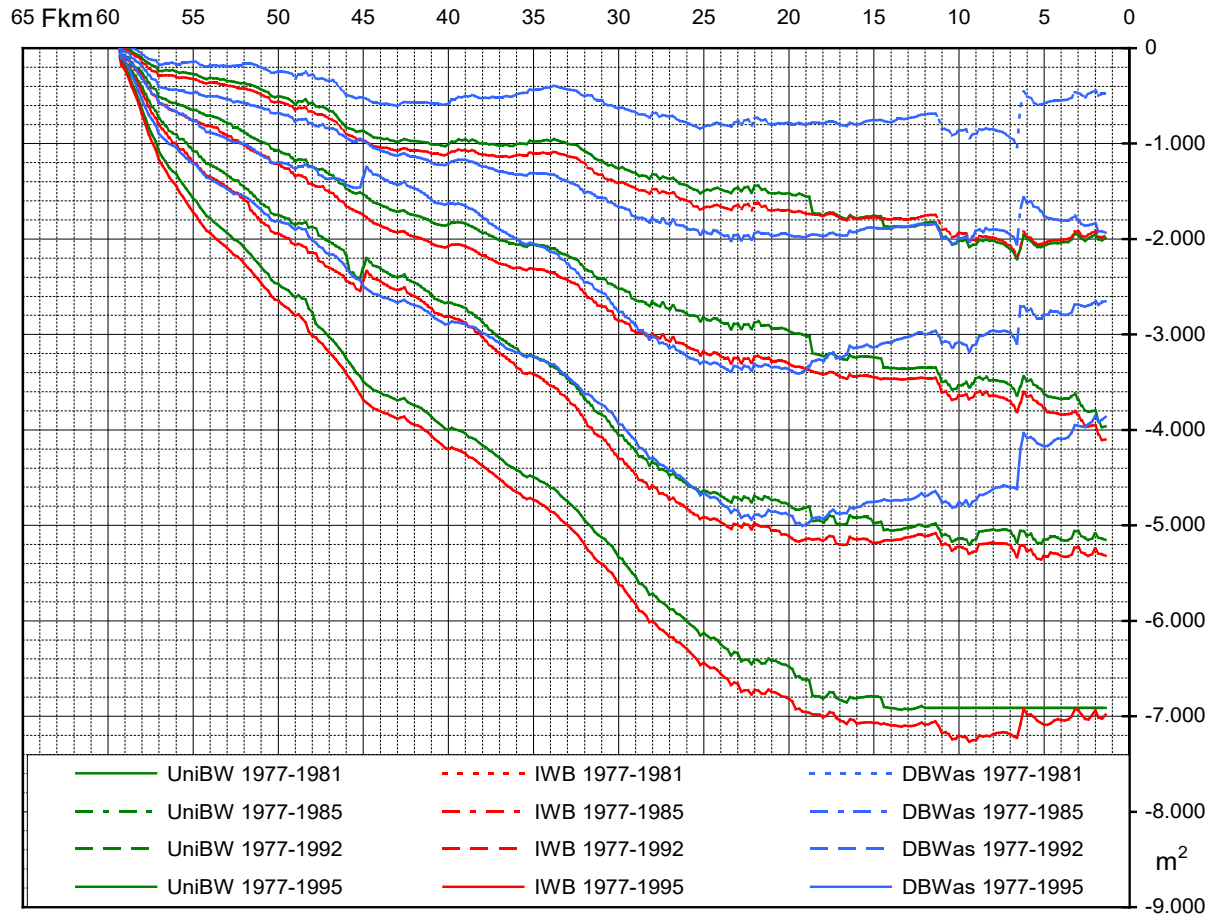


Abbildung 35: Auswertung von Querschnittsaufnahmen, Vergleich UniBW, IWB und DBWas

Ein Vergleich von unterschiedlichen Ansätzen zur Auswertung von Querschnittsaufnahmen [53] hat folgendes ergeben, s. Abb. 35:

- Sofern der Horizont ausreichend sohlnah über der bewegten Sohle definiert wird, kann auf die genaue Lagebegrenzung mittels Definition von Lotrechten verzichtet werden (Vorgehen UniBW).
- Werden die Begrenzungslotrechten in den Bereich der Böschungsfußpunkte gelegt, beschreibt das Ergebnis der Flächenermittlung exakt die Entwicklung der bewegten Sohle (Vorgehen IWB). Probleme können entstehen, wenn sich Böschungsfußpunkte durch Sohlerosion, natürliche und flußbauliche Eingriffe ändern: in die Flächenermittlung gehen dann Böschungsbereiche ein oder es fehlen Bereiche der bewegten Sohle.
- Liegen die Begrenzungslotrechten im Bereich der Böschungen oder hinter den Böschungsoberkanten (Vorgehen DBWas), so bietet dieses Vorgehen zutreffende Aussagen, wenn eine Flächenbilanz über den gesamten Querschnitt erforderlich ist (Feststoffbilanz einschließlich Schwebstoffanlandung bzw. -abtrag). Änderungen der bewegten Sohle werden nur dann richtig erfaßt, wenn Änderungen im Bereich der Böschungen vernachlässigbar sind.

Gegenüber dem Flächenwert sind Veränderungen der mittleren Sohllage i.d.R nur geringfügigen Änderungen im cm-Bereich unterworfen. Für die Interpretation ergeben sich eine Reihe von Schwierigkeiten:

- Die Sohle eines Flusses wie der Salzach verfügt über einen sehr großen Geschiebespeicher. Die Sohllage kann sehr weit weg vom Gleichgewichtszustand sein, trotzdem verändert sich die Sohl-

lage bei großen Flüssen nur langsam und gering. Die Langsamkeit von Auflandungs- oder Erosionsprozessen kann eine Gleichgewichtslage der Sohle, z.B. im Längsschnitt, vortäuschen.

- Der Einfluß von Sohlstrukturen (z.B. alternierende Bänke) auf den Geschiebehaushalt, die deutlich von der mittleren Sohllage abweichen, erschweren eine Interpretation der mittleren Sohllage, ebenso ein geologischer Untergrund mit ausgeprägter Rinnenstruktur.
- Änderungen der mittleren Sohllage können vorteilhaft bei der Interpretation längerfristiger Abläufe in "gleichartigen" morphologischen herangezogen werden.
- Eine aussagekräftigere Darstellungsform ist die mittlere Sohländerung bezogen auf eine Zeiteinheit und einen "gleichartigen" morphologischen Abschnitt (vgl. 5.1, Abb. 20 und 22).

Anlage 15 enthält eine Grafik von Veränderungen der mittleren Sohllagen gegen Ende der Korrektionsphase. Über die verwendeten Lotrechtenabstände liegen keine Angaben vor, es darf jedoch angenommen werden, daß Änderungen im Böschungsbereich damals eine eher untergeordnete Rolle spielten. Auf eine Darstellung von Veränderungen der mittleren Sohllage auf Basis von neueren DBWas-Auswertungen wird verzichtet, da wegen der mitbilanzierten Böschungsbereiche kaum ein zutreffendes Bild von den tatsächlichen Eintiefungsvorgängen der bewegten Sohle gewonnen werden kann.

In einer weiteren Berechnung können aus den Querschnittsveränderungen und den Profilabständen Massenveränderungen (Auf- und Abtragsvolumina) erhalten werden und im sogenannten Massensummenlinienplan grafisch dargestellt werden (vgl. 5.9). Das LfW-Merkblatt "Flußausstattung, Flußaufnahmen und deren Dokumentation" [54] gibt nähere Hinweise. Das Bezugssystem der Salzach unterhalb der Saalachmündung wurde anläßlich der Querschnittsaufnahme 1939/41 definiert, alle späteren und früheren Aufnahmen und Auswertungen wurden auf dieses Bezugssystem umgerechnet.

5.5.2 Bayerische Profildaten

Die "Fluss-Karte der Sala und Salzach zur Gränzregulierung zwischen Oesterreich und Baiern" wurde vom 21.07. bis 30.11.1817 aufgenommen. Im Lageplan sind 49 Profilachsen eingetragen die zur Fixierung des Korrektionsverlaufes dienten, Querprofilaufnahmen wurden jedoch erst in den Jahren 1854 bis 1856 vorgenommen. Nach [55] existierten 1865 19 Querprofilaufzeichnungen im Maßstab 1:250/50 aus dem Jahre 1854/55, ferner 14 Talquerschnitte zwischen Fkm 59,197 und 38,5 im Maßstab 1:1000/100. Auf den Einbezug dieser Profile wurde aus einer Reihe von Gründen verzichtet:

- Die Profile liegen nur noch unvollständig vor.
- Das Salzachtal ist ein rezentes Senkungsgebiet, bei einem geschätzten Setzungsbetrag von 1 mm/a ergibt sich bis heute ca. 14 cm mittlere Setzung, die lokal aber erheblich schwanken kann.
- Die Grenzsteine dienten primär der Lagefixierung, der genaue Höhenbezug bis zu den Anfängen der Korrektion ist heute nicht mehr rekonstruierbar. Zwar existierten seit 1909 betonierte Fixpunkte, nach [55] stand aber noch 1934 eine systematische Zusammenstellung der Festpunkte aus.
- Die Brücken von Laufen und Burghausen sind durch alte Profile zwar erfaßt. Da es sich jedoch um Holzbrücken, nicht um Steinbrücken handelt wären auch diese Rückrechnungsversuche mit nicht vernachlässigbaren Unsicherheiten behaftet.

Die erste systematische Profilaufnahme erfolgte 1898 nach der alten bayerischen Kilometrierung (Saalachmündung = Fkm 0), erst 1905 erfolgte die erste durchgehende Profilaufnahme von der Saalachmündung bis zum Inn. 1908 erfolgte die Umstellung auf die neue Kilometereinteilung (Saalachmün-

dung ≈ Fkm 59,3); die neue Kilometrierung wurde in den 20er Jahren zugunsten der österreichischen Einteilung nochmals verändert. Zwischen 1905 und 1916 erfolgten 5 durchgehende Aufnahmen von der Saalachmündung bis zum Inn. In einer Zusammenstellung der LfG [55] wird hierzu vermerkt: "Aus späteren Jahren (Amn.: seit 1854) sind lediglich Talquerschnittaufnahmen vorhanden aus dem Jahre 1907 in den Grenzrichtungen ... Die Querschnittsaufnahmen erstrecken sich auch auf österreichisches Gebiet aber nur von der Salzachmündung bis Wildshut (km 38). Sie sind beim Bauamt (Amn.: Traunstein) verwahrt ..." Diese Profilaufnahme kann jedoch nicht verwertet werden:

- Pro Profil (Flußquerschnitt) wurden nur 14 bis 20 Punkte gezeichnet.
- Der Maßstab der gezeichneten Profile von 1:100/2500 ist zu grob für eine Digitalisierung bzw. Auswertung.
- Über Meßverfahren und Koordinierung der Profilaufnahmen ist nichts bekannt. Die Differenzen der Bezugshöhen sind nicht einheitlich (46,8 bzw 51,8 cm) und stimmen nicht mit der Differenz zwischen NN (Pegel Amsterdam) und Adria überein (für Umrechnungen wurde vom Bayerischen Landesvermessungsamt als genügend genau die Beziehung müNN + 27 cm = müA angegeben).

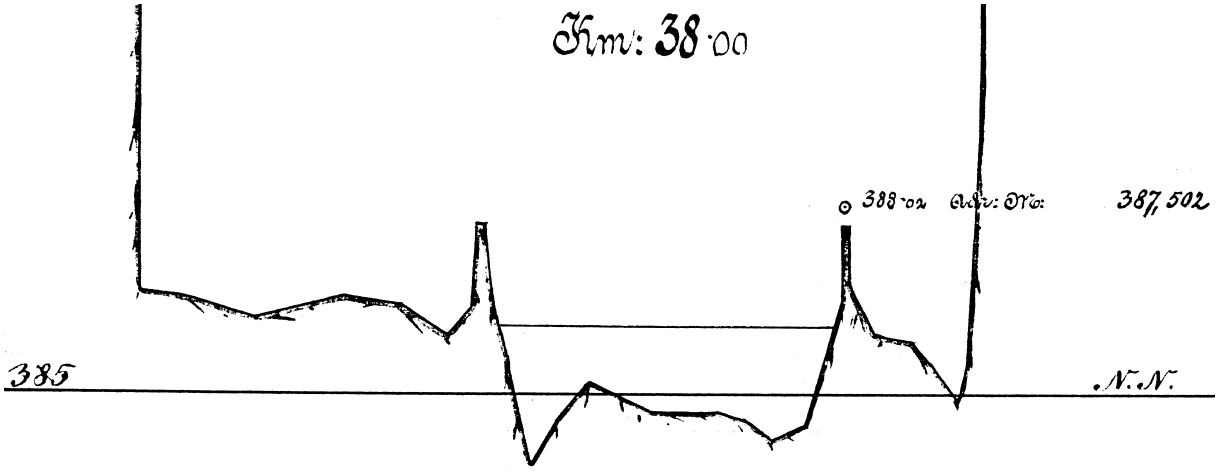


Abbildung 36: Talquerschnittaufnahme aus dem Jahr 1907, M 1:2500/100

In der Zusammenstellung der LfG [55] werden ferner alte Salzachprofilauswertungen sehr kritisch gesehen: " Im bauamtlichen hydrologischen Kataster der Salzach (3.3.1924) sind im Flußlängenschnitt Beilage III^{c} die Mittleren Sohlen von 1898 und 1920 eingetragen; im Längenschnittplan der Salzach vom 9.8.1905 (...) sind die Mittleren Sohlen von 1901 und 1905 eingetragen. In beiden Fällen sind aber die mittleren Sohlen der Vergleichsjahre nicht auf einheitlicher Basis aufgebaut." Weiter: "Die i.d.J. 1899, 1900, 1901, 1902 u. 1903 bei km (alt) 0, ...u. 20 aufgenommenen Querschnitte sind i.M. 1:100 ineinander aufgetragen (...); sie sind zwar auch zur mittl. Sohle verarbeitet worden, aber nicht auf einheitlicher Basis, auch ist die Berechnung selbst zu Verlust gegangen." Diese Aussagen zur Unzuverlässigkeit des Datenmaterials sind durch eine Reihe weiterer Bedenken zu ergänzen:

- Der Profilabstand von 1000 m ist für eine hinreichend genaue Massenbilanzierung zu groß. Der Mindestabstand sollte nicht größer als 200 m sein.
- Auf ein über den Gesamtzeitraum einheitliches Bezugssystem bei gezeichneten Querschnitten wurde nur selten geachtet. Meist wurden die Profilbegrenzungen (Lotrechte und Horizonte) mit der Neuanlage von Profilblättern verändert. In flußmorphologischen Gutachten verzichtet das LfW daher üblicherweise auf den Einbezug älterer Querschnittsaufnahmen.
- Die Veränderung einer Flußkilometrierung sowie die Änderung von Höhensystemen bringen wei-

tere Fehler und Ungenauigkeiten mit sich.

- Bei der zeichnerischen Darstellung wurden Profilaufnahmen mit Streckenfehlern nachträglich "eingepaßt". Die Vorgehensweise ist i.d.R. mangels Dokumentation nicht mehr rekonstruierbar.
- Vermessungstechnik, Dokumentation und Profilauswertung sind über Jahrzehnte nicht gleich geblieben, bzw. sind im Fall der Salzach erst seit 1940 ausreichend dokumentiert. Früher wurden relativ wenig Punkte je Profil aufgenommen und Profile in kleinen Maßstäben gezeichnet, was eine relativ ungenaue Planimetrierung bedingte.
- Zu beachten sind ferner flußbauliche Maßnahmen, die z.T. Auswirkungen auf die transportwirksame Breite der Sohle und dementsprechend auf den Lotrechtenabstand haben. Im Fall der Salzach änderten sich die transportwirksamen Breiten der Sohle infolge der Korrektion z.T. bis 1909 (unterhalb Nonnreit bis 1927).

Übersicht der wichtigsten bayerischen Profilaufnahmen **Tabelle 17**

Datum	Fkm von-bis	Profilabstand, Bemerkungen
25.03-16.04.19	59,0 - 2,0	1000 m
10-25.11.20	59,0 - 2,0	1000 m
21.02-09.03.22	59,0 - 19,0	1000 m, Fkm 18,0-2,0 mit Aufnahme 28.02-02.0323 ergänzt
16.12.39-03.10.41	59,3 - 1,0	unterhalb Fkm 27,4 z.T. alle 400 m
26.11.47-27.02.50	59,3 - 1,4	200 m
22.09-23.11.53	59,3 - 1,4	200 m, Fkm 9,6 nicht aufgenommen
12.10-19.11.54	59,3 - 3,0	200 m, nicht digitalisiert
15.09-15.10.57	59,3 - 3,2	200 m
01.10-29.10.59	59,3 - 3,0	200 m, Fkm 9,8 nicht aufgenommen
26.09.63-12.03.64	59,3 - 3,2	200 m, nicht digitalisiert
22.10.68-17.10.69	59,3 - 1,4	200 m, Fkm 9,4: 23.10.67, Fkm 9,6: 21.09.66
05.03-24.10.73	59,3 - 1,4	200 m, Fkm 1,4-3,0: 04-08.112.71, Fkm 12,0: 12.09.72
14.03-15.09.75	59,3 - 1,4	200 m, Fkm 1,4-3,0: 17-31.10.74, Fkm 22,2-22,6: 19.03.76
19.09-28.10.77	59,3 - 1,2	200 m
07.09.81-17.03.82	59,3 - 1,4	200 m, Fkm 3,2: 12.11.82
17.09-29.11.85	59,3 - 1,4	200 m
21.01-18.02.92	59,3 - 1,4	200 m
25.09-17.11.95	59,3 - 1,4	200 m
12.10-03.12.98	59,3 - 6,6	200 m

Zwischen 1919 und 1923 erfolgten 4 Profilaufnahmen, von denen die letzten beiden für eine durchgehende Profilaufnahme kombiniert wurden. Pro Profil wurden 30 bis 50 Punkte aufgenommen, diese Detaillierung erreicht fast die heute übliche Punktanzahl je Profil. Der gezeichnete Maßstab Länge/Höhe 1:1000/100 ist zwar klein, aber für eine Auswertung noch ausreichend. Probleme bei der Einpassung der o.g. Profilaufnahmen traten jedoch schon seinerzeit insbesondere auf österreichischer Seite auf.

In den 30er Jahren erfolgten Profilaufnahmen lediglich zwischen Fkm 1,2 und 8,0 zur Dokumentation der Eintiefung des Mündungsbereiches (rückschreitende Erosion vom Inn und geschiebefreie Einleitung des Alzkanals mit 70 m^3/s bei Fkm 6,5). Erst Anfang der 40er Jahre erfolgten durchgehende Profilaufnahmen im 200 m Abstand mit entsprechender zeichnerischer Darstellung (Maßstab Länge/Höhe 1:50/50). Zwischen 1939/41 und 1998 wurden insgesammt 17 Profilaufnahmen durchgeführt, von

denen jedoch nur 8 (1953, 1954, 1957, 1959, 1977, 1985, 1992, 1995 und 1998) innerhalb von 2 Monaten aufgenommen wurden. Für einen Zeitraum kleiner 2 Monate darf in guter Näherung angenommen werden, daß während der abflußarmen Zeit die Sohländerungen vernachlässigt werden können. Tab. 17 gibt einen Überblick über die wichtigsten bayerischen Profilaufnahmen.

5.5.3 Österreichische Profildaten

Übersicht der vorhandenen österreichischen Profilaufnahmen **Tabelle 18**

Datum	Fkm von -bis	Bemerkungen
27.04.1954	80,576 - 81,250	Unregelmäßige Abstände <= 200 m
20.02.61-11.04.62	50,000 - 82,748	Unregelmäßige Abstände <= 1000 m, Lücke Fkm 79,0-81,545
12.11.66 - 17.11.66	75,062 - 80,400	Unregelmäßige Abstände <= 500 m
ca. 1966/67 [1)]	95,203 - 83,653	Unregelmäßige Abstände <= 200 m
ca. 1981	80,640 - 82,748	Unregelmäßige Abstände <= 500 m
15.05.85-15.05.86	59,000 - 95,955	Unregelmäßige Abstände, Lücke Fkm 63,8-68,0
11.05-03.06.92 [2)]	59,400 - 95,680	Unregelmäßige Abstände <= 500 m, Lücke Fkm 82,88-83,5
16.10-22.11.95 [3)]	59,498 - 95,680	Unregelmäßige Abstände <= 500 m, Lücke Fkm 82,88-83,5
19.10-04.12.98 [4)]	59,498 - 95,680	Unregelmäßige Abstände <= 500 m, Lücke Fkm 82,88-83,5

1) Fkm 82,902 - 83,408: 01.07-16.12.1966

2) Fkm 82,902 - 83,408: 01.07-16.10.1990; Fkm 84,845 - 85,050: 03.08.1992; Fkm 94,780: 04.11.1992

3) Fkm 84,845 - 85,050: 20.07.1993; Fkm 82,902 - 83,408: 01.07-17.11.1993

4) Fkm 84,845 - 85,050: 05.05.1999; Fkm 82,902 - 83,408: 01.07-23.09.1997

In alten österreichischen Längsschnitten sind "Sohllagen" der Jahre 1898, 1900, 1912 und 1920 angegeben, nicht aber deren Bedeutung (Talweg oder mittlere Sohle), die dazugehörigen Querprofile liegen nicht vor (vgl. 5.1.1.2). 1954 erfolgten im Ortsbereich Hallein Profilaufnahmen. Anfang der 60er Jahre wurden im Zuge des Salzachstufenplans verstärkt Profilaufnahmen durchgeführt, in Teilbereichen (St. Georgen, Salzburg, Hallein) mit Profilabständen < 100 m. Im Zeitraum 1966/67 wurden 121 Profile im Abschnitt Golling - Hallein aufgenommen, sowie die Grundaufnahme im Bereich KW Urstein. Aus diesen Aufnahmen kann ersmals eine durchgehende Profilserie gebildet werden, die aber in Teilbereichen nur in km-Abständen vorliegt. Im Zeitraum 1985/86 kann aus amtlichen Profilaufnahmen und Profilaufnahmen der Kraftwerksgesellschaften eine fast durchgehende Profilserie der Salzach zusammengesetzt werden, die z.T. aber ebenfalls große Profilabstände aufweist. Für 1954 und 1981 liegen einige Profile für den Ortsbereich Hallein vor. Durchgehende Profilaufnahmen im ausreichend dichten Profilabstand liegen erstmals 1992 vor. Die in Tab. 18 aufgelisteten Profildaten können im Stauhaltungsbereich von Kraftwerken z.T. noch zeitlich ergänzt bzw. verdichtet werden.

Hinsichtlich der Auswertegenauigkeit bleibt noch anzumerken, daß die lagemäßige Fixierung der Querprofile erst seit der Aufnahme 1992 durchgehend vorliegt. Es ist umgekehrt möglich, daß Profile älteren Datums mit exakt gleicher Kilometrierung sich nicht mit der Lage der heutigen Kilometrierung decken.

5.6 Zusammensetzung des Geschiebes

5.6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel sind alle Untersuchungen zusammengefaßt, die sich mit der Geschiebebewegung und den Einflüssen auf die Kornzusammensetzung der Salzach befassen. Die Rinnenstruktur der Untergrundgeologie, die Abfolge von Becken und Durchbruchsstrecken, die Reaktion der Salzach auf flußbauliche Eingriffe in Kombination mit wechselnden Abflußperioden verursachen ganz allgemein eine signifikante Inhomogenität der Geschiebeproben.

Trotz zahlreicher Geschiebeproben reicht deren Anzahl weder aus um Wechselwirkungen aus einer Durchmischung quartärer/tertiärer Schichten in den Geschiebeproben erkennen zu können noch um die zeitliche Entwicklung (Einfluß des Abflußgeschehens auf die Kornzusammensetzung) näher analysieren zu können. Gleichwohl können wertvolle Schlüsse aus den Messungen und dem umfangreichen Probenmaterial gezogen werden. Abb. 37 vermittelt anhand des mittleren Korndurchmessers des Kiesbankinneren $d_{m,I}$ einen Eindruck bezüglich Probenanzahl und Streuung der Werte.

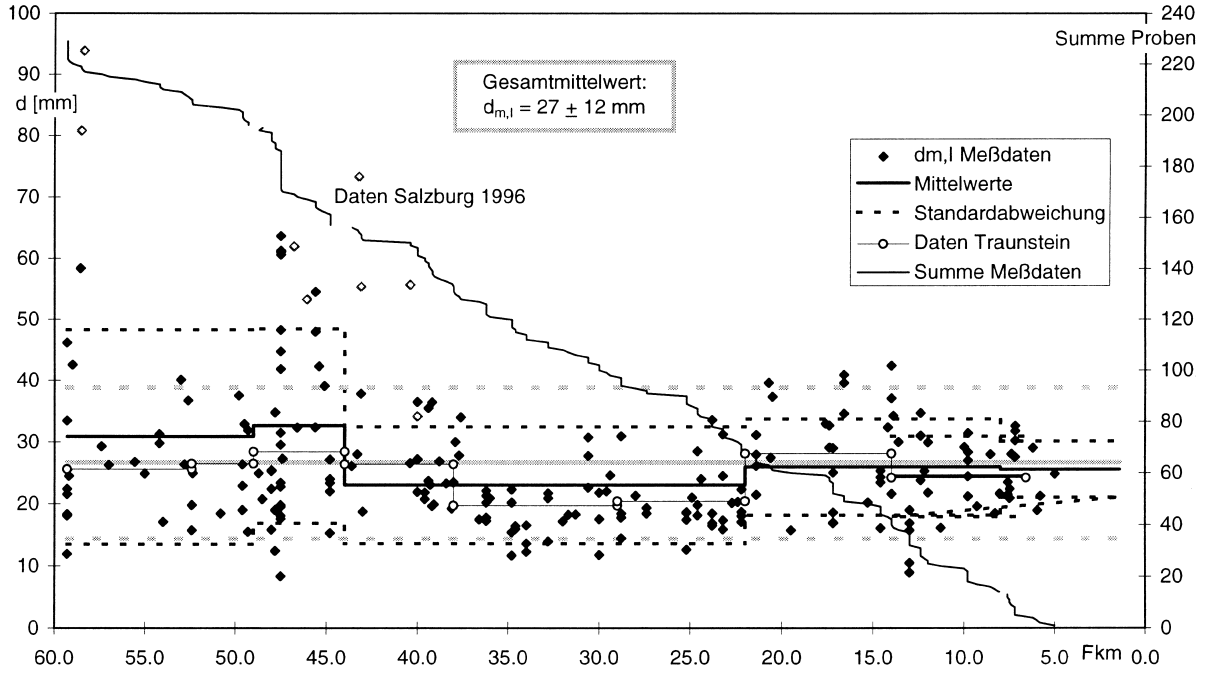


Abbildung 37: Grafische Darstellung aller Geschiebeproben bezogen auf $d_{m,I}$, nach [56]

Die Repräsentativität von Geschiebeproben und daraus gewonnenen Meßdaten muß kritisch geprüft werden. Dies beginnt bei der Probenahme (Ermessensspielraum bei der Auswahl der Entnahmestelle, Zeitpunkt der Probenahme), setzt sich über das verwendete Entnahmeverfahren (Schürfgrube, Bohrung, Kiesbankprobe, Bagger), die Auswertemethodik (Maschen-, Rund- oder Quadratlochsiebe, Abstufung der Siebeinsätze, d_m-Bestimmung), das Analyseverfahren (Volumen-, Flächen- oder Linienprobe) und die Auswertung (lokale Werte, Grenze Sand-Kies, Mittelwerte und Abschnittsbildung) fort.

Für die Berechnung der Geschiebebewegung werden charakteristische Korngrößen verwendet. Für Geschiebeberechnungen wird meist der mittlere Korndurchmesser d_m verwendet. Für die Stabilität eines Korngerüstes bzw. des Erosionswiderstandes wird üblicherweise der d_{90} einer Kornzusammen-

setzung gewählt (90 % des Massendurchgangs einer gesiebten Probe sind feiner als der angegebene Wert). Für eine "vollreife" Deckschicht wird üblicherweise angenommen, daß der d_{90} des Kiesbankinneren (auch als Unterschicht oder Grundmischung bezeichnet) dem d_m der Deckschicht entspricht. Für einige Geschiebetransportformeln werden statt d_m die Werte d_{30} (VAW-Formel), d_{40} (SCHOKLITSCH) und d_{50} (z.B. ZANKE) verwendet.

Die Ermittlung von d_m erfolgt, wie in der bayerischen und österreichischen Wasserwirtschaftsverwaltung seit Jahrzehnten üblich, über die verwendeten Siebeinsätze, nicht über eine Mittelung in 10 % Schritten. Die Werte d_{30}, d_{40}, d_{50} und d_{90} wurden meist aus Diagrammen bis auf die erste Nachkommastelle abgelesen, lediglich die vom LfW auf EDV gespeicherten Siebanalysen verfügen über die Möglichkeit, die Sieblinien exakt in 10 %-Schritten auszuwerten. Exemplarisch für d_m wurde für kiesiges Material (Definition der Grenze Kies-Sand nach DIN 18196, Ausgabe Juni 1970: $d_{40} > 2$ mm) abschnittsbezogene Mittelwerte ermittelt, s. Tab. 19

Abschnittsbezogene mittlere Korndurchmesser d_m der Salzach **Tabelle 19**

Salzachabschnitt	1a	1b	2	3a	3b	3c	4a	4b+5a	5b
Bohrung [mm]	21,9	19,6	20,5	20,1	18,5	17,9	20,5	[1]	[1]
Schürfgrube [mm]	19,0	19,6	[1]	17,8	20,1	[1]	[1]	[1]	[1]
Kiesbankinneres [mm]	28,3 [2]	25,3 [2]	27,3 [2]	26,8 [2]	20,3	20,4	28,1	24,1	[1]

[1] keine oder zuwenig Proben für eine abschnittsbezogene Mittelwertbildung vorhanden
[2] ohne Kiesbankproben 1996 des ASLR

Bis auf den Abschnitt 1a (Fkm 59,3 bis 53,0) liegen die Mittelwerte aus den Bohrungen im Bereich 18,5 bis 20,5 mm, die Mittelwerte der Schürfgruben sind um rd. 0,5 mm feiner. Die Kornvergröberung bei den Kiesbankproben in den von der Erosion besonders betroffenen Abschnitten ist deutlich ersichtlich (i.M. 25 bis 28 mm), lediglich im mittleren und unteren Tittmoninger Becken (Abschnitte 3b und 3c) ist die Entmischung gering. Hier liegen die Werte im Streubereich der Bohrungen bzw. Schürfgruben. In Anlage 24.1 und 24.2 sind abschnittsbezogen alle Proben für die unterschiedlichen Entnahmeverfahren und Auswertungen ausführlich zusammengestellt, ferner die von einzelnen Bearbeitern gewählten Werte.

5.6.2 Bohrungen

Grundsätzlich sollte zwischen Bohrungen im Fluß und am Ufer unterschieden werden um Überprägungen des Sohlreliefs und die Beeinflussung der Kornzusammensetzung durch den Fluß erkennen zu können. Bei der rinnenartigen Struktur des Salzachuntergrunds verwischen sich einerseits die Unterschiede stark, so daß eine Trennung zwischen Fluß- und Uferbohrungen nicht angebracht erschien und diese zusammen ausgewertet wurden, andererseits sind einige Flußabschnitte bereits stark ausgeräumt. In diesen Bereichen erbringen Uferbohrungen zuverlässigere Erkenntnisse über die ursprünglich dem Fluß zur Verfügung gestandene Kornzusammensetzung (gilt z.B. für den Stadtbereich Salzburg).

In den Jahren 1991 bis 1993 wurden in Ufernähe der Salzach Bohrungen vorwiegend entlang der bayerischen Seite niedergebracht, bei deren Interpretation folgende Einschränkungen zu beachten sind:

- Nach DIN 4021 soll der Innendurchmesser der Bohrung mindestens dreimal so groß sein, wie der

Größtkorndurchmesser. Schwächt man diese Forderung zugunsten des d_{90} ab, so ergibt sich für die bayerischen Bohrungen (Rammkernbohrung mit 150 mm Durchmesser) ein zuverlässig erbohrter d_{90}-Wert von 50 mm und für die österreichischen Bohrungen (Rotationsbohrung mit 250-300 mm Durchmesser) ein zuverlässig erbohrter d_{90}-Wert von 85-100 mm.

- Entnahmen aus einem Bohrrohr sind grundsätzlich als gestörte Proben zu betrachten, die Lagerung und die Entnahme aus Kernkisten (österreichische Bohrungen) bringt eine weitere Störung mit sich.
- Die Kornzusammensetzung der kiesigen Schichten wechselt durchwegs stark.

Über die Zusammensetzung kiesiger Schichten liegen insbesondere zwischen Fkm 52 und 13 zahlreiche Bohrungen vor. Im Freilassinger Becken wurden bei den bayerischen Bohrungen aus dem Jahr 1991 zwischen Saalach- und Surmündung keine Proben entnommen. Entlang der Saalach wurden in den Jahren 1997 und 1998 zwei Bohrprogramme abgewickelt, deren Ergebnisse vorliegen.

Im Regelfall nimmt der Kiesanteil in tieferen Schichten zugunsten des Sandanteils ab. Die Kornzusammensetzung der kiesigen Schichten wechselt aber z.T. stark, in einigen Fällen sind sandigere Zwischenschichten eingelagert. In der Auswertung wurden diejenigen Schichten ausgeschieden, welche zwischen Bohrungsoberkante und Salzachsohle liegen. Die stark streuenden Ergebnisse der Bohrproben reduzieren die Aussagekraft einer abschnittsbezogenen Mittelwertbildung erheblich. Für das Vorprüfungsverfahren, die Geschiebetransportsimulation und die Variantenbearbeitung war eine Mittelung jedoch unumgänglich, daher sind einige dieser Mittelwertbildungen in Anlage 24.1 und 24.2 enthalten.

5.6.3 Ufernahe Bodenaufschlüsse

Für die Variantenbearbeitung der WRS wurden ufernahe Bereiche unter dem Aspekt der Geschiebemobilisierung durch Seitenerosion untersucht, s. 3.6 [58]. In Anlage 23 sind die Schichtfolgen dargestellt, die Mittelwerte der Korngrößen in Anlage 24.1 und 24.2. Bei Schürfgrube 27 wurde eine Buhne aus der ersten Korrektionsphase aufgeschlossen, vgl. Abb. 38:

Meist lagen die kiesigen Schichten unter einer ca. 2 m mächtigen Sandüberdeckung. Aus der Beschreibung der Bodenaufschlüsse wurde versucht eine ausgeglichene Schichtgrenze zwischen Sandüberdeckung und Oberkante Kies abzuleiten. Wie ergänzende Nutsondierungen ergeben haben, verläuft die Schichtgrenze des Kieshorizonts quer zur Salzach nicht eben, was angesichts der ursprünglich variablen Gewässerstruktur keine Überraschung ist.

Für das Gefälle der Schichtgrenze ohne Berücksichtigung der Mäandrierung vor der Korrektion ergab sich im Freilassinger Becken (Schürfgrubenbereich von Fkm 59,0 bis 50,0) ein Gefälle von 1,40 ‰, im Tittmoninger Becken (Schürfgrubenbereich von Fkm 40 bis 28) ein Gefälle von 1,17 ‰, in beiden Fällen also Werte, die mit den ursprünglichen Höhen- und Gefälleverhältnissen vor der Korrektion gut korrelieren. Abb. 39 und 40 zeigen die Lage der Kieshorizonte in den Schürfgruben des Freilassinger und Tittmoninger Beckens mit den interpolierten Gefälleverhältnissen.

Abbildung 38: Schürfgrube 27, aufgeschlossene Buhne aus der 1. Korrektionsphase, Aufnahme vom 06.10.1997, nach [57]

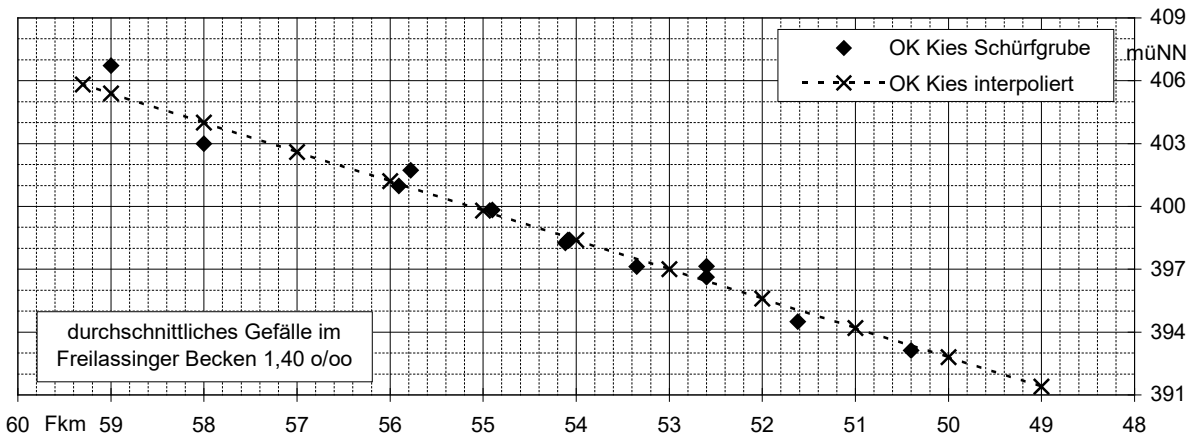


Abbildung 39: Lage der Kieshorizonte in den Schürfgruben des Freilassinger Beckens

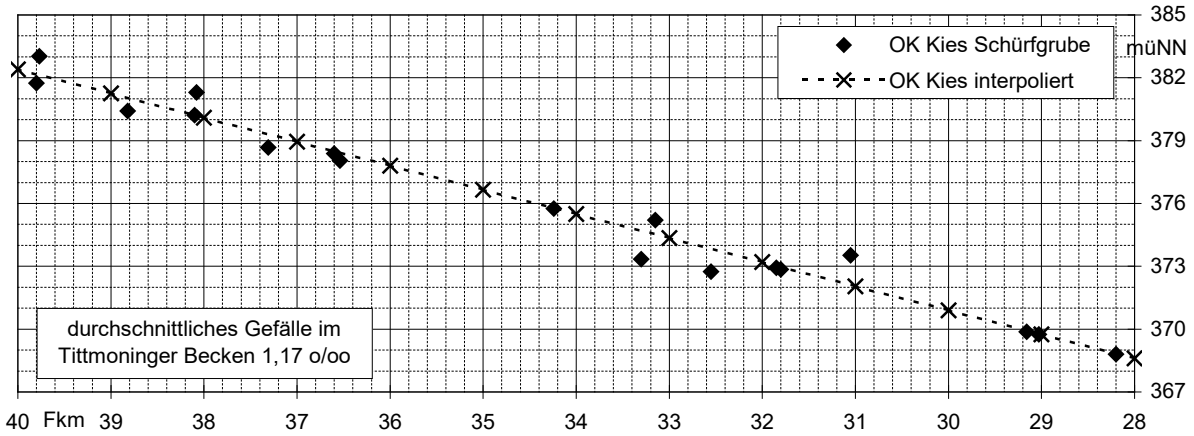


Abbildung 40: Lage der Kieshorizonte in den Schürfgruben des Tittmoninger Beckens

Abb. 41 zeigt die Häufigkeitsverteilung aller 120 Proben aus 30 Schürfgruben in den Tiefenstufen 1 m, 2 m, 3 m und 4 m unter der Geländeoberkante. Deutlich zeichnen sich die sandigen Proben und die am häufigsten vorkommenden kiesigen Proben in der Größenordnung d_m = 16 bis 22 mm ab. Die am häufigsten vorkommenden Proben korrelieren recht gut mit dem Streubereich der Bohrungen, nicht aber mit dem Kiesbankinneren, vgl. Tab. 19. Über 5.6.1 hinausgehende Folgerungen sind wegen der geringen Datenbasis nicht sinnvoll.

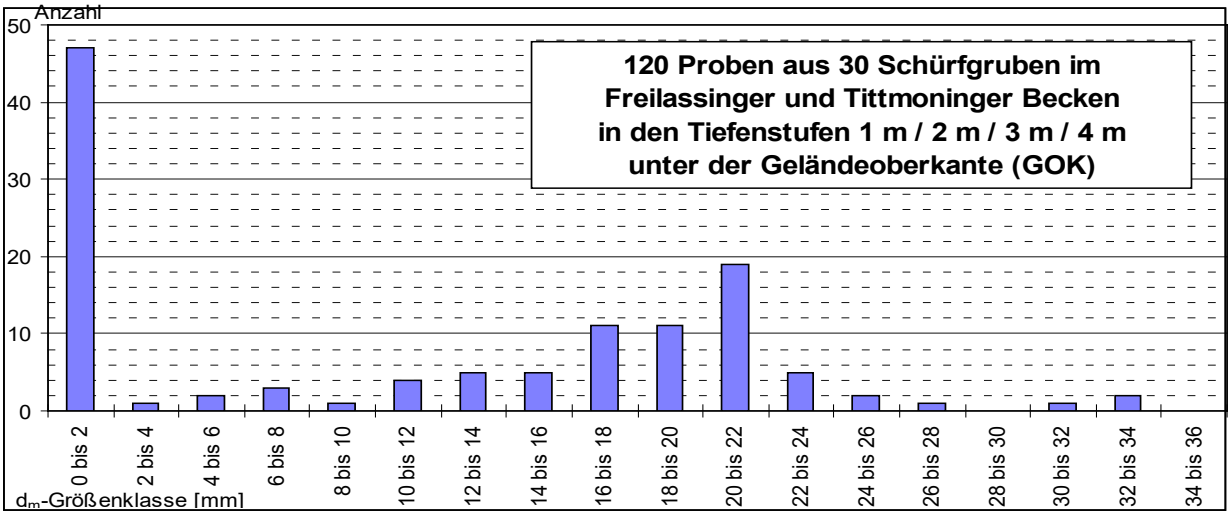


Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung der 120 Proben aus 30 Schürfgruben

5.6.4 Kiesbankproben und vergleichbare Entnahmen aus der Flußsohle

Die Salzburger Professoren FUGGER und KASTNER [15] waren 1895 die ersten die sich mit dem Salzachgeschiebe wissenschaftlich befaßten, sie publizierten eine Studie, welche "die Untersuchung von Flußgeschiebe nach ihren Größenabstufungen im Zusammenhang mit ihrer mineralogischen Natur und der Länge des von ihm zurückgelegten Weges" zum Ziel hatte. Drei Proben dieser Studie liegen im Untersuchungsbereich, sind jedoch wegen fehlender Angaben zur Entnahme und zum Auswerteverfahren nur bedingt verwertbar. Anfang der 30er Jahre wurden nach Aufzeichnungen des HZB 14 Proben zwischen Fkm 84,7 und 5,8 entnommen und ausgewertet. Angaben zur Entnahme (Mischprobe, Deckschicht, Kiesbankinneres) fehlen ebenfalls.

Die ersten bayerischen Kiesbankproben wurden 1951 anläßlich der Untersuchungen zu Auswirkungen des Rückstaus durch das KW Simbach Braunau zwischen Fkm 5,8 und 8,55 entnommen (9 Proben). Es folgten systematische Probenahmen im November 1966 (48 Proben von Fkm 7,5 bis 57,4), Dezember 1976 (88 Proben zwischen Fkm 7,5 und 59,3), November 1991 (122 Proben von Fkm 9,8 bis 59,3) und März 1992 (76 Proben von Fkm 13,0 bis 47,8). 1995 und 1996 erfolgten ergänzende Probenahmen (insgesamt 26 Proben zwischen Fkm 59,2 und 69,2) und 14 weitere Deckschichtproben der Flußsohle (Entnahme durch einen Taucher).

Abb. 42 zeigt die eine Entnahme durch einen Taucher von Deckschichtproben am 06.02.1996. Der Abfluß der Salzach am Pegel Laufen betrug i.M. 55,8 m3/s die Außentemperatur bis zu -15°C. Beprobt wurden Fkm 60,15, 59,275 und 54,0. Die durch den Taucher entnommenen 14 Proben dürften durch die fließende Welle während des Entnahmevorgangs gestört sein (Auswaschen von Feinteilen), die Proben wurden dennoch in die Gesamtauswertung (Anlage 24.1f) einbezogen. Zusätzlich wurde ein Rohr abgelassen, an dessen Fußende ein Rastergitter befestigt war. Im Rohr konnte eine Videokamera abgelassen werden und die Deckschicht auf Video erfaßt werden. Die von der UniBW erfolgte Sieblinienbestimmung mittels Videoauswertung wurde nicht in die Gesamtauswertung einbezogen.

Abbildung 42: Entnahme und Videoerfassung der Salzachdeckschicht im Stromstrich am 06.02.1996

Weitere österreichische Kiesbankproben wurden 1961 (16 Proben von Fkm 46,6 bis 82,85), 1962 (8 Proben von Fkm 39,25 bis 40,4), 1963 (31 Proben von Fkm 39,1 bis 71,2), 1992 (34 Proben bei Fkm 38,1 und von 85,4 bis 119,95) und 1996 (48 Proben von Fkm 7,5 bis 57,4) entnommen.

Mittels Eimerkettenbagger wurden durch die ÖBK Geschiebeproben im Stauwurzelbereich des KW Simbach-Braunau am 24.03.1997 und 14.04.1997 entnommen [59]. Durch die Art der Probenahme wurden die Proben nur wenig entmischt. Die Entnahmen erfolgten im Bereich Fkm 6,5 bis 3,2. Von der ÖBK wird zur Einhaltung der Vertragssohle bis ca. Fkm 6,3 Geschiebe mittels Eimerkettenbagger gefördert, aber noch bei Fkm 6,0 wurde bei der Probenahme kiesiges Material gefördert, vgl. Abb. 43.

Das im Entnahmebereich geförderte Material entspricht in seiner Zusammensetzung nach Inaugenscheinnahme durch das ÖBK-Personal der Zusammensetzung von üblicherweise geförderten Entnahmen. Die 1997 mittels Eimerkettenbagger geförderten Geschiebeproben können daher den Kiesbankproben aus dem Jahr 1952 unmittelbar vor Errichtung des KW Simbach-Braunau als vergleichbar zugeordnet werden.

Abb. 44, linke Hälfte, zeigt, daß ein geringer Feinkornanteil in der Nähe der Schlitze entweicht. Abb. 44, rechte Hälfte zeigt die 10 Schlitze des Schürfkübels, deren Fläche zu ca. 25 % mit Steinen verlegt ist.

Abb. 45, linke Hälfte, zeigt schluffiges Material, das bei Fkm 3,2 in der Nähe des linken Ufers gefördert wurde. Das sandige Material in der rechten Bildhälfte wurde ebenfalls bei Fkm 3,2 in Flußmitte gefördert.

Abbildung 43: Geschiebeprobe bei Fkm 6,0, rechtes Ufer, Aufnahme vom 24.03.1997

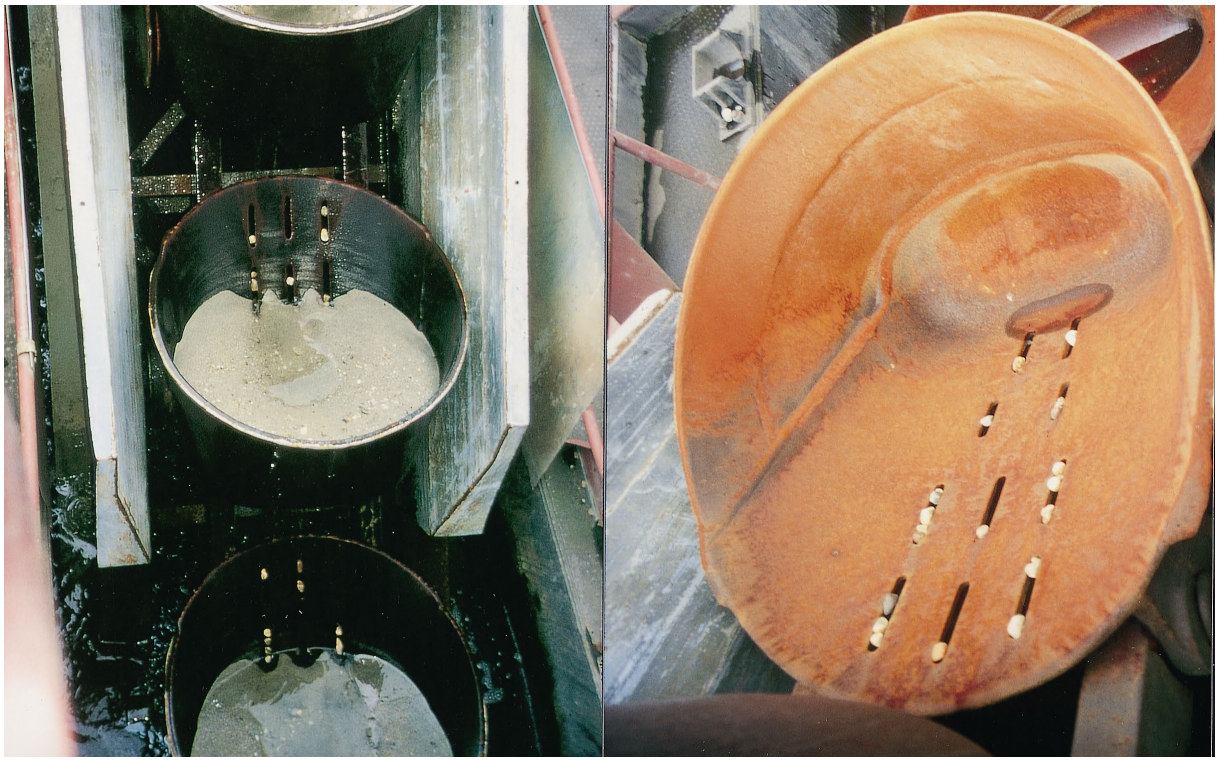


Abbildung 44: Schürfkübel des Eimerkettenbaggers der ÖBK, Aufnahmen vom 24.03.1997

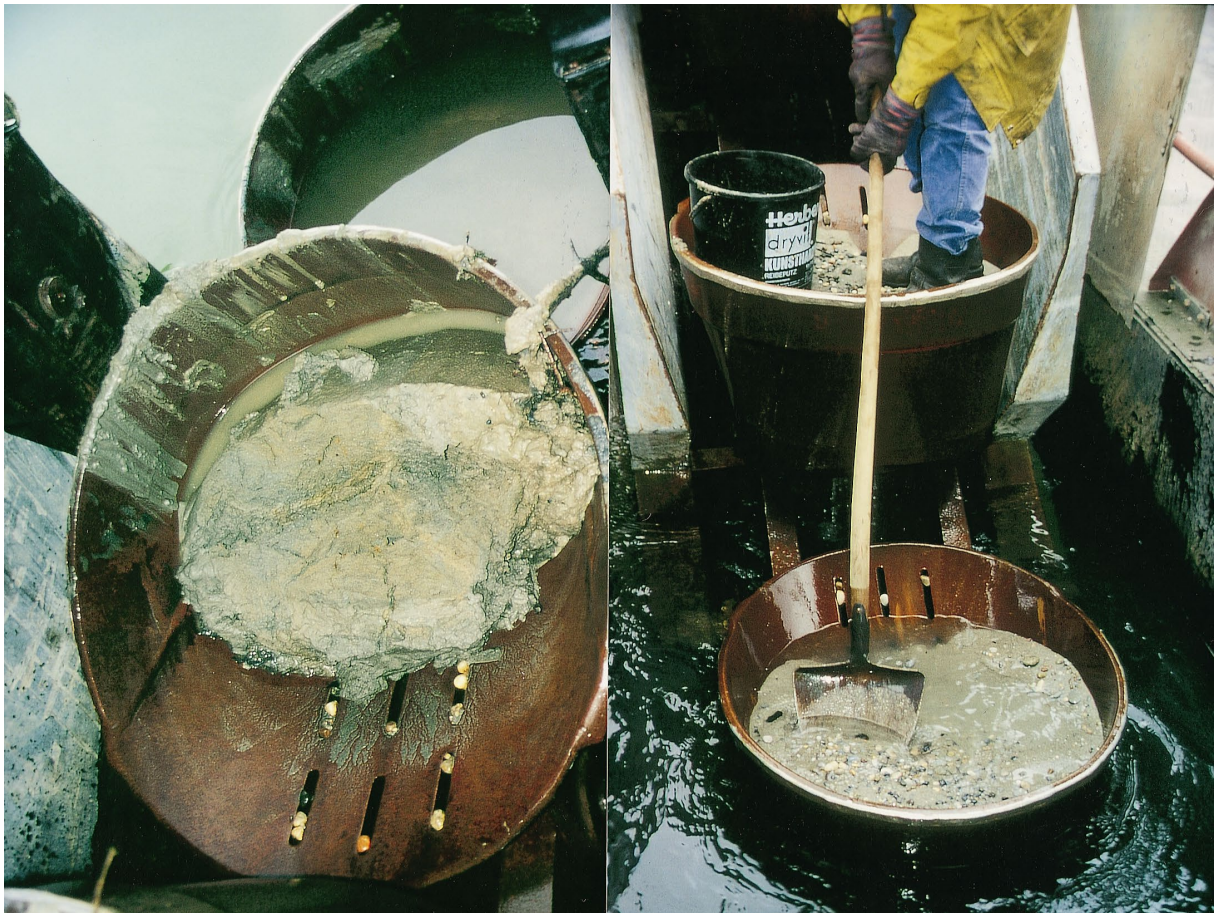


Abbildung 45: Gefördertes Material bei Fkm 3,2 am linken Ufer und in Flußmitte, Aufnahmen vom 24.03.1997

An der Saalach wurden Kiesbankproben von bayerischer Seite 1959 (10 Proben von Fkm 2,35 bis 26,8), 1967 (32 Proben von Fkm 9,05 bis 37,05), 1976 (8 Proben von Fkm 9,0 bis 16,1) und 1995 bis 1997 (insgesamt 3 Proben von Fkm 9,0 bis 20,6) entnommen. 1995 wurden zudem von österreichischer Seite zwischen Fkm 9,6 und 10,0 insgesamt 4 Volumenproben des Kiesbankinneren und 5 Linienproben der Deckschicht entnommen.

Die Linienproben der Deckschicht wurden nicht in die Auswertungen einbezogen, da der aus Laboruntersuchungen abgeleitete Zusammenhang der Probenahmeverfahren Linienprobe-Flächenprobe-Volumenprobe (FEHR [60]) als noch nicht praxisrelevant validiert angesehen werden muß. MIKOS [61] schreibt: ”Kurz kann man die Erfahrungen aus dieser Feldstudie über den Geschiebeabrieb am Alpenrhein so zusammenfassen: ... um die Veränderung der Kornverteilung bestimmen zu können, muß man Volumenproben der Unterschicht entnehmen, ein Umweg mit der Umrechnung der Linienproben der Deckschicht in die umgerechnete Volumenprobe hat sich nicht bewährt ...”

Zum Entnahmevorgang aus Kiesbänken enthält die DVWK-Regel 127/1992 [62] nähere Hinweise. Die Proben sollten hinsichtlich Anzahl und Volumen möglichst groß sein. In der Regel wählt man auf einer Bank 2-3 Entnahmestellen in der Nähe des flach verlaufenden Anfangs gegen oberstrom aus. Bei ortsfesten Bänken in Krümmungen oder Flußeinmündungen sind zusätzlich strömungsbedingte Sortiereffekte bei der Wahl der Entnahmestelle zu beachten.

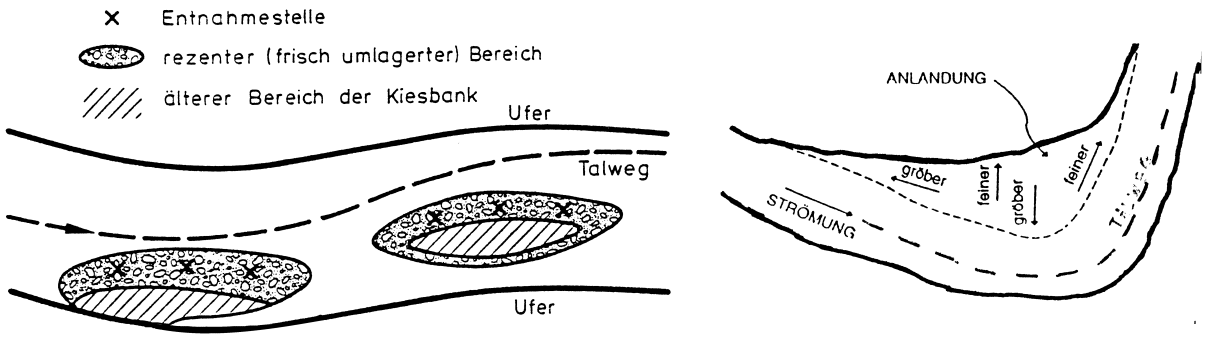


Abbildung 46: Repräsentative Geschiebeentnahmen aus einer Kiesbank, Kornsortierung in Krümmungsstrecken

Hinsichtlich der Probenahmeverfahren merkt FEHR [60] kritisch an: "So wurden z.B. oft Analysen der Unterschicht, d.h. ausgesprochene Volumengewichtsanalysen, mit Analysen der Pflästerungsschicht, also Flächengewichtsanalysen verglichen, ohne zu bedenken, daß allein durch die unterschiedliche Entnahmeart Abweichungen in den resultierenden Kornverteilungskurven entstehen können." Die sicherere Methode um die Kornzusammensetzung der Deckschicht zu erfassen ist derzeit aber zweifellos die Flächenprobe (Abheben der obersten Geschiebelage).

Unter Bezug auf DIN 18123 wird in der DVWK-Regel 127/1992 eine Mindestprobenmenge für Siebversuche angegeben. Demnach ist für ein Größtkorn von 60 mm eine Probemenge von 18 kg (ca. 7 l) notwendig. LICHTENHAHN [120] empfiehlt je Probe 10 m^2 für die Deckschicht und 0,5 bis 1,0 m^3 für die Unterschicht zu entnehmen, FEHR [60] schlägt die Beziehung: $V\ [m^3] \geq 2{,}5 \cdot d_{max}\ [m]$, $V < 0{,}5\ m^3$ vor und merkt zugleich kritisch an: "Das herkömmliche Verfahren der Entnahme einer Volumenprobe ... wird aber bei zunehmenden Maximalkorndurchmesser immer aufwendiger und beim Auftreten von Körnern > 20 cm praktisch nicht mehr durchführbar." Für ein Größtkorn von 60 mm wären demnach 150 l Probevolumen statt 7 l nach DIN 18123 notwendig. Ein zu geringes Probevolumen in Abhängigkeit von der Korngröße führt letztlich dazu, "daß die groben Komponenten bei der Analyse nicht mehr oder nur ungenau berücksichtigt werden und so der obere Ast der Kornverteilungskurve ziemlich unsicher wird."

Auf der Basis von Modellversuchen wurden von FEHR [60] Zusammenhänge und Umrechnungsverfahren zwischen den Entnahmeverfahren abgeleitet. Mit der Linienprobe samt Umrechnung und Korrektur sowie Vorhersage des Anteils an Feinmaterial mit Hilfe der Fuller-Verteilung wird von FEHR ein Umrechnungsverfahren empfohlen mit dem einerseits der Probenaufwand bei größeren Maximalkorndurchmessern vermieden wird (Linienprobe statt Volumenprobe). Auf die Kritik von MIKOS [61] wurde bereits bei den Linienproben der Saalach hingewiesen, MIKOS schreibt ferner: ” ... wenn in einem Flußsediment viele verschiedene Gesteinsarten vertreten sind, sind normalerweise kleine Linienproben für die Bestimmung der Veränderungen der lithografischen Zusammensetzung dieses Flußsedimentes zu wenig. Diese umfassen nur etwa 100 Steine und wiegen vielleicht 20 Kilogramm. Um diese Veränderungen wirklich in den Griff zu bekommen, muß man die Volumenproben entnehmen und ... petrografisch untersuchen.”

FEHR [60] empfiehlt als Mindestanzahl von Proben n > 150 zu wählen. Einige statistische Betrach-

tungen (Ansatz einer Normalverteilung) an einer Auswahl von Kiesbankproben im Freilassinger Becken (N = 17 Proben, d_m = 25,8 mm) sollen diese an sich hohe Probenanzahl in einen Zusammenhang mit der Aussagegenauigkeit stellen.

- Mit einer Stichprobe von N = 18 kann erwartet werden, daß z.B. der Mittelwert von d_m mit 99 % Wahrscheinlichkeit innerhalb der Bandbreite von +/- 5 mm liegt.
- Bei einem Stichprobenumfang von N = 32 könnte mit 50 % Wahrscheinlichkeit erwartet werden, daß der Mittelwert von d_m innerhalb einer geschiebetechnisch vertretbaren Bandbreite von +/- 1 mm liegt.
- 50 % Wahrscheinlichkeit bedeutet aber auch, daß der Mittelwert von d_m mit der gleichen Wahrscheinlichkeit sowohl innerhalb als auch außerhalb der Bandbreite von +/- 1 mm liegt.
- Um 90 % Wahrscheinlichkeit mit einer Bandbreite von +/- 1 mm zu erhalten müßten jedoch 188 Proben entnommen werden.

Beides - sowohl Probenvolumen als auch Probenanzahl - ist in der Praxis kaum erfüllbar. In günstigen Fällen kann man auf Kiesbankproben mehrerer Jahrzehnte zurückgreifen, deren Zeitabhängigkeit (Abfluß, flußbauliche Eingriffe) jedoch eine zusätzliche Unschärfe verursachen, die es bei der Probenauswahl kritisch zu interpretieren gilt.

Hochwässer verursachen eine Durchmischung von Kiesbänken, oft erstreckt sich diese Durchmischung der Flußsohle über mehrere Meter tief. In einer anschließenden Periode mit geringerem Abfluß wird das Korngerüst stabiler und vornehmlich die oberste Schicht vergröbert (Prozeß der Entmischung und Deckschichtbildung). Im Freilassinger Becken wurden nach Hochwasserereignissen in den Jahren 1966, 1991 und 1992 relativ gut durchmischte Proben gewonnen, in den Jahren 1961 bis 1963, 1976 und 1996 dagegen relativ grobe Proben. Z.B. lag der d_m 1976 mit 31,8 mm (8 Proben) rund 10 mm über dem d_m von 1966 mit 21,9 mm (6 Proben).

Als Beispiel für das begründete Ausscheiden einer Kiesbankprobe als nicht repräsentativ mag z.B. die österreichische Kiesbankprobe vom Mai 1996 bei Fkm 58,5 (Mittel aus 3 Proben, d_m = 80,8 mm) dienen. Wesentliche Grobkornanteile dieser Probe waren nicht rund. Diese Fraktionen stammten mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der obersten Lage der Querschüttung zur Sanierung des Kompressionskolkes unterstrom der Autobahnbrücke Liefering (Fkm 62,9), die wenige Monate kurz vor dem Junihochwasser 1995 eingebracht wurde, s. 5.1.1.3. Die Schüttung hatte zuwenig Zeit, um eine stabile Lagerungsdichte zu erreichen und so konnten auch vergleichsweise grobe Kiese (200 bis 300 mm) durch Präerosion herausgelöst und verfrachtet werden.

5.6.5 Petrografie und Herkunft des Geschiebes

Die Zielsetzungen bei der petrographischen Untersuchung des Gechiebes und des unmittelbaren Untergrundes unter dem Flußlauf unterschieden sich oberhalb und unterhalb der Saalachmündung geringfügig. Die sedimentologischen Analysen im unteren Flußlauf wurden mehr auf die Unterscheidung Salzachgeschiebe-Saalachgeschiebe (vgl. 5.6.6) und die Feststellung ihrer jeweiligen Anteile sowie den Beitrag von Korngrößenverteilung und Konsistenz des Materials zur Erosionsempfindlichkeit abgestellt. Im Salzburger Laufabschnitt und weiter stromaufwärts ist es dazu wichtig zu wissen, wo die heute noch aktiven Geschiebeherde liegen, um deren Anteile am Geschiebeaufkommen abzuschätzen, d.h. welcher Beitrag kommt aus welchem Zubringer oder zumindest aus welchem Gebiet unterhalb des

Passes Lueg.

5.6.5.1 Sedimentologie im Abschnitt Burghausen bis Saalachmündung

Unterhalb der Saalachmündung wurde neben den geschiebetechnischen Erhebungen auf die Untersuchungen zur Lagerung und Korngrößenzusammensetzung des unmittelbar liegenden Untergrundes Gewicht gelegt. Dies besonders, da über weite Strecken der Seeton des Laufener und des Tittmoninger Eisrandstausees ansteht, der - gleich ob sandig-schluffig oder schluffig-tonig - überwiegend unverfestigt ist. Beprobt wurden auch die Sedimente der OSM, die in den Engstrecken anstehen.

Aus der Serie der Bohrungen 1991 sind bei elf Bohrungen gezielt Proben entnommen worden, aus der Serie 1992 wurden bei 38 Bohrungen Proben des feinkörnigen Untergrundes gezogen, aus der Serie 1993 wurden 9 Bohrungen beprobt.

In den Abbildungen 47 bis 50 sind ausgewählte Kornverteilungskurven jeweils einander gegenübergestellt. Hierbei spielt es kaum eine Rolle, welche Bohrungen innerhalb der Seebeckenfüllungen herangezogen wurden, da sie untereinander sehr ähnlich sind. Die Übereinstimmungen bei der Kornverteilung gehen so weit, daß häufig die Kornkurven "oben" = schluffig-sandig (Oberer Seeton) und "unten" = schluffig-tonig (Unterer Seeton) in sich jeweils fast deckungsgleich sind. Die Sedimentationsbedingungen waren also in beiden Seebecken gleichartig und auch die Änderungen des Milieus setzten wohl jeweils fast gleichzeitig ein. Dieser in sich deutlich erkennbare Sedimentaufbau erleichterte seinerseits das Erkennen der Abläufe in zeitlicher und räumlicher Folge, wobei es nicht möglich ist, absolute Zeiten anzugeben.

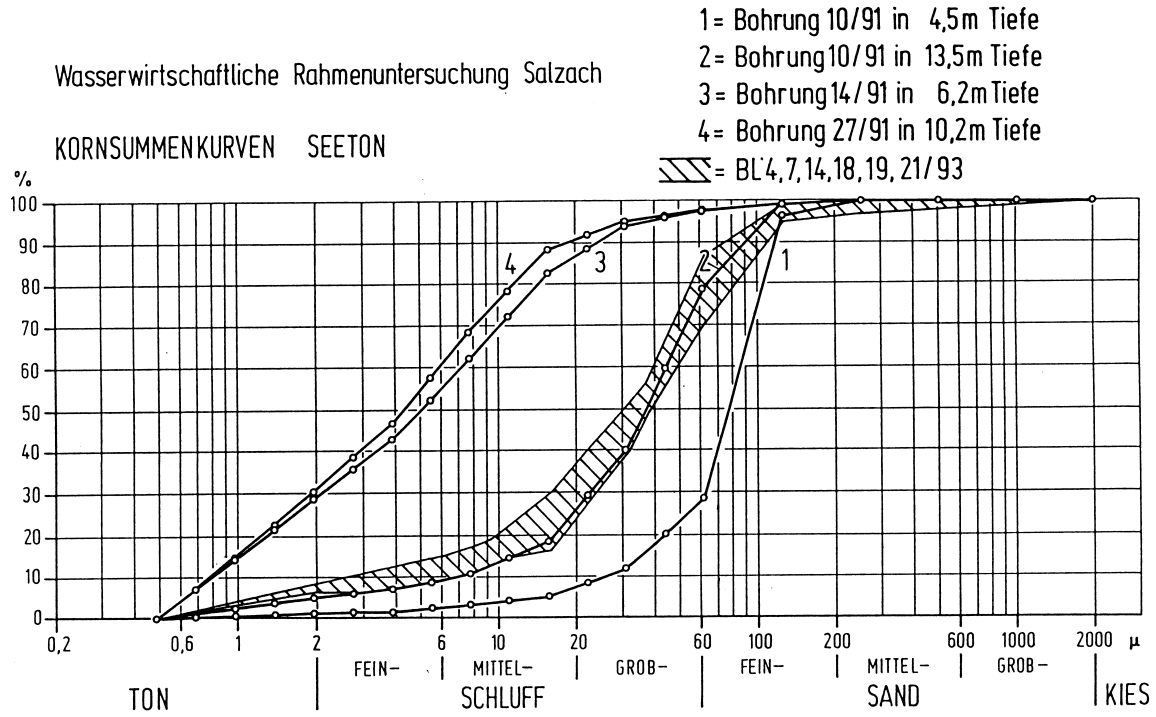


Abbildung 47: Kornsummenkurven im Freilassinger Becken

In Abb. 47 wurden Kornsummenlinien der Bohrungen B 10/91, B 14/91 und B 27/91 sowie 6 Bohrungen aus 1993 gegenüber gestellt. In B 10/91 liegt eine mächtigere Schicht schluffig-sandigen Seetons

über dem feinkörnigen Substrat. Diese ist, wie öfter zu beobachten, in sich nicht gleichartig aufgebaut, sondern das Material wird von unten nach oben gröber. Der Übergang vom schluffig-tonigen Seeton zur schluffig-sandigen „Deckschicht“ ist zwar in aller Regel deutlich abgesetzt, teilweise als Erosionsdiskordanz deutbar, aber die folgende Verlandungsphase, als deren Ausdruck die gröbere Sedimentfolge anzunehmen ist, beginnt ebenfalls feinkörniger (aber schon im feinsandigen Bereich), um ihrerseits mit zunehmender Verlandung gröber zu werden. Dies bestätigen die Ergebnisse der Serie 1993 mit bemerkenswerter Übereinstimmung im Bereich der gröberen Seetonschicht. Die Kornkurven liegen so eng zusammen, daß die Umhüllenden ein schmales Band ergeben.

Die Kurven 3 und 4 zeigen die Korngrößenverteilung im unteren feinen Seeton mit einem Tonanteil um 30 %; das Material der Kurve 4 ist allerdings dem umgelagerten Teriärmaterial im Liegenden der Laufener Schotterabfolge entnommen, es ähnelt dem üblichen feinen Seeton außerordentlich, lediglich die halbfeste Konsistenz läßt an den möglichen älteren Seeton denken.

Ein ganz ähnliches Bild zeigen die Kurven der Abb. 48. Die Kurven 1 und 2 stammen aus dem schluffig-sandigen oberen Teil des Seetons - hier aber des Tittmoninger Sees - der wahrscheinlich ein mächtiger Schwemmfächer ist. Das Material weist indessen die gleiche Korngrößendifferenzierung in der Vertikalen auf wie stromaufwärts. Die Kurven 3 und Bl 14f. kennzeichnen wieder den feinen Seeton.

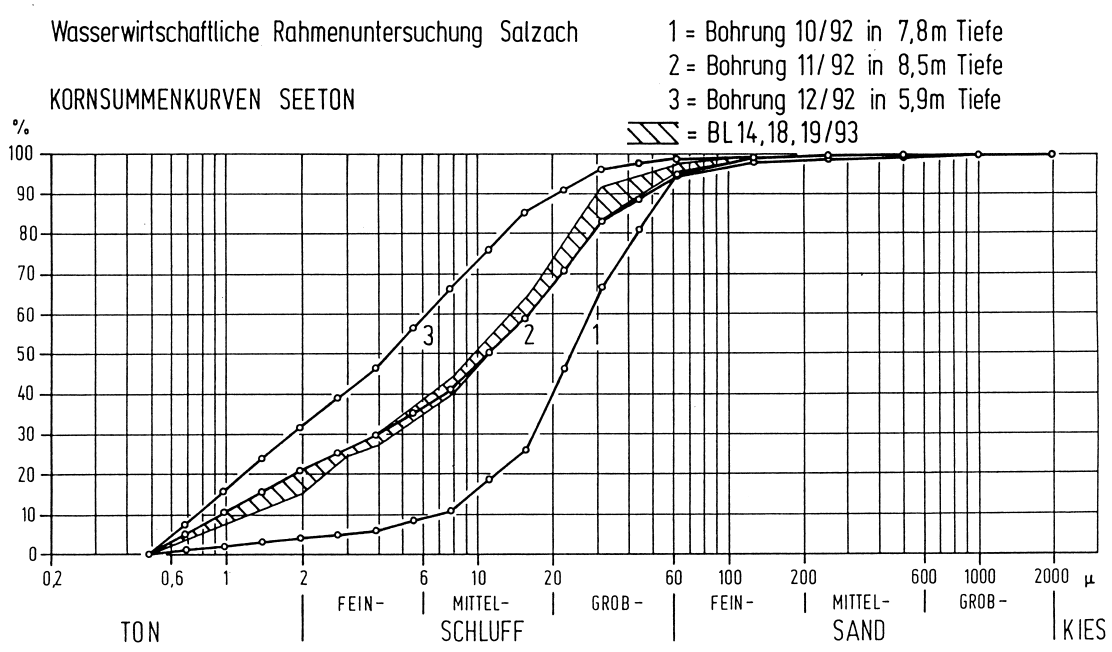


Abbildung 48: Kornsummenkurven im oberen Tittmoninger Becken

Eine andere Situation läßt Abb. 49 erkennen. Der schluffig-sandige Seeton als Verlandungssediment am Auslauf des Tittmoninger Sees ist wesentlich schlechter sortiert als sonst und dies durchgehend im Bohrprofil. Kurve 3 z.B. aus Bohrung B 25/92, 5,5 m unter Gelände, hat einen identischen Verlauf wie die Summenkurve aus der Probe bei 10,0 m derselben Bohrung. Diese nicht mehr differenzierte Sedimentabfolge zeigt somit deutlich turbulentere Fließvorgänge an und ist flußmorphologisch tatsächlich eher als Umlagerungsstrecke aufzufassen.

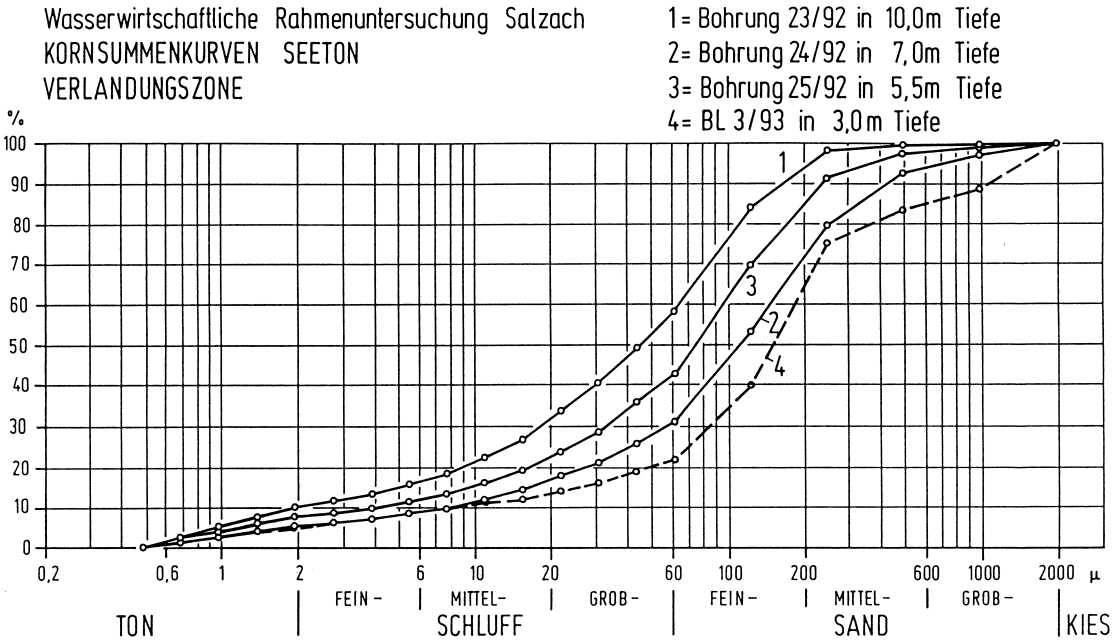


Abbildung 49: Kornsummenkurven im unteren Tittmoninger Becken

Abb. 50 enthält Kornsummenkurven aus dem Tertiär der OSM. Kurve 1 ist als Tonmergel ähnlichen Sedimentationsbedingungen unterlegen gewesen (Stillwassersediment) wie der feine Seeton; der Sandmergel ist allerdings wieder schlechter sortiert als der schluffig-sandige Seeton und weist ebenfalls auf ein fließendes Medium hin.

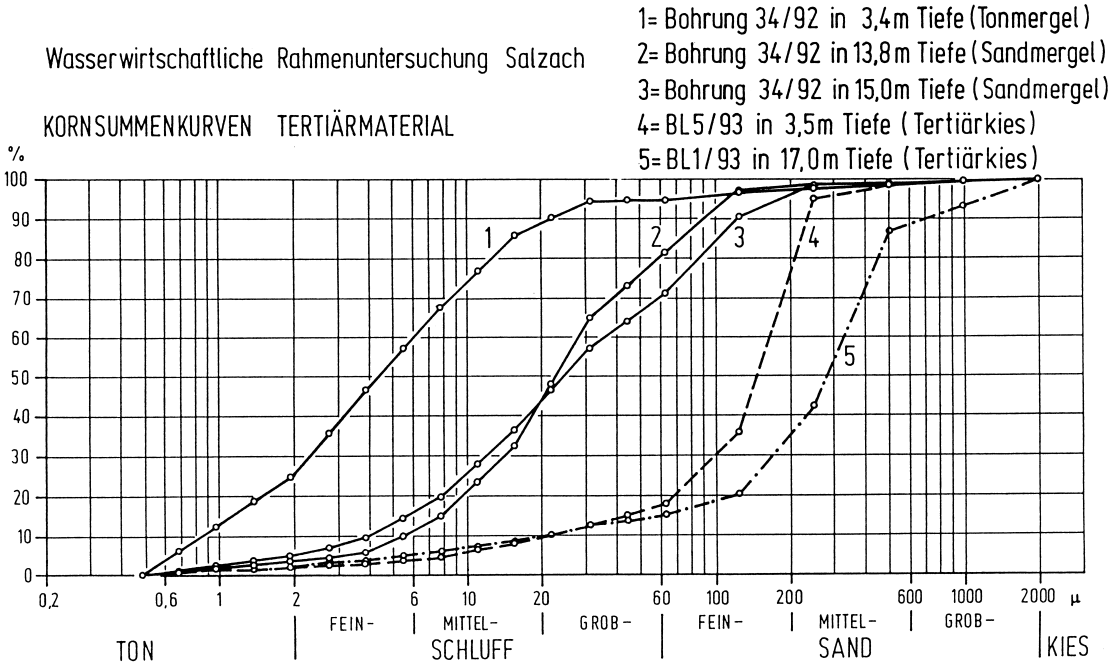


Abbildung 50: Kornsummenkurven im Abschnitt Nonnreit bis Burghausen

Die Korngrößenverteilung sagt nichts über die Konsistenz des betreffenden Sedimentes aus. Die Bohrungen brachten hierzu aufgrund der technischen Bedingungen dagegen eindeutige Aussagen, die hier noch nicht mit Zahlen belegt sind, da keine direkten Baugrunduntersuchungen durchgeführt wurden:

- Seeton (feinkörnig): lose, breiig
- Seeton (schluffig-sandig): lose, im Sedimentzusammenhang ”dicht” und leicht zu bohren, zerfällt an der Luft sofort
- Sand, kiesig (Zwischenlage zwischen Seeton und Geschiebe): lose
- Tertiär, älterer Seeton (?): halbfest
- Tertiär, Tonmergel: fest bis hart
- Tertiär, Sandmergel: fest bis hart, z.T. sandsteinartig

Somit sind die gesamten Seetonfüllungen beider alten Seebecken und die unmittelbar darüber liegende schwach kiesige Sandschicht infolge geringer oder fehlender Verfestigung stark erosionsgefährdet, wenn sie dicht unter Sohle anstehen.

Das Tertiär unterhalb von Laufen ist aufgrund sandsteinartiger Konsistenz derzeit kaum gefährdet.

Der Tonmergel in der Nonnreiter Enge kann zwar bei Wasserzutritt u.U. schlagartig erodibel werden (Kolke!), aber dieser Laufabschnitt befindet sich in der Schluchtstrecke. Eine größere Gefährdung wird solange nicht gesehen, wie eine Geschiebeauflage von etwa der heutigen Stärke vorhanden ist. Nur an einigen Stellen können neue Kolke entstehen.

5.6.5.2 Sedimentologie im Abschnitt Salzburg bis Tauglmündung

Aus dem Laufabschnitt zwischen Salzburg und der Tauglmündung liegen nur von einigen Stellen Sedimentproben des Gechiebes oder vom Untergrund vor, die flußmorphologisch verwertbar sind.

- 1979: Acht Bohrungen mit Tiefenprofilentnahmen im Staubereich des KW Urstein zwischen Fkm 75,4 und 79,6. Sie dienten offenbar zum Testen des Feinkorngemisches aus angelandetem Schwebstoffmaterial bis in Bohrtiefen von 7,50 m, im Durchschnitt bis 2 - 3 m. Das Feinkorngemisch besteht erwartungsgemäß aus Schluff und Feinsand in relativ gleichartig verlaufenden und eng beieinander liegenden Kornkurven. Da sie wohl mehr für bodenmechanische Zwecke (hier Fragen der Kohäsion bei Stauraumspülungen) entnommen wurden und nur den Schwebstoffanteil charakterisieren, sind weitergehende Interpretationen nicht möglich.
- 1989: Acht Entnahmen (Nr. 7565 - 7572), bearbeitet von der bvfs im Auftrag des Amtes der Salzburger Landesregierung. Hierbei handelt es sich um eine Entnahme am Müllner Steg (Sohle rechte Seite, ufernah), die anderen Entnahmen stammen wiederum aus dem Stauraum des KW Urstein und hier bis auf eine Ausnahme ebenfalls vom rechten Ufer und der Flußmitte. Fünf von ihnen sind ein schlecht sortiertes Feinkorngemisch von der Uferböschung und der Flußmitte, also abgelagerte Schwebstoffe; drei Proben sind gröberkörnig, davon zwei fast gleichartig mit relativ hohem Feinsandanteil und nur eine Probe ist eine ”echte” Flußgeschiebeprobe mit entsprechender Kornkurve, die dafür recht feinkiesig ist. Alle Proben sind Deckschichtproben, die gröberen von ihnen haben der Entnahme 1997 adäquate Kornkurven.
- Weiterreichende Aussagen waren mit den oben beschriebenen Proben bzw. Kornkurven nicht zu

treffen, zumal auch keine petrographischen Analysen durchgeführt wurden. Deshalb wurden 1997 und 1999 an ausgewählten Stellen der Strecke von der Tauglmündung bis zur Klausbachmündung Geschiebeproben nach Deckschicht und Innenschicht entnommen und nach Korngröße und petrographischer Zusammensetzung durch die bvfs untersucht:

Fkm 85,7	oberhalb Tauglmündung
Fkm 85,7	Tauglmündung
Fkm 82,2-82,3	Kiesbank rechts zwischen Wehr PWA-Hallein und Neumayrbrücke
Fkm 74,6	Kiesbank rechts unterstrom der neuen Rampe des KW Urstein
Königssee Ache	Kiesbank, Innenkurve unterstrom der Straßenbrücke zum Zementwerk Leube
Fkm 71,1-71,2	Kiesbank im Bereich der Klausbachmündung

Die Kornverteilung wurde nach Önorm B 4412 bestimmt, zur petrographischen Beschreibung gibt die bvfs im Prüfbericht [10] folgende Hinweise:

"Entsprechend dem Einzugsgebiet der Salzach und ihrer Zuflüsse waren einerseits Sedimentgesteine, wie Karbonate, Mergel, Tonschiefer und Sandsteine, und andererseits metamorphe Gesteine der Grauwackenzone und der zentralalpinen kristallinen Einheit zu finden. Bei den sedimentären Komponenten handelte es sich vorwiegend um Kalke und Dolomite:

Kalke waren zumeist feinkörnig ausgebildet und könnten als graue bis weißgraue ”Wackestones” bis ”Grainstones” (Klassifikation nach DUNHAM) bezeichnet werden. Makroskopische sedimentäre Strukturen konnten aufgrund der Komponentengröße und Form nicht festgestellt werden. Eine weitere Gruppe bildeten rötliche Kalke, die zum Teil brecciert waren. Die hellgrauen bis mittelgrauen, teilweise splittrig brechenden Kalkkomponenten mit dunkelgrauen Hornsteinlagen und -linsen waren immer wieder anzutreffen.

Dolomite konnten sowohl als graue z T. breccierte Komponenten mit kantigen Bruchflächen oder auch als weißgraue gerundete Gesteinskomponenten unterschieden werden. Die stratigraphische Zuordnung kann nur als Hinweis gewertet werden, da weder sedimentologische noch paläontologische Untersuchungen durchgeführt wurden. Die hellgrauen bis weißgrauen Kalke und Dolomite könnten dem Dachsteinkalk/-dolomit zugeordnet werden. Die rötlichen Kalke sind einerseits den Adneter Kalken und andererseits dem Untersberger Marmor zuzuordnen. Die grauen Kalke mit Hornsteinlagen entsprechen vermutlich den Oberalmer Schichten. Die grauen Dolomite würden dem Hauptdolomit entsprechen.

Die **Sandsteine, Mergel** und **Tonschiefer** werden vorwiegend nach ihren Korngrößen und farblichen Unterschieden unterteilt. Eine eindeutige stratigraphische Zuordnung konnte nur für die violetten und grünen Tonschiefer und Sandsteine durchgeführt werden. Sie werden den Werfener Schichten zugerechnet.

Bei den **Kristallinen Gesteinen** handelte es sich vorwiegend in den feinkörnigeren Fraktionen um Quarzgerölle. Es wurden auch Komponenten aus Gneisen und Glimmerschiefern gefunden. Eine stratigraphische Zuordnung konnte nicht erfolgen".

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den Abbildungen 51 bis 56 zusammenfaßt, sie werden flußmorphologisch wie folgt interpretiert :
Zunächst ist auffallend, wie deutlich feinkörniger die Innenschicht gegenüber der Deckschicht ist, mit einer Ausnahme. Die Kornfraktionen bestehen wie üblich bei fluvialen Sedimenten aus Sand und Kies, das Feinkorn fehlt weitestgehend. Die charakteristische Bimodalität der Flußsedimente - ein Zweibereichsgemisch, wobei das feinere gewissermaßen in den Zwickeln der gröberen Fraktion sitzt und diese gerüstartig stützt - deutet sich nur an. Die Sedimente sind relativ schlecht sortiert, der Transportmechanismus ist somit insgesamt gestört.

Zu Abb. 51 (Fkm 85,9): Die linksufrig oberhalb der Tauglmündung gezogene Probe hat eine besser sortierte Innenschicht mit deutlicheren Anzeichen der Bimodalität als bei den anderen Proben und als bei der eigenen Deckschicht. Die Innenschicht spiegelt bei den kleineren und mittleren Kornfraktionen die Gesteinsabfolgen des Einzugsgebietes deutlicher wider als in den groben. Gneis und Gangquarz reichern sich bei ca. 31 mm Durchmesser relativ am meisten an, sie verringern sich zum feineren Korn hin erstaunlich schnell und die Grünschieferfazies der Tauernschieferhüllen gewinnt die Oberhand. Im Grobkorn überwiegen Kalke und die typischen grünen und roten Werfener Schichten; im gröbsten Korn existieren nur noch Kalke. Dies deutet auf einen seitlichen Einstoß durch Wildbäche oder einen Murstoß aus den Bergmassiven des Hochkönig hin. Das Material wurde noch nicht vollständig in das Geschiebe eingebaut. Entsprechend mehr Grobkorn enthält die Innenschicht. Die Deckschicht ist bis ca. 31 mm ganz ähnlich zusammengesetzt, nur daß die maximale Kristallinanreicherung bei 15 mm liegt. Im Grobbereich ist die Werfener Schichtenfolge verschwunden, der zähe Gneis und Quarz bleiben hier neben den Kalken dominant. Hier sind keine seitlichen Einträge erkennbar, die petrographische Zusammensetzung ist gleichmäßiger bei etwas geringerer Sortierung.

Zu Abb. 52 (Fkm 85,7): Die Innenschicht ist etwas besser sortiert. Petrographisch ist das Geschiebe vom (kalkalpinen) Einzugsgebiet der Taugl geprägt. In der Deckschicht dominieren vor allem die Oberalmer Kalke in den gröberen Fraktionen; die leicht zerfallenden Sedimente der Werfener Schichten reichern sich in den kleineren Korngrößen an. Der geringe Anteil an Kristallinkomponenten, der nur im Feinkieskorn vorkommt, stammt aus Grundmoränenmaterial und nicht aus dem primären Antransport aus den Zentralalpen. In der Innenschicht fehlen die gröbsten Korngrößen; die Oberalmer Kalke treten im feineren Bereich relativ zurück, da sich dort die Werfener Sedimente anreichern. Die bessere Sortierung macht sich also auch in der petrographischen Zusammensetzung bemerkbar.

Zu Abb. 53 (Fkm 82,2): Petrographisch tritt im reinen Salzachgeschiebe das Kristallin der Zentralalpen hervor. Im Grobkorn der Deckschicht halten sich die Quarzknauern, deren Anteil am Kristallin immer stark bleibt. Gneis- und Glimmerschieferpartikel, die i.d.R. schnell zerfallen, sind noch bis in die mittleren Fraktionen hinein vertreten und zerfallen erst dann endgültig; im Feinkieskorn finden sich nur noch Quarze. Der Dolomit hat erfahrungsgemäß seine dominanten Partikelgrößen im mittleren Bereich und bleibt dann der bestimmende Geschiebeanteil im Feinkies; Werfener Schiefer und Sandsteine sind erstaunlich gering vertreten. Das Salzachgeschiebe besteht hier i.w. aus drei Gruppen: Quarz, Kalk und Dolomit der Nördlichen Kalkalpen und Oberalmer Kalk des Tennengaus. Die Innenschicht ist deutlich feinkörniger und zeigt erste Anzeichen der Bimodalität. Es fehlen hier wieder die Grobfraktionen. In den mittleren und feineren Kieskorngrößen halten sich Kalke und Kristallin die Waage; das Kristallin besteht wesentlich aus Gesteinsbruchstücken, bei den Kalken herrschen Dolomit und Adneter Kalk

vor. Auffallend ist die gleichmäßige Mischung, es ist nicht sicher, ob die Innenschichtprobe hier für ein Salzachgeschiebe repräsentativ ist.

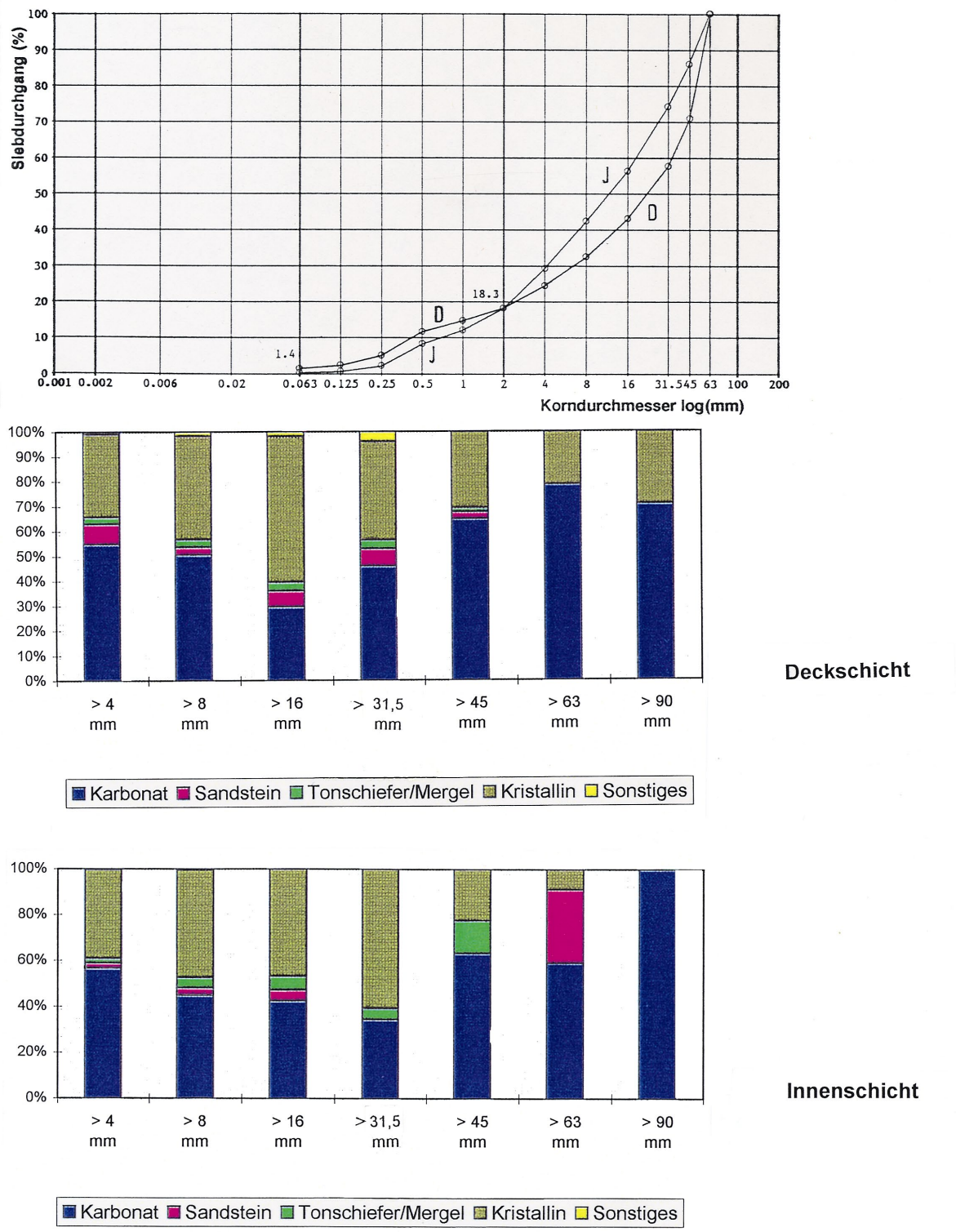
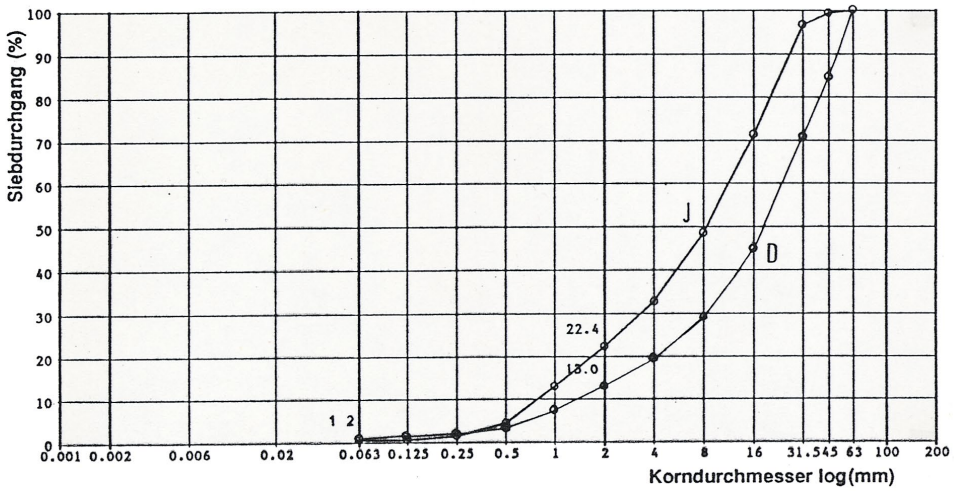
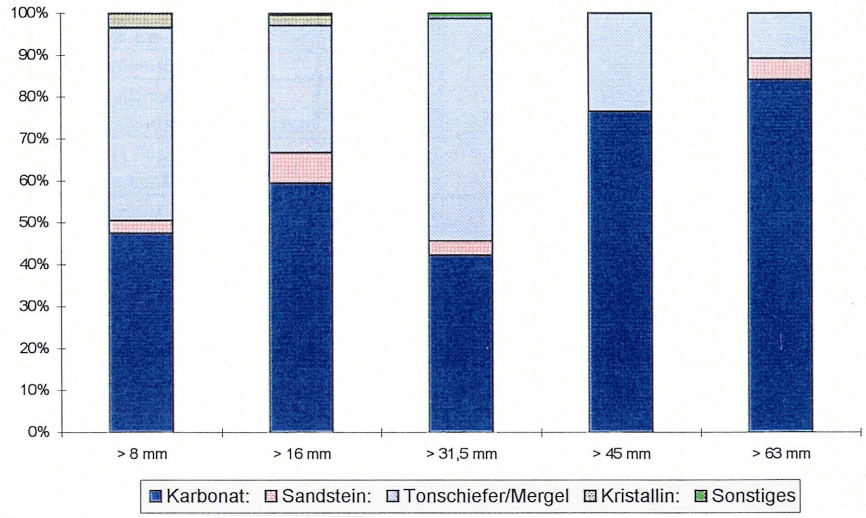
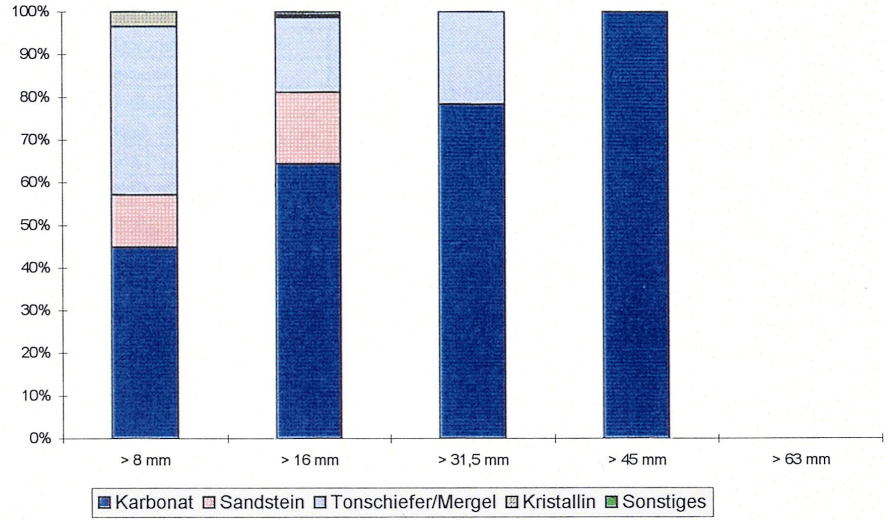


Abbildung 51: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 85,9



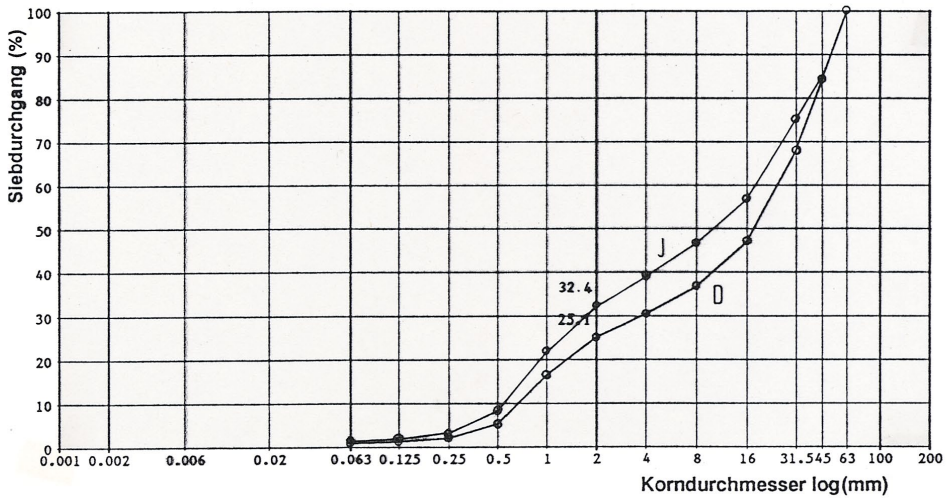


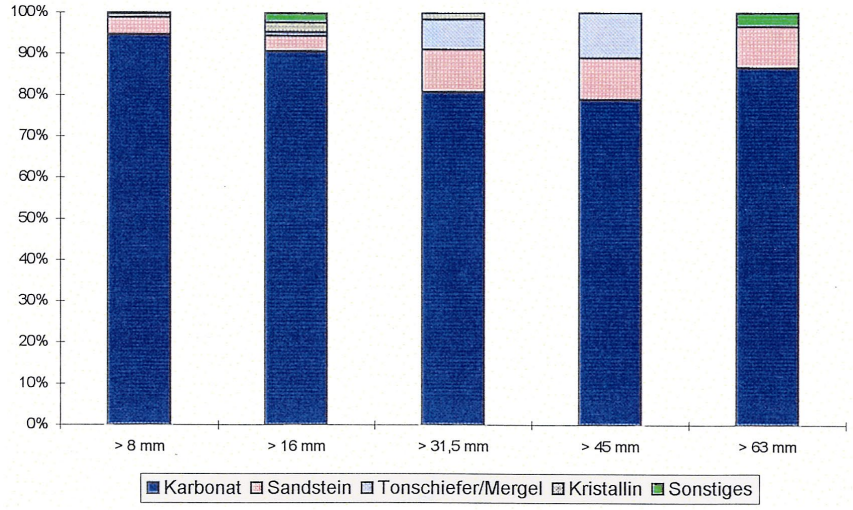
Deckschicht



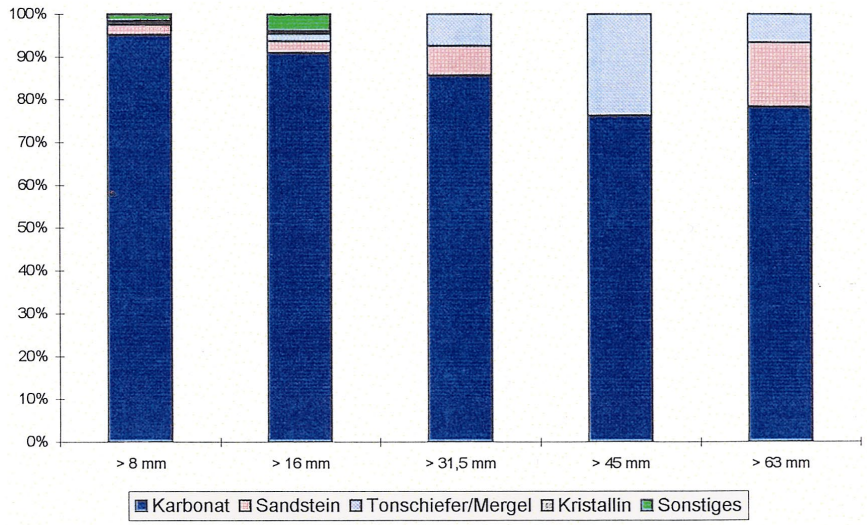
Innenschicht

Abbildung 52: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 85,7





Deckschicht



Innenschicht

Abbildung 53: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 82,2

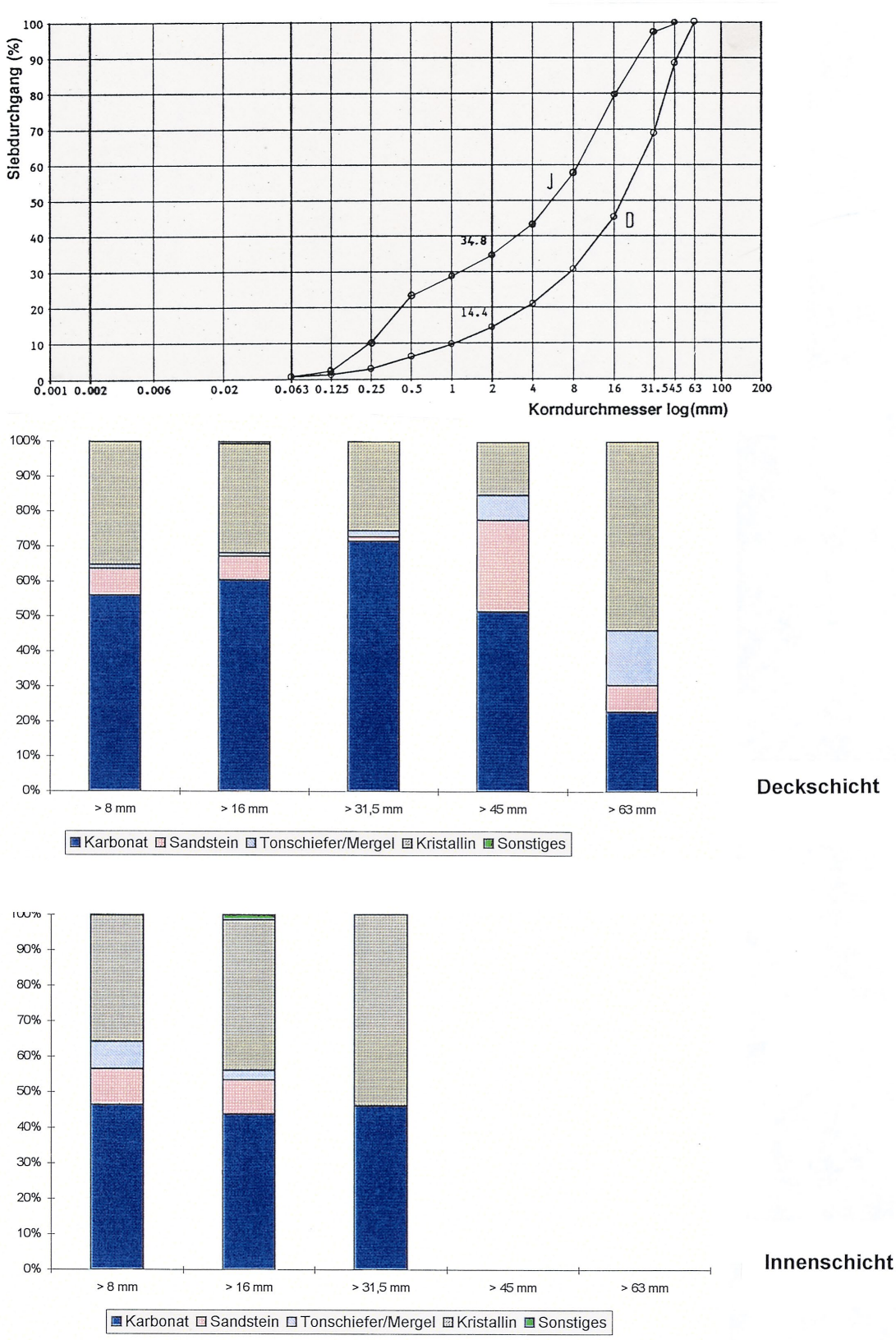
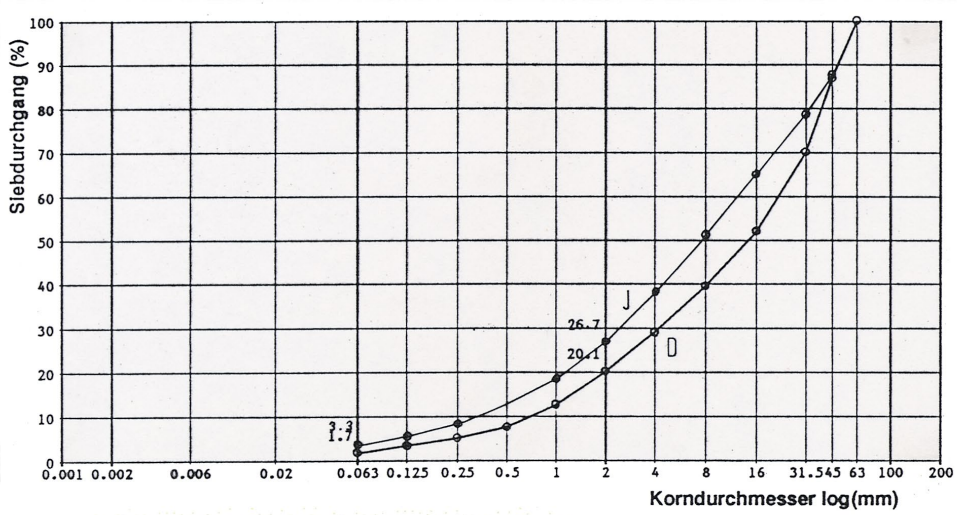
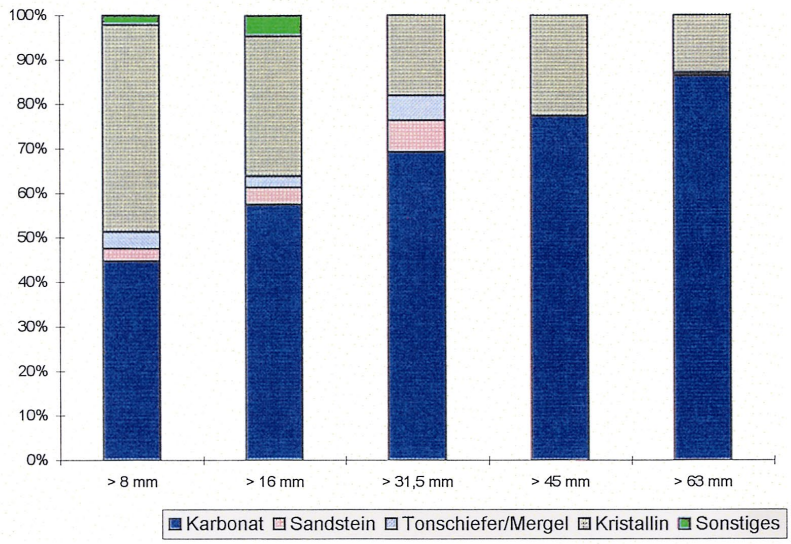
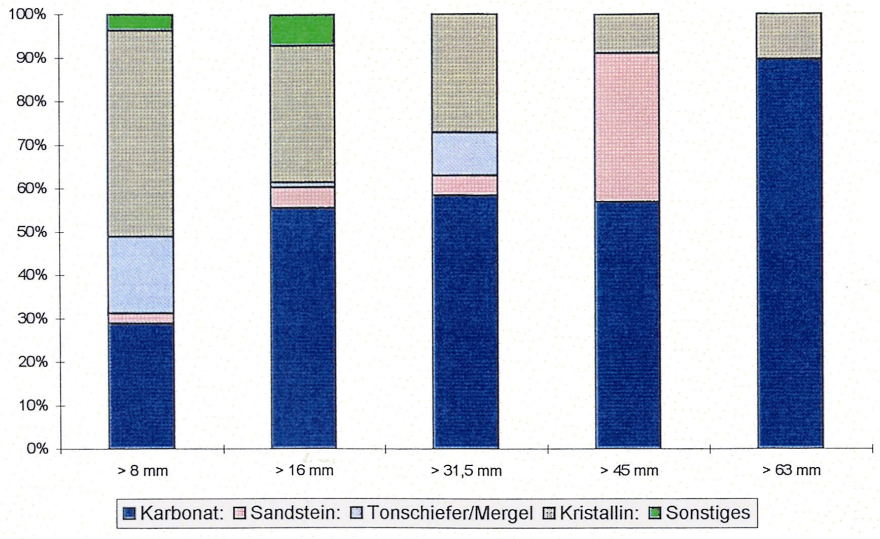


Abbildung 54: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 74,6



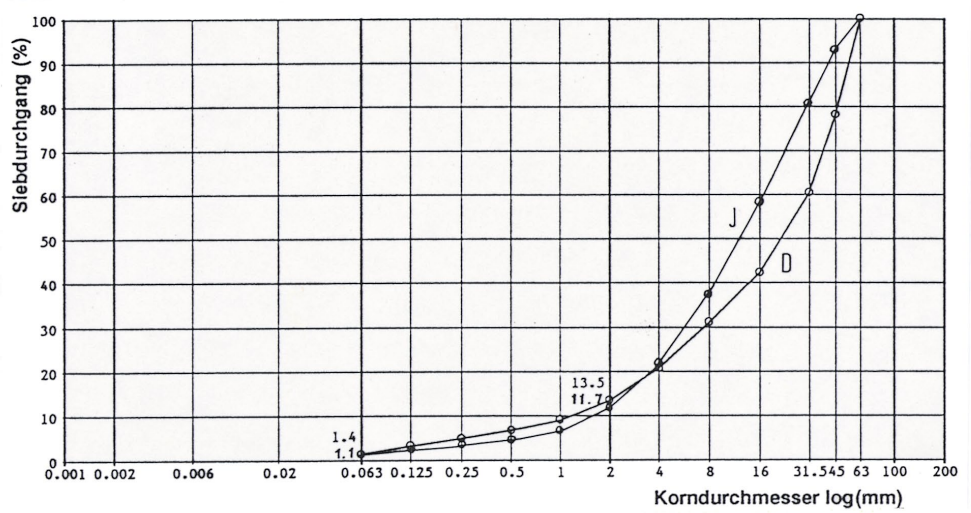


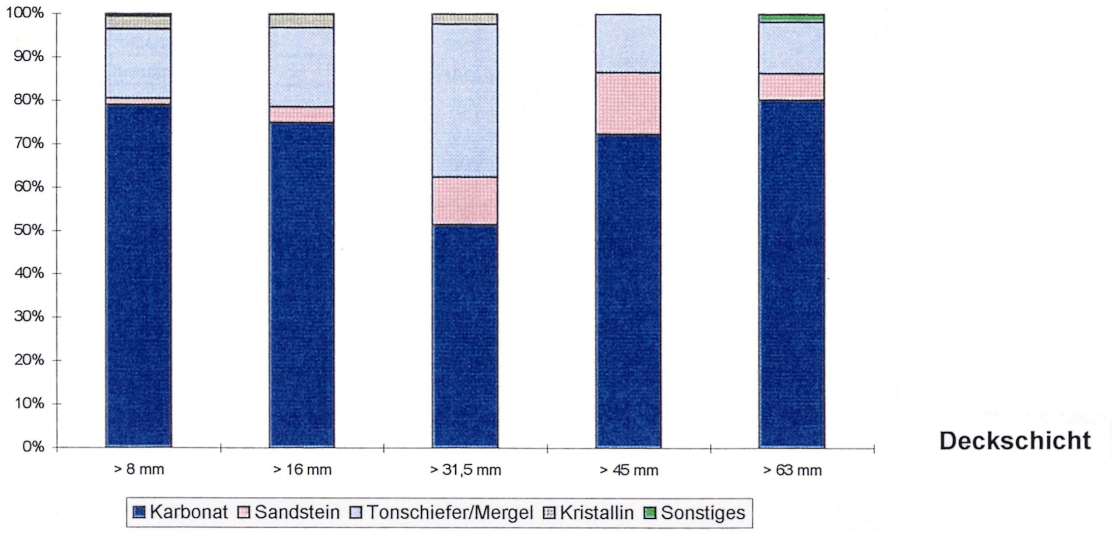
Deckschicht



Innenschicht

Abbildung 55: Kornsummenkurven und Petrografie der Königsee-Ache





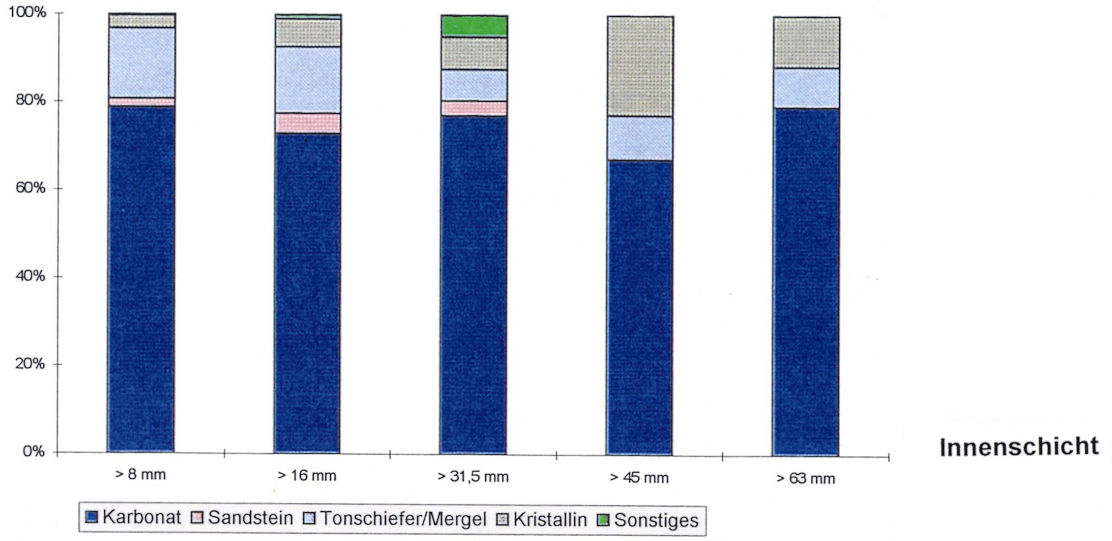


Abbildung 56: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 71,1

Zu Abb. 54 (Fkm 74,6): Die Situation ist ähnlich wie in Abb. 53. Die Deckschicht scheint repräsentativer zu sein als die anscheinend stärker gestörte Innenschicht. Der Sandanteil ist in beiden Schichtgliedern fast gleich groß, der Feinkiesanteil in der Innenschicht ist größer. Petrographisch haben sich die Kalke und Dolomite der Nördlichen Kalkalpen und des Tennengaus durchgesetzt. Erst zum Feinkies hin reichern sich kristalline Gesteinspartikel an; die weiterhin in dieser Gruppe dominierenden Quarze werden kleiner. Die Sedimente der Werfener Schichten treten erst ab mittleren Korngrößen auf. In der Innenschicht schalten sich in die Abfolge Sandsteine und Mergel der Werfener Schichten auffallend schon bei größerem Korn dazwischen. Infolge stärkerer Beimengungen anthropogener Stoffe aus einer Baustelle (1996/97 Sanierung der Unterwasserkolke des KW Urstein mit abgestuften Schottermaterial, Steinsatz und Rampe) macht die Innenschicht einen gestörten Eindruck, während eine scheinbar wenig veränderte Deckschicht sich später darüber entwickelte

Zu Abb. 55 (Königsee-Ache): Deckschicht und Innenschicht dieses rein kalkalpinen Flusses sind nahezu gleich, die Innenschicht hat den etwas geringeren Sandanteil. Da sich auch petrographisch beide Proben gleich verhalten liegt der Schluß nahe, daß die Kiesbank erst vor kurzer Zeit umgelagert wurde und sich noch keine weitere Entwicklung eingestellt hat. Erwartungsgemäß setzen sich die Kalke fast vollständig gegen Tonschiefer und Sandsteine durch, da deren Anteil insgesamt sehr klein ist. Insofern unterscheidet sich das Geschiebe der Königsee-Ache von dem der Taugl und des Klausbaches.

Zu Abb. 56 (Fkm 71,1): Das Geschiebe ist noch eindeutig vom Einzugsgebiet des Klausbaches geprägt, es ähnelt dem der Taugl sehr, einschließlich einer relativen Anreicherung der Mergel, Tonschiefer o.ä. im mittleren Kieskornbereich der Deckschicht. Die Innenschicht ist etwas indifferent; der Kristallinanteil kann von gröberem Moränenschutt stammen. .

Zu Abb. 57 (Fkm 65,25): Bei Abb. 57 (ÖBB-Brücke) ist kein signifikanter Unterschied zu Abb. 56 (Fkm 71,1) festzustellen

Der Gesamteindruck, den die Geschiebeproben vermitteln, läßt das eigentliche Salzachgeschiebe, das noch durch die Enge der Schlucht am Paß Lueg transportiert wird, in der petrographischen Zusammensetzung der untersuchten Strecke als noch einigermaßen selbständig erscheinen (die Korngrößenverteilung sagt hierzu wenig aus). Die seitlichen Zubringer besitzen indessen bereits stärkeren Einfluß im jeweiligen Mündungsbereich. Das Geschiebe an der Lammer- und der Tauglmündung wurde dort und weiter salzachabwärts in erheblichem Umfang gebaggert. Nach Beendigung der Dauerentnahmen dürfte der relative Anteil an Lammer- vor allem aber an Taugl-Geschiebe zunehmen. Daran Anteil hat auch der neuerliche Bau zweier Staustufen bei Bischofshofen, die die Salzach vermehrt von der Zufuhr aus den Zentralalpen abriegeln. Insofern wird sich das Spektrum im Lauf der nächsten Jahrzehnte in Richtung auf die Geschiebezusammensetzung der Flüsse des Tennengaus verschieben, also den Proben von der Taugl- oder der Klausbachmündung gleichen.

Der Einfluß der Seitenflüsse von der Lammer bis zur Königsee-Ache hängt davon ab, ob das in den Staubereich des KW Urstein gelangende Geschiebe dort durch Stauraumspülung wenigstens teilweise in das Unterwasser der Stufe verbracht wird. (vgl. 5.11)

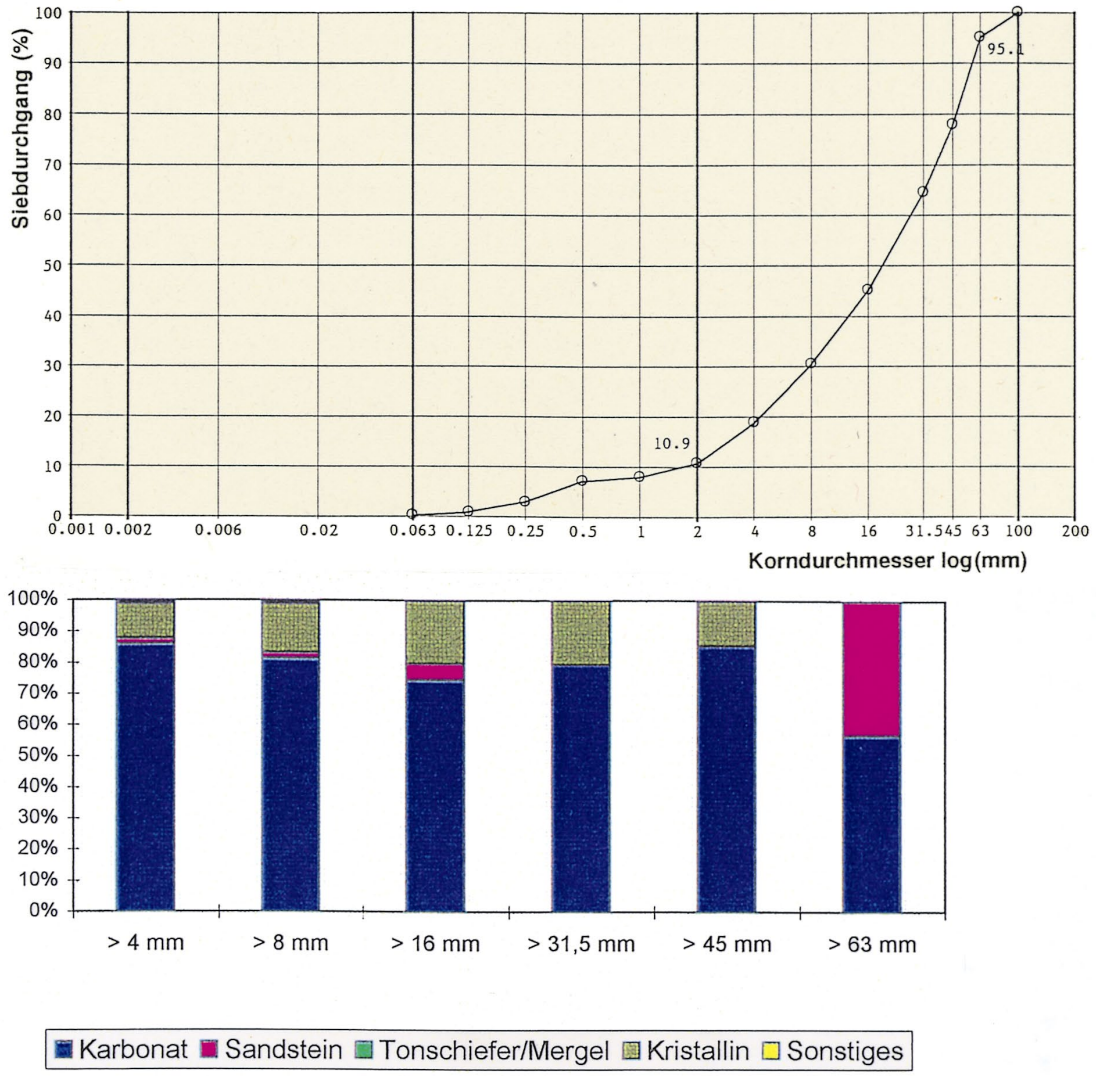


Abbildung 57: Kornsummenkurven und Petrografie bei Fkm 65,25

5.6.5.3 Sedimentologie im Saalachmündungsbereich (Saalach Fkm 2,4 und 0,0)

Korngrößenverteilung: Die Kornanalysen der 1998 nur aus Mischproben gezogenen Proben, die mehr die Innenschicht charakterisieren (das Probematerial ist nicht repräsentativ und wurde in seiner Zusammensetzung im Hinblick auf die Abriebversuche der BfG entnommen) zeigen eine relativ gleichmäßge Verteilung; die Kurven der Proben 1a und 1c sind nahezu identisch. Der durchschnittliche Sandanteil zwischen etwa 1 % und 12 % entspricht auch dem der Salzachproben, offensichtlich ist das Geschiebe selbst unterhalb der Stufe nicht stark entmischt worden. Anders verhält sich das Sediment an der Saalachmündung. Hier liegt ein deutlich schlechter sortiertes Umlagerungsmaterial vor, darauf weist schon der höhere Sandanteil hin bei gleichzeitig verschwindend kleinem Feinkornanteil. Das Material macht den Eindruck eines nicht gleichmäßig transportierten Geschiebes und ist somit mehr oder weniger eindeutig zusammengeschwemmt. Die Probe ist zwar für eine Art „Nischenablagerung" charakteristisch, aber nicht als Flußgeschiebe repräsentativ.

Petrographie: Petrographisch sind die Proben nur schwer eindeutig zu unterscheiden. Die Saalachproben enthalten neben den jeweils sehr ähnlichen Kalk- und Dolomitanteilen geringfügig besser erkennbare Grünschiefer und Augitporphyrite der Kitzbühler Alpen. Der in Probe 1a gefundene Amphibolit entstammt eher als Fernmaterial einer Moräne als den Diabasen der Kitzbühler Berge. Das Umlagerungsmaterial an der Saalachmündung (Saalach Fkm 0,0 = Salzach Fkm 59,3) ist nach der petrographischen Zusammensetzung mehr dem Salzacheinzugsgebiet zuzuordnen. Die Unterschiede liegen hier im Quarzanteil aus den Tauern-Schieferhüllen und im Sandstein der Werfener Schichten. Anhand der Karbonate sind Salzach- und Saalachproben, da sie beide die Nördlichen Kalkalpen in überwiegend Berchtesgadener Fazies durchfließen, kaum zu unterscheiden

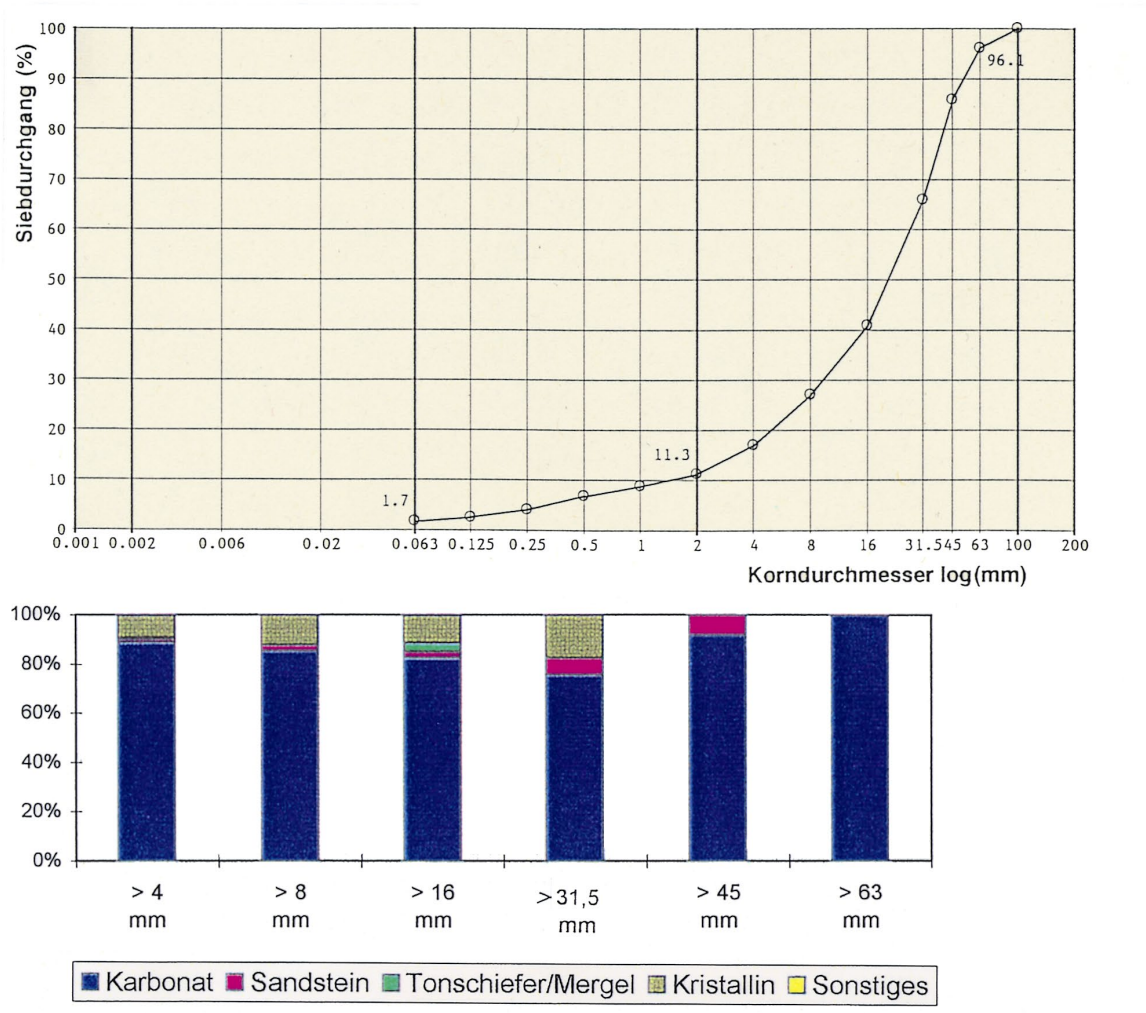


Abbildung 58: Kornsummenkurven und Petrografie bei Saalach Fkm 2,4

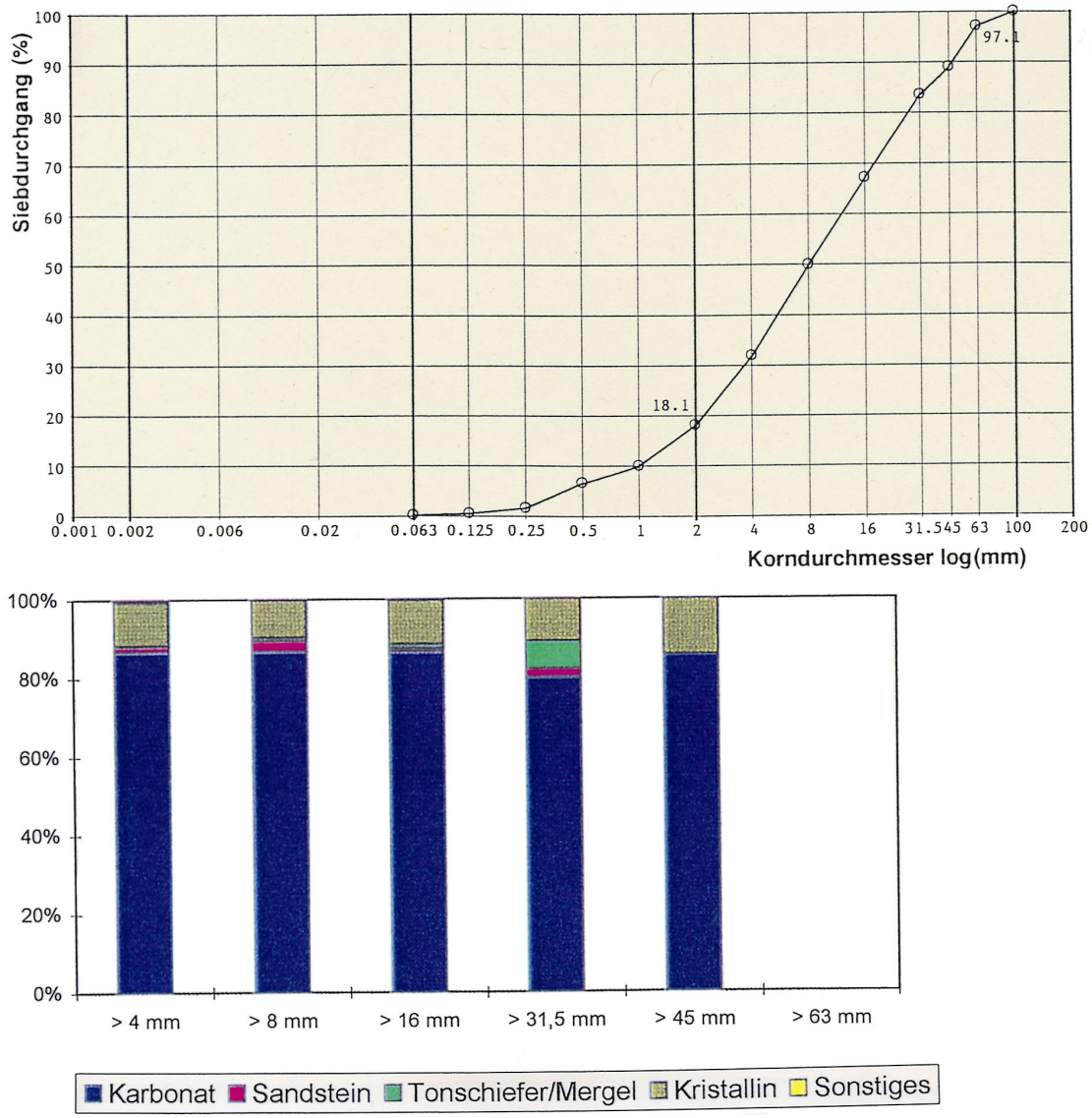


Abbildung 59: Kornsummenkurven und Petrografie bei Saalach Fkm 0,0 (= Salzach Fkm 59,3)

5.6.6 Luminophorenversuch

Wegen der seit Inbetriebnahme der Talsperre Kibling im Jahre 1913 eingetretenen morphologischen Veränderungen der Saalach, vornehmlich durch Querbauwerke, war parallel zur Kieszugabe zu prüfen, wie weit das zugegebene Material überhaupt verfrachtet werden kann, welcher Anteil in die Salzach gelangt und wie lange der Transportvorgang dauert.

Die in der Flußmorphologie üblichen Flußaufnahmen (Querschnittsaufnahmen und Niedrigwasserspiegelaufnahmen bei vergleichbaren Abflüssen) mit einem Profilabstand von 200 Metern erschienen zur Überprüfung des Transportverhaltens der zugegebenen Kiesmenge in der Größenordnung von 10.000 bis 20.000 m^3 als zu grobe und nicht zielführende Methode. Aus der Literatur sind zum Nachweis des Geschiebetransports drei Tracermethoden bekannt, nämlich die Markierung mit radioaktivem Material, die Anfärbemethode mit Lumogenfarbstoff und die Magnettracertechnik.

Bei der radioaktiven Methode ist der Arbeitsaufwand für die Markierung der Kieskörner sehr hoch, da das radioaktive Material erst in eine Bohrung eingebracht werden muß. Ferner konnten im Bereich der Ausleitungsstrecke unterhalb der Talsperre Kibling zusätzliche Probleme mit der kurzen Halbwertzeit des verwendeten radioaktiven Materials auftreten, da damit zu rechnen war, daß bettbildende Abflüsse eventuell längere Zeit nicht eintreten. Wegen der Nähe der Kuranlagen von Bad Reichenhall erschien die Verwendung von radioaktivem Material ohnehin nicht vertretbar. Bei der Magnettracertechnik wird ein Magnetkern ebenfalls in das angebohrte Kieskorn eingebracht, die Messung des Magnetfeldes erfolgt unterstrom an einer mit einer Induktionsspule versehenen Kontrollstelle. Bei der Luminophorenmethode schließlich werden Farbpartikel am Kieskorn angelagert. Die porentiefe Anfärbung erfolgt in einem Zwangsmischer mit Wasserglas als Klebemittel.

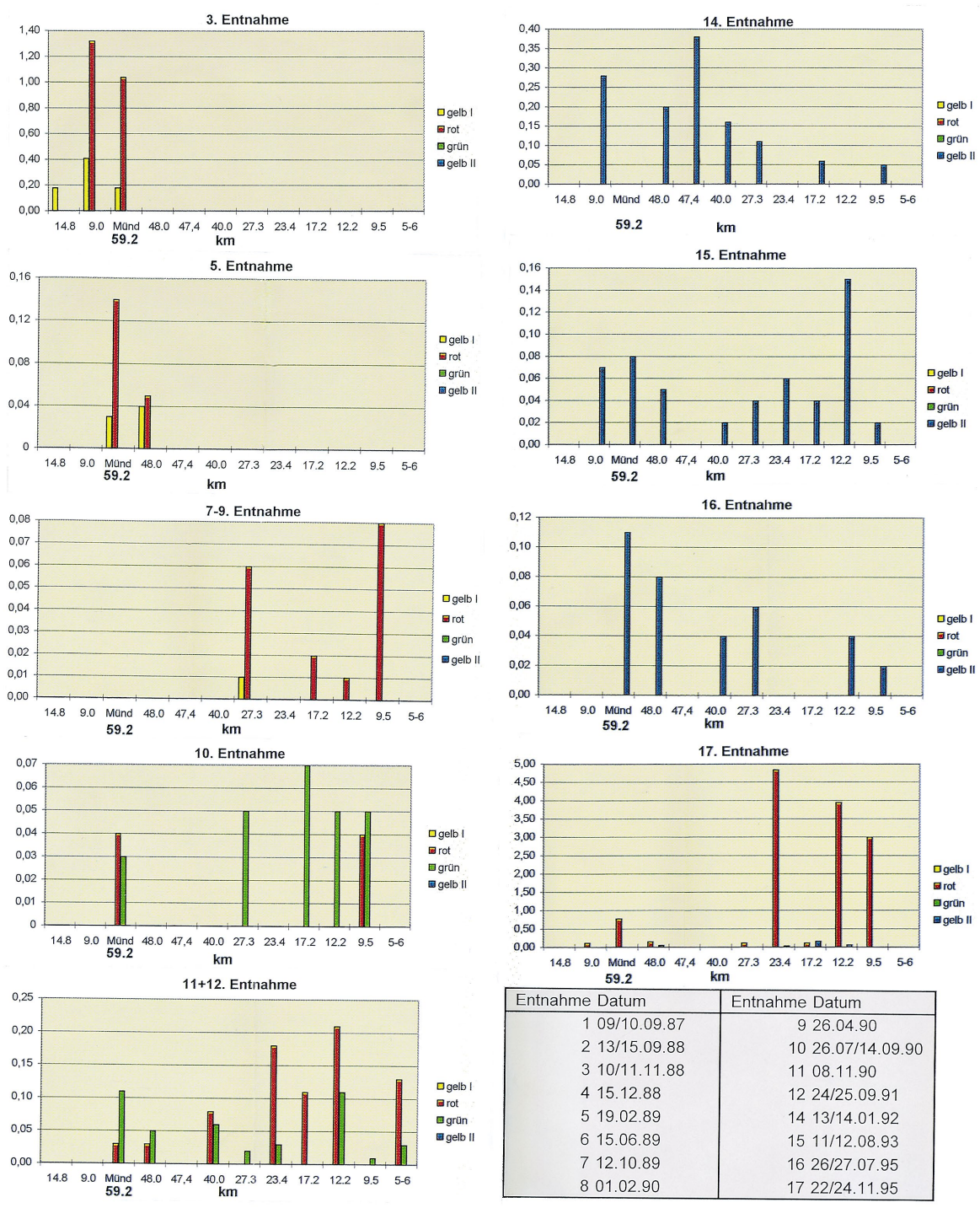
Wegen des hohen Arbeitsaufwands für die Markierung erschienen die radioaktive und die Magnettracermethode weniger geeignet. Nachdem bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) mit der Luminophorenmethode sowohl bei Sandwanderungsversuchen im Küstenbereich als auch bei der Geschiebezugabe am Rhein bereits praktische Erfahrungen vorlagen, erhielt die Anwendung dieser Methode Vorrang.

Der Versuch wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau unter Mitwirkung des WWA Traunstein durchgeführt und vom LfW begleitet. Die Ergebnisse sind in Anlage 24.2 ausführlich dargestellt. Abb. 60 zeigt eine Auswahl der Ergebnisse ab der 3. Entnahme (10./11.11.1988) bis einschließlich der 17. Entnahme (22./24.11.1995). Die Einzelentnahmen sind über den Verdünnungsgrad Vp [%] aufgetragen, der sich wie folgt berechnet:

Vp [%] = 100 [%] * Gewicht der gefundenen Körner [kg] / Gewicht des Auswertungsmaterials [kg]

Die Anfärbung von zunächst 14 t Kontrollmaterial, das aus dem Bereich des bereits eingebauten Kieszugabematerials entnommen wurde, erfolgte im April 1986 mit gelbem Lumogenfarbstoff und Wasserglas als Klebemittel in einem Zwangsmischer. Der Wiedereinbau des angefärbten Materials mit Tieflöffelbagger wurde an der gleichen Stelle Anfang Mai vorgenommen. Wegen des Ausbleibens größerer bettbildender Abflüsse wurde das Material in den ersten beiden Jahren nur bis zum nächsten Wehr bewegt. Nachdem auch bei Probenahmen im September 1987 nach Abflüssen bis 230 m^3/s noch keine markierten Partikel festgestellt werden konnten, wurde an der Einbaustelle nachgegraben. Dabei bestätigte sich die Vermutung, daß das Kontrollmaterial bei Hochwasser überdeckt worden und daher nicht mehr abtragsfähig war. Dieser Störfaktor konnte durch Abschieben der Überdeckung und künftige unterstromige Deponie des Zugabematerials ausgeschaltet werden. Weitere 7 t Markierungsmaterial mit anderem Farbton (rot) wurden zusätzlich im September 1987 unter Umgehung der Ausleitungsstrecke ca. 10 km unterhalb der Talsperre Kibling bei Fkm 9,8 im Unterwasser des Käferhamer Wehrs eingebaut. Erste positive Befunde (gelbes Material) brachten umfangreiche Probenahmen im September 1988 mit einer Transportweite von rd. 700 m. Das Auszählergebnis der Beprobung vom November 1988, die auf die Strecke bis zur Mündung in die Salzach erweitert wurde, ergab eine Verteilung der Fundstellen über die gesamte Strecke. Dabei überwogen die roten Luminophoren wegen der kürzeren Transportstrecke. Die Korngrößen reichten vom Grobkies bis zum Grobsand. Der hauptsächlich in Splitterform aufgefundene Grobkies ist eine Bestätigung dafür, daß das Geschiebekorn beim Transportvorgang nicht nur einer Verkleinerung durch Abrieb, sondern auch einer Zerteilung und Zersplitte-

rung unterliegt. Die nächsten, nunmehr auf die Salzach bis Laufen erweiterten Probenahmen vom Dezember 1988 und Januar 1989 erbrachten, daß inzwischen ein Transportweg von 32 km ab Kibling (gelbe Markierung) und 21 km ab Käferhamer Wehr (rote Luminophoren) erreicht wurde.



Entnahme Datum	Entnahme Datum
1 09/10.09.87	9 26.04.90
2 13/15.09.88	10 26.07/14.09.90
3 10/11.11.88	11 08.11.90
4 15.12.88	12 24/25.09.91
5 19.02.89	14 13/14.01.92
6 15.06.89	15 11/12.08.93
7 12.10.89	16 26/27.07.95
8 01.02.90	17 22/24.11.95

Keine Werte von der 1, 2, 4, 6 und 13 Entnahme

Abbildung 60: Ergebnisse der Einzelentnahmen über den Verdünnungsgrad Vp [%], nach [63] verän-

Die weitere Strategie der Beprobung der Salzach erfolgte schrittweise: Sobald der Befund an der flußabwärts untersten Probenahmestelle positiv war, konnte die Beprobungsstrecke wieder um einige Ki-

lometer flußabwärts bis zur nächsten Kiesbank erweitert werden. So konnte im Bereich von Tittmoning am 12.10.1989 rot sowie gelb eingefärbtes Material aufgefunden werden, die Entnahme im Bereich Burghausen am 01.02.1990 brachte nur rotes Material. Der größte Anteil der aufgefundenen markierten Körner befand sich bei Salzach Fkm 9,2, so daß die nachgewiesene Transportstrecke ab Zugabestelle (Saalach Fkm 10) somit 60 Kilometer beträgt. In den Proben, die an der Stauwurzel der Innstufe Simbach-Braunau (Salzach Fkm 5 bis 6) im Januar 1992 entnommen wurden, konnte rot und grün angefärbtes Kiesmaterial ebenfalls nachgewiesen werden.

Während bisher in erster Linie ein qualitatives Ergebnis erreicht wurde, nämlich der Nachweis des Funktionierens einer Geschiebezugabe und der dabei erreichten maximalen Transportstrecke, wurde bei der weiteren Untersuchung das Ziel verfolgt, die Transportzeit einzugrenzen und die quantitative Seite besser zu belegen. Zu diesem Zweck wurde weiteres Kontrollmaterial mit der Lumogenfarbe grün angefärbt und am 06.06.1990 wiederum bei Saalach Fkm 10 eingebaut. Die volle Mobilisierung des grünen Kontrollmaterials wurde bereits am 26.07.1990 festgestellt, wegen des hohen Wasserstands konnten die Probenahmen erst am 25.09. und 08.11.1990 erfolgen. Diese wurden an den gleichen Stellen wie für das gelb und rot markierte Material durchgeführt, zusätzlich wurde am rechten Salzachufer gegenüber von Laufen beprobt.

Um den Einfluß der bei der Probenahme aufgetretenen unterschiedlichen Massen auszugleichen, wurde bei der Auswertung die Anzahl der aufgefundenen markierten Geschiebekörner durch die Masse der jeweiligen Probe dividiert. Die Auswertung für das grün eingefärbte Kontrollgeschiebe ergab, daß dieses ziemlich gleichmäßig auf die einzelnen Entnahmestellen verteilt ist und daß der Transport durch die 60 km lange Strecke in einer längeren Hochwasserperiode erfolgte. Der Transportweg wurde zwar mit dem gelb bzw. rot markierten Material bereits ermittelt, allerdings unter der Annahme, daß dazu ein wesentlich längerer Zeitraum erforderlich sei.

Ein erster Versuch, das bei der Beprobung wieder aufgefundene markierte Material einer quantitativen Wertung zu unterziehen, erfolgte durch die Bestimmung des Verdünnungsverhältnisses. Das bedeutet, daß das Verhältnis der Masse der in der Einzelprobe gezählten markierten Körner zur Masse der Probe gebildet wird. Das Verdünnungsverhältnis liegt bei der Mehrzahl der Salzachproben im Bereich von 0,02 %. Dieses Output-Ergebnis wurde mit dem Input am Ort der Geschiebezugabe verglichen, und zwar dem Verhältnis der Masse des angefärbten Materials zu derjenigen des Geschiebezugabematerials. Das berechnete Verdünnungsverhältnis liegt ebenfalls bei 0,02 %. Dieses Ergebnis ist jedoch nur für eine grobe Bilanzierung geeignet. Durch das Erreichen des gleichen Verdünnungsverhältnisses bis unterhalb von Burghausen erfolgt ein grober Nachweis, daß das unterhalb der Talsperre Kibling 1985/90 zugegebene Kiesmaterial (rund 13.000 m^3/a) in der Körnung bis zu 100 mm bis in diesen Bereich transportiert wurde.

Zur Vertiefung der Erkenntnisse in quantitativer Hinsicht war noch eine Beprobung in einem engeren Raster notwendig. Dazu wurde im Bereich der linienförmigen Deponie für das Kieszugabematerial unterhalb der Talsperre Kibling im Oktober 1992 weiteres Kontrollmaterial an mehreren Stellen streifenförmig eingebaut. Die Beprobung erfolgte vom 13./14.01.1993. Die Auswertung ergab zahlreiche Funde an den Probenahmestellen oberhalb Staatswehr, Laufen, Lebenau, Tittmoning und Raitenhaslach, wobei das Verdünnungsverhältnis in Fließrichtung nahezu kontinuierlich abnahm. Mit der 16.

Entnahme vom Juli 1994 sollte die Geschiebeuntersuchung eingestellt werden.

Die Auswertung der 14. bis 16. Entnahme dauerte noch an, als sich am 25./26.06.1995 das größte Hochwasser seit 1986 ereignete. Von BAW und LfW wurde darauf hin eine weitere, 17. Entnahme vorgenommen, deren Ergebnis überraschte [63]: „Bei der Auszählung sind ausschließlich Körner mit dem Lumogenfarbstoff „Rot“ gefunden worden. Dabei sprengte die Zahl der gefundenen markierten Körner alle bisher für möglich gehaltenen Werte. ... Nach der Eingabe am 08.09.1987 wurde in den nachfolgenden Entnahmen markiertes Material „Rot“ über die gesamte Strecke verteilt bis zum Durchbruch km 9,2 gefunden und zwar bis zum Zeitpunkt der 13. Entnahme (August 1992). Die nachfolgenden Entnahmen ... erbrachten keine rot markierten Körner. Erst durch das Großereignis des Hochwassers vom 25. - 26. Juni 1995 wurden die roten Tracer vollkommen überraschend wieder sichtbar gemacht. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde davon ausgegangen, daß „Rot“ für die Geschiebeuntersuchungen nicht mehr heranzuziehen ist. Dafür waren 3 Gründe hauptsächlich heranzuziehen:

1. Die Lebensdauer der Luminophoren war nach vorliegenden Erfahrungen mit 3,5 Jahren, allerdings mit Einschränkungen angenommen (s. Gutachten der BAW vom Mai 1992, S. 15 und 16).
2. Es wurde die Annahme vertreten, daß das Material durchgelaufen ist und sich im Stau- bzw. weiter im Inn befindet.
3. Es wurde die Möglichkeit ins Kalkül gezogen, daß das Material Lumogen „Rot“ irgendwo auf der Strecke einsedimentiert und überdeckt wurde.

Als Quintessenz der 17. Entnahme muß es als erwiesen angesehen werden, daß die 3. Annahme wohl der entscheidenden Punkt ist. Die numerischen Werte der bisher ermittelten Verdünnungsgrade Vp lagen selten über 1, i.a. deutlich darunter. ... Die 17. Entnahme ergab eine „flächendeckende“ Verteilung der roten Tracer mit sehr hohem Vp-Wert von 5,14 bei km 20 (Hochöster); 4,0 bei km 12,2 (Burghausen) und 3,03 (Durchbruch). Derartige Werte sind bei keiner Entnahme nicht annähernd erreicht worden. Sie können quantitativ betrachtet signalisieren, daß in diese Bereiche die Hauptmasse des Geschiebes hintransportiert wurde. Die Voraussetzung dieses Ereignisses muß allerdings darin zu suchen sein, daß das Material Lumogen „Rot“ im oberen Bereich „geparkt“ worden ist. Anzunehmen ist ein Bereich noch in der Saalach, wahrscheinlich nur wenig unterhalb der Eingabestelle Saalach-km 9,8. Das bedeutet dann allerdings, daß das Geschiebe innerhalb von ca. 24 Stunden bis maximal weniger Tage bis zu Salzach-km 20 bis 9 en bloc transportiert wurde. Der Transportweg betrug damit 40 – 60 km. Die z.T. sehr frisch wirkenden Körner weisen darauf hin, daß der Transport sehr schonend vor sich gegangen ist, d.h. wahrscheinlich mehr schwimmend als auf der Sohle geschleppt.“

Ein im Zuge der Auswertung von der BAW unternommener Versuch, aus den entnommenen Einzelproben über das Verdünnungsverhältnis die prozentuale Verteilung des Zugabematerials in der Unterlaufstrecke zu bestimmen und daraus auf die dort befindlichen Massen zu schließen, erscheint aufgrund der vorhandenen Kornverteilung, der wenigen beprobten Kiesbänke und der geringen Anzahl der Proben, die zudem sehr unregelmäßig verteilt sind, etwas fragwürdig und daher nicht vertretbar. Mehr Aufschluß über die Weiterverfrachtung geben die aus den Querschnittsaufnahmen 1981 (letzte Aufnahme vor Beginn der Geschiebezugabe), 1986, 1989 und 1992 berechneten mittleren Sohlen und Massensummenlinien der Saalach. Seit der regelmäßigen Geschiebezugabe im Jahre 1986 zeigt der Vergleich der aus den nachfolgenden Aufnahmen 1986, 1989 und 1992 ermittelten mittleren Sohlen eine Abnahme der Eintiefung mit der Tendenz zur leichten Sohlaufhöhung mit Ausnahme der Berei-

che Fkm 15,6 bis 10,5 (Rückstau Käferhamer Wehr) und Fkm 8,05 (Unterwasser Zollhauswehr) bis 0 (Saalachmündung). In letzteren beiden Bereichen schreitet die Eintiefung fort.
Aus den Massensummenlinien der Saalach ist erkennbar, daß die bisherige jährliche Zugabemenge nicht ausreicht, um die fortschreitende Sohlerosion zwischen Zollhauswehr und Saalachmündung wirksam zu mindern, vgl. 5.10.

5.6.7 Geschiebetriebmessungen

BAUER [64] berichtet über relativ erfolgreich verlaufende Geschiebetriebmessungen an der Donau, die in Deutsch-Altenburg durch das Bundesstrombauamt Wien durchgeführt wurden. Von KERSCHBAUMER [6] wurde anläßlich der 8. Flußbautagung in Salzburg 1968 [34] zu Geschiebemessungen an der Salzach bei der Landesgrenze in St. Georgen berichtet. Nach seinen Beobachtungen geschieht der Geschiebetrieb ”wellenförmig”, eine Beobachtung die auch IRNBERGER und MÜHLHOFER nach [64] teilen. In den Jahren 1964 und 1965 wurden von Mai bis September etwa wöchentlich Vollmessungen durchgeführt. Dauermessungen dienten zur Feststellung einer zeitlichen Abhängigkeit des Geschiebetriebs. Mit Kontrollmessungen, bei denen die Absenkdauer ständig variiert wurde, sollte eine Abhängigkeit des spezifischen Geschiebetriebs von der Absenkdauer ermittelt werden. Zu Niedrigwasserzeiten wurde die Grenzwassermenge Q_0, bei deren Überschreitung Geschiebetrieb einsetzt, mit 250 m^3/s gemessen. Bis zu 500 m^3/s konnte gemessen werden. Damit konnte der Bereich der bettbildenden Wassermenge nach SCHAFFERNAK (mittleres Jahr der Reihe 1901/60) mit 375 m^3/s durch den Meßbetrieb erfaßt werden.

Gemessen wurde in 7 oder 8 Meßlotrechten im Abstand von 8 bis 16 m. Die Veränderungen des Meßprofils standen im Zusammenhang mit der Wanderung der Kiesbänke, die im abflußreichen Jahr 1965 besonders intensiv vor sich gingen. Die Streuung der Meßergebnisse war beträchtlich. Trotz sorgfältiger Beobachtung konnten keinerlei klare Zusammenhänge des Meßergebnisses mit irgendwelchen Umständen festgestellt werden, die das Ergebnis hätten beeinflussen können, wie etwa ein Zusammenhang mit dem Steigen oder Fallen des Wasserstandes. Deutlich konnte beobachtet werden, daß der Geschiebetrieb wellenförmig vor sich geht. Bei starkem Geschiebetrieb und dadurch bedingten kurzen Fangdauern zeigte sich dies deutlich durch sehr unterschiedliche Meßergebnisse. Die stark streuenden Meßergebnisse lassen erkennen, daß nur durch eine Unzahl von Messungen, welche sich über mindestens 10 Jahre zu erstrecken hätten, an der Salzach eine einigermaßen genaue Geschiebefunktion errechnet werden könnte.

Die Fangkorbwandungen bestanden aus Drahtgitter mit 4 mm Maschenweite. Somit muß berücksichtigt werden, daß die Geschiebeanteile unter 4 mm zum größten Teil den Fangkorb passieren konnten. Der Anteil an diesem Feinmaterial wurde bei der Berechnung der Geschiebemenge vernachlässigt. Falls das wandernde Geschiebe annähernd die selbe Kornverteilung, wie die aus den Kiesbänken entnommenen Proben aufweist, ist der dadurch entstehende Fehler tatsächlich vernachlässigbar. Probemessungen mit einem in den Fangkorb eingehängten Jutesack blieben ohne Erfolg. Durch den entstehenden Stau wurden sogar die Grobteile abgedrängt und der Jutesack blieb jedesmal leer. So gelang es nicht zu beweisen, daß die Feinteile unter 4 mm nicht doch einen höheren Prozentsatz an der Geschiebefracht ausmachen.

Mit den 30 Ergebnissen der Vollmessungen sind durch Ausgleich 3 Geschiebefunktionen ermittelt worden und zwar je eine aus den Messungen von 1964 und 1965 und eine mittlere aus sämtlichen Ergebnissen. Die Jahresgeschiebefrachten betragen bei Annahme eines Geschieberaumgewichts von 1,72 t/m³ 1964 rund 87.000 m³, 1965 rund 190.000 m³. Für ein mittleres Jahr aus der Reihe 1901/60 konnte die Jahresfracht mit 115.000 m³ ermittelt werden und damit eine befriedigende Übereinstimmung mit der von der Versuchsanstalt für Wasserbau in Wien errechneten Werte.

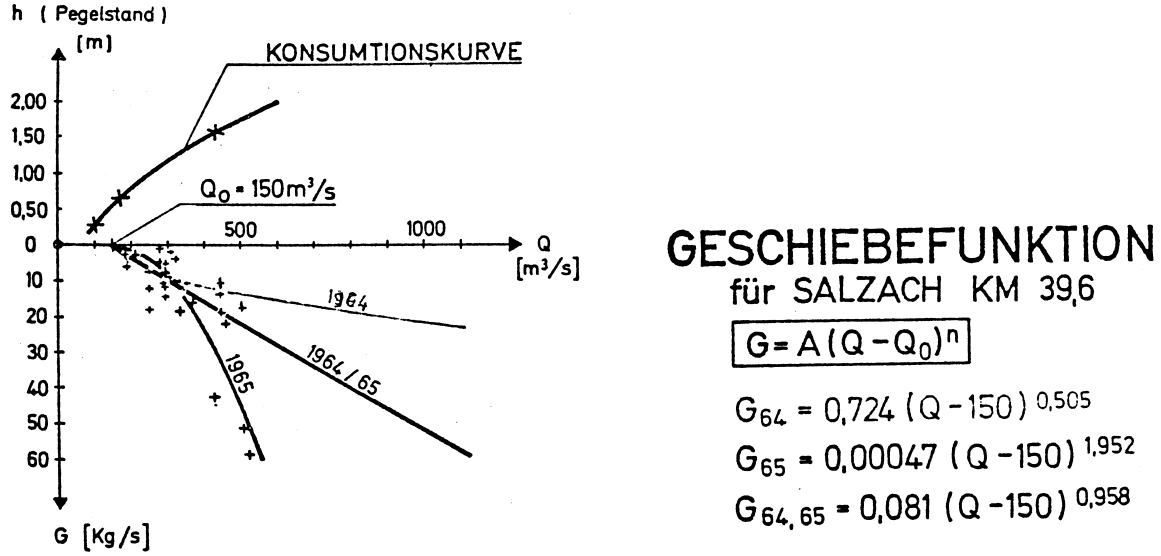


Abbildung 61: Geschiebefunktion der Salzach bei Fkm 39,6; nach [34]

Die Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde hat in Bayern von der Fortführung der 1910 von Kurzmann durchgeführten Fangversuche bisher aus folgenden Gründen abgesehen:

- Die Eichung des Fangkorbs ist problematisch. Die im Fangkorb innerhalb einer Zeitspanne angefallene Geschiebemenge ist nach Gewicht und Zusammensetzung nicht mit dem an dieser Stelle tatsächlichen Geschiebetrieb identisch.
- Die Wirkungsgrade bei Fangkörben schwanken beträchtlich (Vorspannung der Apparate, Fangdauer, Schürfwirkung an der Unterkante des Fanggerätes).
- Wenn der Fangkorb durch seine Stauwirkung den Geschiebetrieb nicht zu stark stören soll, muß dieser mit durchlässigen Wänden versehen sein. Damit werden jedoch die feineren Fraktionen ausgespült. Darauf ist es wohl hauptsächlich zurückzuführen, daß die von Kurzmann aus Fangergebnissen an der Tiroler Achen abgeleiteten 79.000 m³/a der Jahresreihe 1909-13 wesentlich hinter den im Chiemsee festgestellten Ablagerungen des gleichen Zeitraumes von 130.000 m³/a zurückbleiben.

An der Seilkrananlage am Pegel Laufen bei Fkm 47,07 wurden bisher 5 Geschiebetriebmessungen durchgeführt (25.05.92, 14./15.07.92, 24.03.93 und 22.07.93). Die Messung am 22.07.93 wurde mit vergrößertem Fänger durchgeführt und ist als Meßwert ggf. auszuschließen. Die am 14./15.07.92 durchgeführten Messungen zeigen einen großen Unterschied im Ergebnis. Bei Q > 600 m³/s kann der Geschiebefänger nicht mehr ausgefahren werden, da die Seilkrananlage des Pegels diesen Belastungen nicht gewachsen ist. Die für eine Transportkurve so wichtigen Geschiebetriebmessungen bei größeren

Abflüssen sind mit der bestehenden Pegeleinrichtung nicht möglich.

Alle gefangenen Proben wurden mittels Siebanalyse ausgewertet. Neben den schon genannten baulichen Unzulänglichkeiten der Pegelanlage gibt es aber noch eine Reihe weiterer fachlicher Gründe, die den Schluß nahelegen, von weiteren Geschiebetriebmessungen in der Laufener Enge abzusehen:

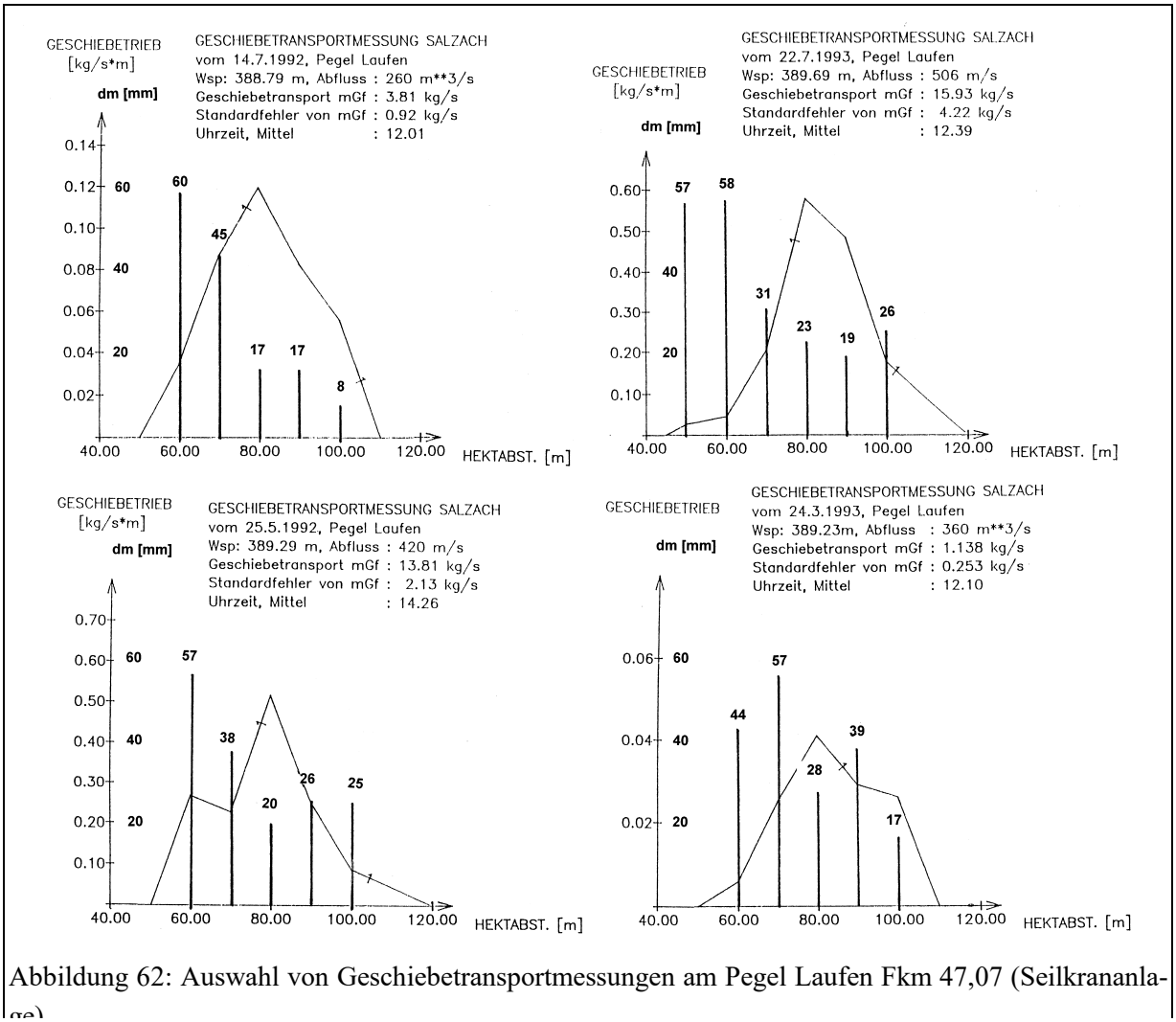


Abbildung 62: Auswahl von Geschiebetransportmessungen am Pegel Laufen Fkm 47,07 (Seilkrananlage)

- Die Hüllkurven der Wasserstands-Abfluß-Beziehungen (Q-h-Beziehung) am Pegel Laufen haben im Vergleich zum Pegel Burghausen eine relativ große Streuung. Die Definition einer eindeutigen Q-h-Beziehung ist für den Pegel Laufen schwieriger als für den Pegel Burghausen.
- Die Sohlformen oberstrom und im Bereich der Krananlage wechseln häufig.
- Die Gründe für die häufig wechselnden Sohlformen und den Streubereich der Hüllkurven sind im wesentlichen in der Lage des Pegels in einer Durchbruchstrecke begründet. Der Pegel liegt zwischen starken Krümmungen, die mehrdimensionale Strömungsmuster hervorrufen, schräge Wasserspiegel verursachen (vgl. Abb. 63) und sich einer genaueren eindimensionalen Betrachtung entziehen.
- Die Laufener Enge kann als eine Art ”Düse” betrachtet werden, die Auswirkungen des Freilassinger Beckens nach unterstrom reguliert. Die Laufener Enge weist eine Eintiefungstendenz auf, die jedoch Schwankungen unterworfen ist.

- Als eine Überlagerung der bisher genannten Einflüsse ist die Beobachtung zu werten, daß in Abhängigkeit vom Abfluß der Geschiebetransport über variable Profilbreiten stattfindet (s. Abb. 62).
- Im Bereich des Laufener Durchbruchs dürfte über die Breite gesehen mit wechselnden Sohlrauhigkeiten zu rechnen sein. Uferversteilungen, verfestigte Konglomerate und sandsteinartige Schichten wechseln über die Flußbreite und Querschnittshöhe. Hinzu kommen Kiesbänke in stark wechselnder Zusammensetzung. Über den Querschnitt betrachtet wechselt die Rauhigkeit in Streifen. Diese unterschiedlichen Rauhigkeiten bewirken Sekundärströmungen (Walzen, die spiralförmig in Längsrichtung wandern), die die Sediment-, Transport- und Sohlstruktur erheblich beeinflussen.
- Da die Transportbreite ebenfalls abflußabhängig ist, dürfte es rechnerisch schwierig sein, ein in sich geschlossenes plausibles Konzept zur Beschreibung der morphologischen Vorgänge zu entwickeln.

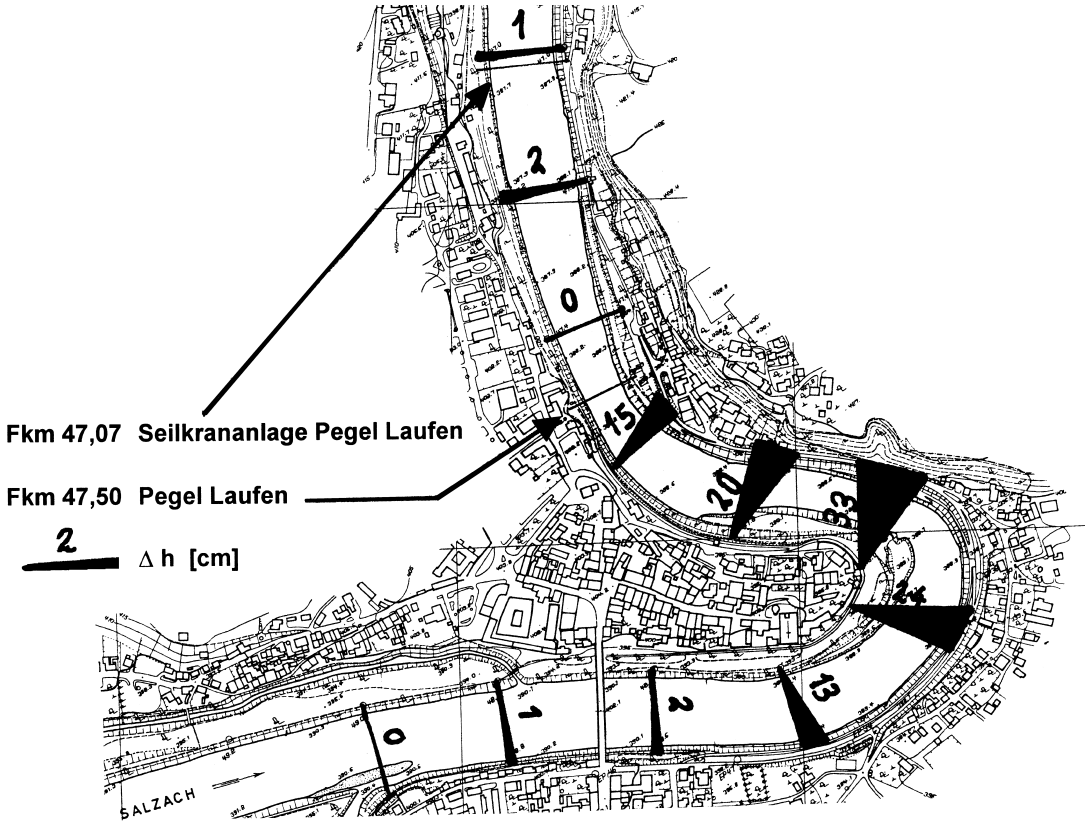


Abbildung 63: Laufener Enge mit Differenzen der beidseitigen Wasserspiegelfestlegung vom 05.05.1994

Nachfolgend wird versucht, die bisher erfolgten 5 Messungen zu charakterisieren.

Der Bewegungsbeginn Q_B liegt im Bereich von 210 bis 240 m^3/s, der größte gemessene Geschiebetransport mit ca. 20 kg/s bei ca. 580 m^3/s. Die transportwirksame Breite B_S ist stark vom Abfluß abhängig. Je höher der Abfluß, desto mehr nimmt die transportwirksame Breite zu. Der Geschiebetransport tritt schubweise auf. Das bestätigen auch die gemessenen, stark schwankenden Transportintensitäten und Kornverteilungen. Bei jeder Transportmessung ergab sich, daß links die groben und rechts die feineren Sieblinien auftreten. Dies hängt wohl unmittelbar mit den oberstromigen Profilen zusammen, die einen keilförmigen Querschnitt aufweisen mit einem Maximalkolk auf der linken Seite. Bei größe-

rer Tiefe können links entlang des Stromstriches gröbere Fraktionen transportiert werden, als im rechten Bereich mit geringerer Wassertiefe.

Der aus den Geschiebetriebmessungen berechnete d_m liegt in der Größenordnung zwischen Kiesbankinnerem und Deckschicht von Kiesbankproben, welche im Abschnitt 2 aus Kiesbänken entnommen wurden, s. Tab. 20:

Geschiebetransportmessung Seilkrananlage Laufen, Korngrößen im Vergleich **Tabelle 20**

charakteristische Korndurchmesser	d_{30} [mm]	d_m [mm]	d_{90} [mm]
Kiesbankinneres Abschnitt 2 [1)]	10,5	27,3	62,2
Geschiebefänger Seilkrananlage	20,3	35,7	71,1
Deckschicht der Kiesbank Abschnitt 2 [1)]	(nicht ausgewertet)	43,8	77,3

[1)] ohne Kiesbankproben 1996 des ASLR

Für die relativ groben d_m-Werte der Geschiebetransportmessungen können eine Reihe von Gründen vorliegen. Zum einen sind die Fangkorbproben grundsätzlich als gestörte Proben zu betrachten:

- Schürfen des Fängers durch Grundberührung,
- feinere Fraktionen werden nicht im Fangkorb zurückgehalten (Auswaschen von Feinmaterial),
- teilweises Ausschütten des Materials beim Hochziehen.

Eine weitere, eher spekulative Deutung, bietet die hydraulische Wirkung der Laufener Enge. Der durch die Laufener Enge gebündelte Stromstrich könnte bewirken, daß bevorzugt grobe Fraktionen vom Fluß aufgenommen und transportiert werden. Gestützt wird diese These zwar durch die Tatsache, daß die Kiesbankproben im oberen Drittel des Tittmoninger Beckens (Abschnitt 3a) eine relativ grobe Sieblinien aufweisen (erste Ablagerungsmöglichkeit für Grobgeschiebe nach der Enge), dies kann aber auch mit den geologischen Verhältnissen erklärt werden (in diesem Bereich steht kaum sandiges Quartär an). Eine Kornvergröberung könnte aber auch mit den Nachwirkungen von Kiesentnahmen im Laufener Durchbruch in Zusammenhang stehen, welche nach Kriegsende begannen und erst 1981 eingestellt wurden.

5.6.8 Überschlägige Ermittlung von Korngrößen aus Geschiebefrachtberechnungen

Für die Geschiebetransportsimulation sollte der Geschiebeeintrag hinsichtlich Menge und Kornzusammensetzung möglichst genau quantifiziert werden. Das KW Urstein liegt rd. 15 km oberhalb der Untersuchungsstrecke. Zahlreiche Profilaufnahmen, die von der SAFE zu Massenbilanzen verarbeitet wurden und eine genaue Dokumentation der Spülzeiten ermöglichen ansatzweise eine Rückrechnung charakteristischer Korngrößen aus Geschiebefrachtberechnungen.

Für den Abschnitt Fkm 75,0 bis 82,88 liegen aus den 60er Jahren Geschiebeproben in ausreichender Zahl vor, andererseits zeigen 6 von 7 Entnahmen vom November 1989 vorwiegend sandig-schluffiges Material im Bereich Fkm 75,3 bis 79,3. Durch den Stauraum des KW Urstein werden pro Spülung ca. 400.000 bis 800.000 m^3 Feststoffe getriftet, deren genaue Zusammensetzung aber nicht bekannt ist.

Von FLÖGL [31] wird der Geschiebeanteil an der Feststofffracht als gering eingestuft.

Mittels der Geschiebetransportformeln des Vorprüfungsverfahrens (vgl. 5.11) wurde versucht, die Größenordnung der bewegten Feststoffe zu ermitteln [65]. Die Massenbilanz der SAFE ergab im Zeitraum April bis November 1995 eine gespülte Feststoffmenge von ca. 500.000 m^3. In der Zeit vom 29.05-04.06 und 25.-29.06 wurde der Stau des KW Urstein gelegt. Für die Berechnung wurden vereinfachende Annahmen zum Strickler-Beiwert k_{St}, das Energieliniengefälle (0,8 ‰), die bewegte Sohlbreite (Bandbreite 46-69 m) und die Profilgeometrie (Trapezprofil mit ebner Sohle, Böschungsneigung m = 1:2) getroffen.

Lediglich zwei der verwendeten Geschiebeformeln lieferten plausible Werte, bzw. sind für den rückgerechneten d_m-Wert im Grobsandbereich brauchbar. Nach VOLLMERS-PERNECKER (Gesamttransportformel mit Differenzterm) ergibt sich ein d_m in der Größenordnung von 0,7 bis 0,8 mm, nach ENGELUND-HANSEN ein d_m in der Größenordnung von 3,1 bis 3,6 mm.

Diese Grobabschätzung bestätigt einerseits die Einschätzung, daß der Geschiebeeintrag aus dem Stauraum Urstein in die Unterliegerstrecke derzeit vernachlässigbar gering ist, andererseits kann gezeigt werden, daß Kiesbankproben vergangener Jahrzehnte wenig Aussagekraft besitzen, wenn die Mächtigkeit der Kiesauflage inzwischen zu gering geworden ist und/oder zur Gänze fehlt und nun leicht zu mobilisierende Sedimente den Feststofftransport dominieren.

Im Zuge der Saalachstudie ist im Bereich des KW Rott-Freilassing eine Analyse der Geschiebetrift und Korngrößen aus Geschiebefrachtberechnungen angedacht.

5.7 Flußbettgestaltung und -entwicklung

5.7.1 Allgemeines und historischer Überblick

Von der Expertengruppe Ökologie der WRS ist als gewässerökologisches Leitbild der Zustand des Flusses im Jahr 1817 definiert worden: „Natürliche Flußlandschaft Untere Salzach vor Beginn der Korrektionsmaßnahmen, wie sie der Kartengrundlage von 1817 zu entnehmen ist“ [66].

Diese Definition entspricht der Forderung der im Entwurf vorliegenden EU-Wasserrahmenrichtlinie (EUWRRL, [67]), die unter Punkt 1.2.1 bei den hydromorphologischen Qualitätskomponenten die Kontinuität eines Flusses festlegt: „Die Kontinuität des Flusses wird nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine ungestörte Migration aquatischer Organismen und Transport von Sedimenten“. Bei beiden Definitionen sind aber gewisse Einschränkungen in Bezug auf den Salzachzustand 1817 notwendig:

- Zum Einen liegen zwar detaillierte Karten und Lagepläne des Flußlaufes vor, die zur Beurteilung ökologischer Belange genügen (z.B. Anlage 16); sie reichen aber für fundierte flußmorphologische Aussagen nicht aus, da u.a. Längsschnitte und Querprofilaufnahmen aus der Zeit vor der Korrektion fehlen. Die ersten Unterlagen dieser Art datieren in die erste Korrektionsphase (vgl. Anlage 14).
- Zum Anderen war um 1817 kaum ein größerer mitteleuropäischer Fluss mehr gänzlich unberührt. Die Begriffe „nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört“, „nicht gestört“, allgemein „unbelastet“ oder „unberührt“ sind durch damals bereits existierende direkte Eingriffe am Fluß oder indirekte Eingriffe im Einzugsgebiet einzuschränken. Immerhin wurde aber bis zum Errichten der ersten großen Querbauwerke die Forderung nach der Durchgängigkeit für aquatische Organismen erfüllt. Insofern ist auch beim Zustand der Unteren Salzach um 1817 die Kontinuität des Flusses gegeben.
- Zur Kontinuität gehört auch die „nicht gestörte“ Sedimentbeweglichkeit, die in Zusammensetzung und Transport bereits im „unberührten“ Zustand großen Schwankungen unterliegt. Querbauwerke können die Geschiebedurchgängigkeit entscheidend einschränken, aber auch bei einer unbehinderten Sedimentbeweglichkeit sind große Änderungen im Geschiebehaushalt möglich.
- Die Talräume von Flüssen waren kulturgeschichtlich schon immer bevorzugte Siedlungsräume des Menschen. Flüsse mit geeigneter Wasserführung waren als Verkehrswege von großer Bedeutung.

Zahlreiche Aktivitäten der Bewohner zielten auf die Nutzbarmachung und Verbesserung dieser Lebensumstände im und am Fluß ab.

- Neben den menschlichen Eingriffen verursachen auch natürliche Störungen eine Unterbrechung der Kontinuität, wie z.B. ein Wasserfall, See, Felsschwelle, Bergsturz oder eine Mure. Die Entstehung bzw. Beseitigung natürlicher Störungen vollzieht sich meist in geologischen Zeiträumen von Jahrtausenden bis Jahrmillionen, von Fall zu Fall sind aber auch kürzere Zeiträume oder plötzliche Ereignisse entscheidend prägend.
- Der Begriff „Kontinuität" beinhaltet in sich keine zeitliche Festlegung, wird aber i.d.R. mit ökologisch-geomorphologischen Modellvorstellungen verknüpft, die einen Bezug von räumlicher Erstreckung und Zeitrahmen herstellen.

Im folgenden soll versucht werden, den flußmorphologischen Zustand der Unteren Salzach von 1817 zu beschreiben. Vieles bleibt hierbei zwangsläufig Annahme und Schätzung. Dabei ist das gesamte Salzacheinzugsgebiet in seiner Entwicklung als Raum-Zeit-System zu betrachten. Unter Bezug auf 3.7 werden folgende Einteilungen vorgeschlagen:

- Die Haupteinheiten Obere, Mittlere und Untere Salzach werden als Gewässerabschnitte definiert; sie haben, geomorphologisch gesehen, längere Reaktionszeiten auf Störungen und Einflüsse, etwa zwischen 100 Jahren und 1000 Jahren, reagieren aber dann nachhaltig und oft irreversibel.
- Die Beckenlandschaften und Durchbruchstrecken der Unteren Salzach werden als Gewässerstrecken definiert, wobei vom Menschen geschaffene Zäsuren (Bereiche mit Querbauwerken sind Zäsuren für die Kontinuität) zusätzlich als neu geschaffene Gewässerstrecken interpretiert werden. Sie können in kürzeren Zeiträumen reagieren und teilweise sind die Änderungen reversibel.

In einem ersten Schritt wird der Zustand 1817 als anthropogen überlagerter Zustand darzustellen sein. Hierzu dienen die historischen Überlieferungen. Sie zeigen auch, zumindest in der Größenordnung, Änderungen im Geschiebehaushalt nach anthropogenen und nicht anthropogenen Ursachen auf.

Zunächst soll ein Blick auf die Besiedelungsgeschichte und deren Nutzungsfolgen geworfen werden. Im Pinzgau (Obere Salzach) entstanden um 2200 v.Chr. in der älteren Bronzezeit die ersten Siedlungen auf den Schwemmkegeln der Seitenbäche. Um 1000 v.Chr. war der Pinzgau relativ am dichtesten besiedelt. Durch den rückläufigen Bergbau in der Hallstattzeit (1200-500 v.Chr) gingen die Siedlungen wieder etwas zurück. Um 500 v.Chr. erfolgte eine Wiederbesiedelung durch die Kelten, die sich gerne in der Nähe von Flüssen oder Flußmündungen niederließen [69]. Im 13. Jahrhundert erfaßte die Obere Salzach eine zweite Besiedelungswelle. Im 15. Jahrhundert führte der Handel mit Nachbarländern zum systematischen Ausbau der Verbindungswege durch Lungau, Pongau und Pinzgau. Die Flößerei im Pinzgau wird nach [69] mit der Zeit der großen Abholzungen an den Seitenhängen und Zubringern in Verbindung gebracht. Im 16. Jahrhundert setzten erste Regulierungsmaßnahmen an der Oberen Salzach und im Bereich zwischen Hallein und Tittmoning ein, [38], [41] und [69]. Nach mehreren großen Überschwemmungen und verheerenden Wasserfluten (1570 und 1598, vgl. Tab. 10) gaben die Bauern an der Oberen Salzach den Kampf gegen die Salzach auf und ließen einen großen Teil versumpfen. Die Salzach verwandelte innerhalb von 100 bis 200 Jahren die fruchtbarsten Böden, auf denen nachweislich im 16. Jahrhundert an vielen Stellen Getreide angebaut worden war, in unfruchtbares Sumpfland. Große Arealverluste, Sümpfe („Lachen") und eine Art Malaria („Pinzgauer Sumpffieber") waren die Folge, insbesondere drohte gegen Ende des 16. Jahrhunderts große Gefahr, als die Salzach infolge der rasch voranschreitenden Verlandung in Richtung Zeller See in das Tal der Saalach auszu-

brechen drohte (Das Hochwasser von 1598 ließ die Salzach in den Zeller See ausbrechen). Um dies zu verhindern wurde zwischen Bruck und Bleiberg ein befahrbarer Damm errichtet, die sog. „Hochstraße“.

Die intensive Rodung der Wälder steht zeitlich im engen Zusammenhang mit den größten historisch belegbaren Hochwässern in Burghausen, vgl. Tab. 10. Bemerkenswert ist ferner die schon in 5.2 zitierte Aussage [43], daß sich bei Hinzufügen der fünf historischen Ereignisse der Jahre 1570-1827 zur Beobachtungsreihe 1827-1989 „eine andere Größenordnung auftut“. Inwieweit Ereignisse oberhalb der Saalachmündung Geschiebeführung und Wasserstände der Unteren Salzach beeinflußten ist schwer zu beurteilen, immerhin kann Abb. 64 einen Eindruck hinsichtlich einiger Extremwasserstände aus historischer Zeit im Vergleich zu heute vermitteln. Der Hochwasserstand von 1598 ist durch eine Hochwassermarke von Schloß Triebenbach belegt, die in etwa Fkm 52,4 bis 52,5 zugeordnet werden kann. Für das Hochwasser von 1899 existieren Längsschnitte; alle neueren Hochwässer sind durch Wasserspiegelfestlegungen dokumentiert. Unterstellt man ferner, daß die Sohllage 1817 mindestens der von 1920 entspricht (bzw. unbedeutend = bis zu 1 m höher lag), so kann man die enormen Wassermengen erahnen, die seinerzeit die Becken von Freilassing und Tittmoning aufzunehmen hatten. Im Bereich Fkm 54 bis 52 lag das Hochwasser von 1920 z.T. knapp 1 m über dem Hochwasser von 1899.

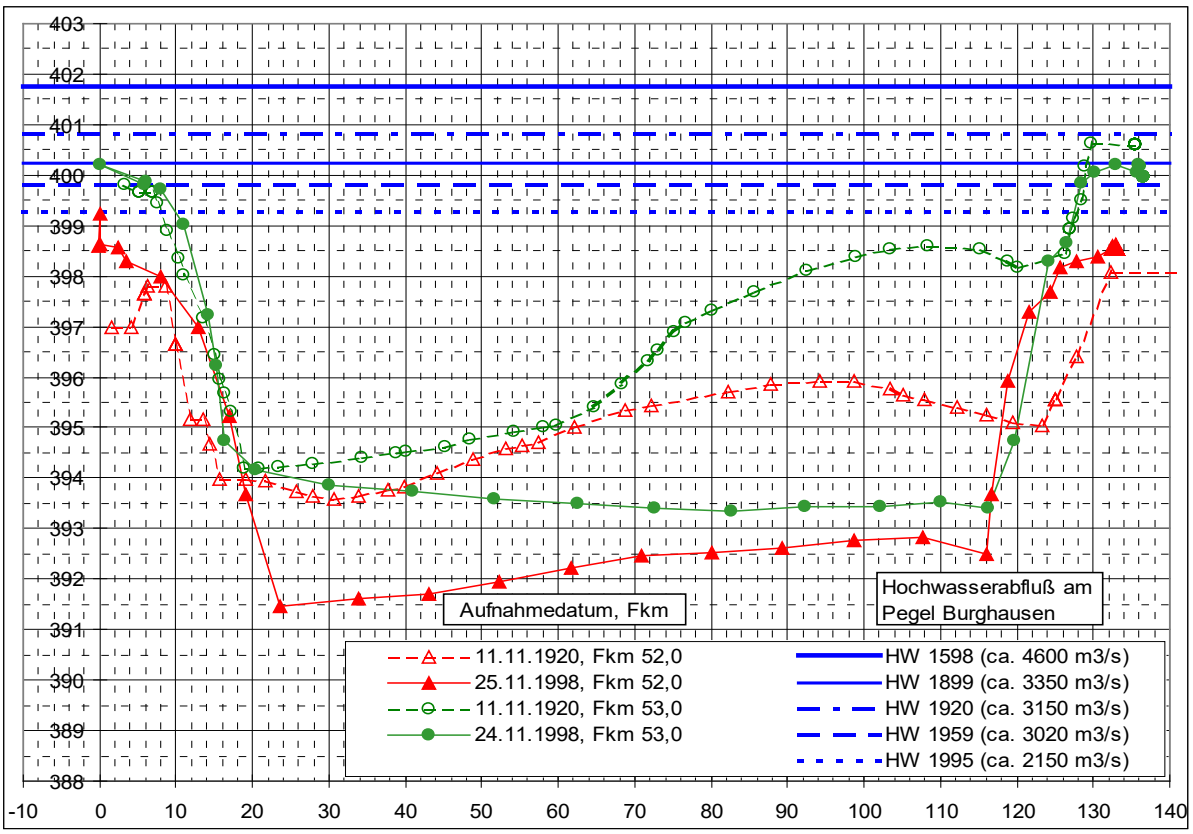


Abbildung 64: Hochwasserstände ca. bei Fkm 52,4 und Salzachprofile Fkm 52,0 und 53,0

Die intensiven Holzfällungen seit dem frühen Mittelalter hatten mehrere Ursachen, die sich z.T. gegenseitig verstärkten:

- Zweite Siedlungswelle im 13. Jahrhundert, in der Folge: Verbesserung der Infrastruktur (bevorzugte Verwendung als Baumaterial).

- Intensivierung des Salinenwesens seit dem frühen Mittelalter (Brennholzbedarf, Stollenbau).
- Große Bedeutung des Hüttenwesens im Mittelalter (Brennholzbedarf, Stollenbau).
- Zunehmender Holzbedarf der Schiffahrt (Schiffbau und Flußregulierung) zur Deckung des wachsenden Holzbedarfes von Salinen- und Hüttenwesen.

Das Ausmaß der Holzfällungen und deren Folgen auf Wasser- und Geschiebehaushalt soll anhand einiger Literaturbeispiele verdeutlicht werden: „Noch im 13. Jahrhundert, als dichte Wälder die Bergabhänge bedeckten, schienen erträgliche Verhältnisse geherrscht zu haben. Mit der wachsenden Besiedlung des Landes und mit der zunehmenden Intensivierung der Salinen- und Hüttenbetriebe, die ihren großen Holzbedarf meist aus den Wäldern des Oberpinzgaus deckten, ging eine zunehmende Entblößung des Waldbodens Hand in Hand. So wurde die durch die Vegetationsdecke beruhigte Denudation neuerlich angefacht. Die als Gegenmaßregel eingeleiteten primitiven und meist gänzlich unwirksamen Verbauungsversuche führten aber, wegen des ungeheueren Werkholzbedarfes, zu neuerlichen Verwüstungen der Wälder und beschleunigten nur die sich anbahnenden verderblichen Folgen des unausgesetzten Raubbaus. ... Am schlimmsten scheinen sich die Verhältnisse um die Wende des 18. Jahrhunderts (Anm.: um 1800) gestaltet zu haben. Der Talboden drohte allmählich unter den Wasser- und Schlammfluten zu versinken“ [48]. Der Niedergang der Salzachschiffahrt gegen Ende des 19. Jahrhunderts war nach [48] „umso leichter zu verschmerzen, weil die Schiffahrt durch ihren ungeheuren Brennholzverbrauch – alljährlich 50000 der schönsten Stämme – zur Verwüstung der Wälder wesentlich beitrug.“

Die erste urkundlich vermerkte größere Überschwemmung des Oberpinzgaus datiert auf den 17.07.1281. In der Dorfchronik von Mittersill (zitiert nach [41]) ist nachzulesen: „Rigorose Holzschlägerungen (Anm.: Holzfällungen) während der 2. Siedlungswelle im 13. Jahrhundert steigerten die Geschiebeführung der Seitenbäche so stark, daß die Salzach die ihr zugeführten Schuttmassen nicht mehr verfrachten konnte. Der frühneuzeitliche Bergbau hat zu einem weiteren gewaltigen Eingriff in die Substanz der Wälder geführt. Besonders das Sieden der Salzsohle in Hallein verschlang enorme Holzmengen.“

Auch an der Unteren Salzach bereitete die Auflandung der Sohle gravierende Probleme. In einer Stellungnahme von HAGENAUER & BRÜGEL aus dem Jahre 1820 (zitiert nach [41]) wird die negative Spirale der anthropogenen Nutzung wie folgt beschrieben: „In der unteren Gegend sind es vorzüglich die Bergströme Taugl und Lammer, Ober und Niederalbe (Anm.: Oberalm und Königssee Ache) und die Saale, welche in ihren Tälern schon schreckliche Verheerungen anrichten und der Salzach Steine von mehreren Kubikschuhen ... zuführen. Diese Materialmasse vermehrt sich mit jedem Jahre, weil die Nebenflüsse unter keiner Obsorge stehen, die Uferanbrüche immer häufiger werden und endlich vorzüglich, weil die an den Abhängen stehenden Waldungen von Jahr zu Jahr mehr abgetrieben (Anm.: abgeholzt) werden, wodurch den abrollenden Gesteinen das von der Natur gesetzte Aufhaltungsmittel entziehen und der Berg nach und nach von der ohnehin dünnen Erdkruste gänzlich entblößt wird.“

Die geschilderten anthropogenen Eingriffe spiegeln sich auch in einer Reihe von extremen Ereignissen wieder, die in den letzten Jahrhunderten in Chroniken dokumentiert wurden und damit im groben Rahmen naturwissenschaftlichen Größenordnungen zugeordnet werden können:

- 1570: Zweitgrößtes historisches Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 4400 m^3/s).
- 1580: Älteste Hochwassermarke in Salzburg (Ursulinenkloster)

- 1598: Größtes historisches Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 4600 m^3/s), im Oberpinzgau bricht die Salzach in den Zeller See aus. Die Gefahr des Durchbrechens der Salzach in das Saalachtal wird bis Mitte des 18. Jahrhunderts als gegeben angesehen [69].
- 1736: Historisches Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 3500 m^3/s),
- 1776: Größtes Hochwasser in Salzburg (56 cm über HW 1899)
- 1786: Historisches Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 3800 m^3/s),
- 1787: Historisches Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 4000 m^3/s),
- 1789: Ausbruch des Niedersiller Mühlbaches, Murgang mit 20 Millionen m^3 Schlamm und Geröll.
- 1794: Bergsturzkatastrophe Embacher Plaike, 30 Millionen m^3 Material dämmen die Salzachschlucht rd. 20 m hoch zu einem rd. 6 km langen Stausee auf (Sperre 1797 durchnagt).
- 1899: Hochwasser am Pegel Burghausen (ca. 3350 m^3/s),

Über den kulturgeschichtlichen Zeitraum mit schriftlichen Belegen von rd. 1,5 Jahrtausenden hinaus vermag die Geologie wesentlich längere Zeiträume ohne menschliche Beeinflussung zu beschreiben. Aus Untergrundaufschlüssen, „stummen Zeugen“ und anderen Methoden können Zeugnisse aus der Frühgeschichte der Menschheit und noch älteren Epochen gewonnen werden. Damit kann die Geologie wesentliche Hinweise zum „nicht durch menschliche Tätigkeit gestörten“ Zustand geben.

Nach SEEFELDNER [27], [41], [69] unterlag der Salzachlauf in Jahrmillionen gravierenden Veränderungen, die heute nur noch schwer vorstellbar sind. Im Jungtertiär (älter als 2,5 Millionen Jahre) lag der Ursprung der Salzach im Großarl- bzw. Kleinarltal. Das heutige Einzugsgebiet der Salzach wurde durch mindestens sieben Flüsse entwässert, die im Meer des Alpenvorlandes mündeten. Wegen der Aufwölbung der Kalkalpen und der Erosionsvorgänge verringerte sich die Zahl der Hauptflüsse. Während des Abschmelzens der Eismassen bestand im Oberen Pinzgau ein See der bis über Mittersill hinausreichte und dessen „verlandeter Rest“ heute der Zeller See darstellt. Die Ausbildung des heutigen Gewässernetzes kann erst seit dem Postglazial (jünger als 10000 v.Chr.) als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden.

Obwohl die Auswirkungen der Abholzung gravierend waren, sieht SEEFELDNER (zitiert nach [41]) die Ursache der Versumpfung für das Obere Pinzgau nicht in der erhöhten Schuttführung der Seitenbäche sondern in einer geologisch jungen Senkung des Salzachtales oberhalb von Bruck, der eine nachweisliche Hebung im Bereich der Taxenbacher Enge gegenübersteht, die möglicherweise auch noch in der Gegenwart anhält. Präzisionsmessungen im Bereich der Taxenbacher Enge seit 1984 weisen allerdings keine tektonischen Hebungen nach, sondern ausschließlich Hangkriechen und Rutschungsbewegungen. C_{14}-Alterdatierungen aus Zell am See – Kaprun deuten auf eine sedimentäre Verschüttung des Talbodens (Torfe) in den letzten 2000 Jahren um rd. 20 m hin.

Auch das Gebiet der Unteren Salzach ist nicht frei von tektonischen Veränderungen. Während im Salzachtal selbst nur geringfügige Änderungen vorstellbar sind, sind angrenzende Teilbereiche (Auslaugung des Haselgebirges) stärker betroffen, gegenläufige Entwicklungen im Längsprofil der Unteren Salzach können im Zeitraum der Besiedelungsgeschichte (die letzten 4 Jahrtausende) aber als vernachlässigbar angesehen werden.

Aus den in 1 bis 3 zusammengetragenen Fakten und aktuellen Erkenntnissen aus der Haunsbergrutschung wurde das sogenannte „neue geologische Modell“ [86] entwickelt und zwischen den Landes-

geologien Salzburgs, Oberösterreichs und dem LfW abgestimmt. Die relativ junge und dynamische geologische Entwicklung des Freilassinger Beckens brachte demnach in den letzten Jahrtausenden eine Umgestaltung vom postglazialen See zum Fließgewässer Salzach (relativ kurzfristige Entwicklung eines Fließ-Kontinuums). Die Salzach entsprach in den letzten Jahrtausenden nicht immer dem Durchgängigkeitsgedanken wie er dem Entwurf der EUWRRL zugrunde liegt:

„Noch im Postglazial (ca. 10000 vor Heute) war das Salzburger Becken bis Laufen ein See, dessen Spiegel ca. 30 m über der heutigen Salzachsohle lag und vermutlich über das Oichtental in das Mattigtal nach Nordosten entwässerte. Die Top-Set-Bildung („Grobkies-Glasur“) war bis ca. Siggerwiesen/Anthering vorangekommen, aber insbesondere im nordöstlichen Teil noch nicht abgeschlossen, weil im Haunsbergbereich der Seeton (Bottom-Set) von der Rutschung überfahren wurde. Die Rutschungsmasse des Haunsbergs ist mit jünger als 6000 vor heute anzusetzten, diesen Schluß legen Altersdatierungen aus der Rutschmasse nahe. Die Salzach hat sich durch die Laufener Schwelle möglicherweise erst ca. 5000-6000 vor heute hindurchgesägt und ihren heutigen Lauf geschaffen, vgl. ZIEGLER & BAADER in [3].

Die Sedimente des Freilassinger Teilbeckens wurden relativ rasch – binnen einiger tausend Jahre – erodiert und im Tittmoninger Becken abgelagert. Die obersten Schichten des Tittmoninger Beckens sind somit nicht – wie das Salzburger Becken bis Siggerwiesen/Anthering – als Verlandungsprozess eines Gletschersees zu verstehen, sondern rein fluvial geprägt (von der Salzach aus dem Freilassinger Teilbecken erodiertes Material wird in das Tittmoninger Becken gespült und dort abgelagert). Hingegen wurde das 50-80 m tiefe Tittmoninger Becken ebenfalls als spätglazialer Eisrandstausee gebildet [3] das aus dem Süden (Teisendorf und über den Abtsdorfer See) verfüllt worden ist.

In den folgenden Jahrtausenden sägte sich die Salzach durch die Nonnreiter Enge bis Burghausen zum Inn durch und schuf Gefälleverhältnisse, die z.B. PUTZINGER [48] im Vergleich zum Salzachoberlauf als relativ ausgeglichen beschrieb („ ... während die dem fließenden Wasser länger ausgesetzten Taldurchbrüche durch den Moränenfächer des Alpenvorlandes nahezu bis zum Erreichen der Erosionsdeterminante (Anm.: i.S. von Ausgleichsgefälle) durchnagt wurden.“). Die 5 km lange Durchbruchstrecke bei Laufen erniedrigte sich von 420 m auf 390 m NN.

Die Salzach hatte vermutlich nach älteren Eiszeiten einen ähnlichen Verlauf schon einmal genommen. So, wie wir den Salzachlauf aber heute kennen ist dieser – in geologischen Zeiträumen betrachtet – relativ jung und noch immer im Wandel begriffen (Durchbrechen in die feineren Sedimente). Die Salzachkorrektion hat dieses Durchbrechen begünstigt und beschleunigt.“

Eine Folge der mehrfach wechselnden Durchbruchsstrecken und Beckenlandschaften der Salzach ist, daß die Teilsysteme Obere-Mittlere-Untere Salzach als relativ eigenständige (entkoppelte) Teilsysteme betrachtet werden können, die nur bei größeren Ereignissen und schwerwiegenden anthropogenen Eingriffen als Gesamtsystem reagieren. Die stärkere Besiedelung und Nutzung des Oberen Pinzgaus durch den Menschen hätte – ohne Gegenmaßnahmen – zumindest zeitweise zur einer Ankoppelung der Oberen Salzach an die Saalach geführt, der Zeller See wäre ggf. über Jahrhunderte der Verlandung ausgesetzt gewesen und die Untere Salzach hätte 1817 bzw. heute eine andere Gestalt als wir sie kennen. Die Folgen der intensiven Waldnutzung haben aber auch entlang der Unteren Salzach stark den Flußcharakter eines verzweigten, von Geschiebeüberschuß gezeichneten Flusses geprägt. Ohne diese

anthropogenen Eingriffe wäre die Salzach zwischen Laufen und Golling sicher in Struktur und Lauftyp dem Tittmoninger Becken ähnlicher gewesen. Zumindest das Freilassinger Becken kann zum Zeitpunkt 1817 nicht als „nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört“ im Sinne der Entwurf-EUWRRL angesehen werden, vermutlich gilt diese Aussage für die gesamte Untere Salzach.

Bei wortgetreuer Lesart der hydromorphologischen Qualitätskomponenten nach Entwurf-EUWRRL ist eigentlich gar keine „sehr gute“ Kontinuität für die Untere Salzach beschreibbar, da keine verwertbaren Beschreibungen vorliegen, wie die Salzach ohne anthropogene Beeinflussung ausgesehen hat (ausreichend detaillierte Kartengrundlagen existieren ja erst seit 1817).

Für Entwicklungsziele i.S. einer Meßlatte für flußbauliche Gestaltungsmöglichkeiten ist es daher einfacher mit einem Begriff aus der Gewässerökologie, dem Entwicklungspotenial eines Flusses, zu argumentieren. Die Salzach hat zum Zeitpunkt 1817 ihr standortgemäßes Potential weitgehend ungestört nutzen können. Die Salzach hat auf den (überwiegend anthropogen verursachten) Geschiebeüberschuß entsprechend ihrem Potential reagiert. Auch heute hat die Salzach ein Potential das kanalisierte Flußbett zu verlassen und ihren Gewässerlauf zu entwickeln. Dieses Potential unterscheidet sich allerdings grundlegend von dem Potential zum Zeitpunkt 1817 (Folgen der Salzachkorrektion, geringes Geschiebedargebot, Einschneiden der Flußsohle in geologische Schichten, die eine Entwicklung von Gewässerbett und Gewässerlauf gravierend verändern können, vgl. 5.13).

Das Potential der Salzach zum Zeitpunkt 1817 und zum gegenwärtigen Zeitpunkt aus flußmorphologischer Sicht zu beschreiben ist Gegenstand von 5.7 um die Möglichkeiten und die Grenzen von flußbaulichen Gestaltungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die Ergebnisse von 5.7 sind in 6.6 und 6.7 zusammengefaßt.

5.7.2 Quantifizierungsversuch der Flußbettgestalt

Die Quantifizierungsversuche der Flußbettgestalt bauen auf einer Reihe von Modellvorstellungen auf, deren Kernaussagen an dieser Stelle kurz gestreift werden sollen.

Das Raum-Zeit-Modell der morphologischen Gewässerentwicklung wurde in 5.7.1 bereits kurz angesprochen. Eine detailliertere Abhandlung findet sich z.B. bei KERN [68]. Dieses Modell ist eher für gewässerökologische Fragestellungen geeignet. In der Gewässermorphologie werden Ansätze bevorzugt, die auf physikalisch begründeten Naturgesetzten beruhen und nicht auf zyclisch-beschreibenden Ansätzen. Das Raum-Zeit-Modell besagt, daß unterschiedlich große Raumeinheiten (Einzugsgebiet, Flußtal, Gewässerabschnitt, Bettstruktur, Mikrohabitate) mit unterschiedlich großen Zeiteinheiten (10^6 bis 10^0 Jahre) für deren Umgestaltung korrellieren. Im Kern bedeutet dies, daß:

- morphologische Veränderungen innerhalb zeitlich und räumlich abgrenzbarer Teilsysteme ablaufen,
- die Abgrenzung von Raumeinheiten anhand der Entwicklungszeiten erfolgen kann und
- Veränderungen infolge äußerer Einwirkungen auf einen funktionellen Zusammenhang von Raum und Zeit beschränkt sind.

Von besonderer Bedeutung sind die Gleichgewichtskonzepte in Geomorphologie und Flußmorphologie. CHORLEY & KENNEDY, zitiert nach KERN [68], postulieren in Abhängigkeit von der Zeit eine

Reihe von Gleichgewichtszuständen, vgl. Abb. 65. Im Wasserbau sind diese Gleichgewichtszustände z.T. anders definiert (abweichende Definition in Klammern und unterstrichen):

- Statisches Gleichgewicht: Über die Zeit unveränderliche Zustandsparameter (im Wasserbau: Gleichgewicht; der Zusatz „statisch“ konkretisiert, daß kein Sediment (i.S. von Feststoffen ohne Schwebstoffe) bewegt wird, vgl. [83], Seite 334).
- Gleichförmiges Gleichgewicht: Pendeln der Zustandsparameter über einen zeitlich konstanten Mittelwert (im Wasserbau: dynamisches Gleichgewicht, da Sediment bewegt wird).
- Dynamisches Gleichgewicht: Pendeln der Zustandsparameter um einen linear steigenden Mittelwert (im Wasserbau existiert hierzu kein entsprechender Gleichgewichtsbegriff, ein derartiges Verhalten wird z.B. als Trendentwicklung angesprochen).
- Dynamisches-metastabiles Gleichgewicht: Das dynamische Gleichgewicht verändert sich zusätzlich in Sprüngen (keine Gleichgewichtslage nach wasserbaulicher Auffassung, eine derartige Entwicklung entzieht sich derzeit einer quantitativen flußmorphologischen/wasserbaulichen Prognose).

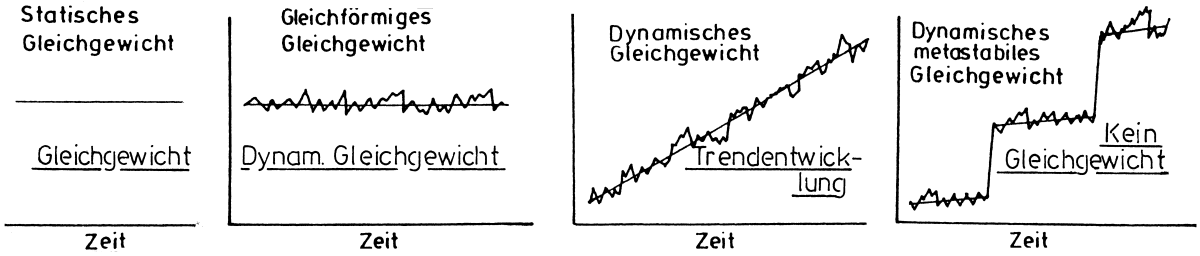


Abbildung 65: Gleichgewichtsbegriffe nach CHORLEY & KENNEDY, nach [68] ergänzt

Es können drei Zeitperioden bei der Entstehung von Gleichgewichtssystemen unterschieden werden, vgl. Abb. 66:

- Reaktionszeit: Zeitspanne vom Beginn der Änderung eines kontrollierenden Faktors (Input) bis zum Beginn der Systemänderung (Output).
- Relaxationszeit oder Anpassungszeit: Zeitspanne, während der das System auf die Änderung eines Input-Faktors reagiert, bis der ursprüngliche oder ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht ist.
- Ruhezeit: Zeitspanne, während der ein ungestörter Gleichgewichtszustand herrscht.

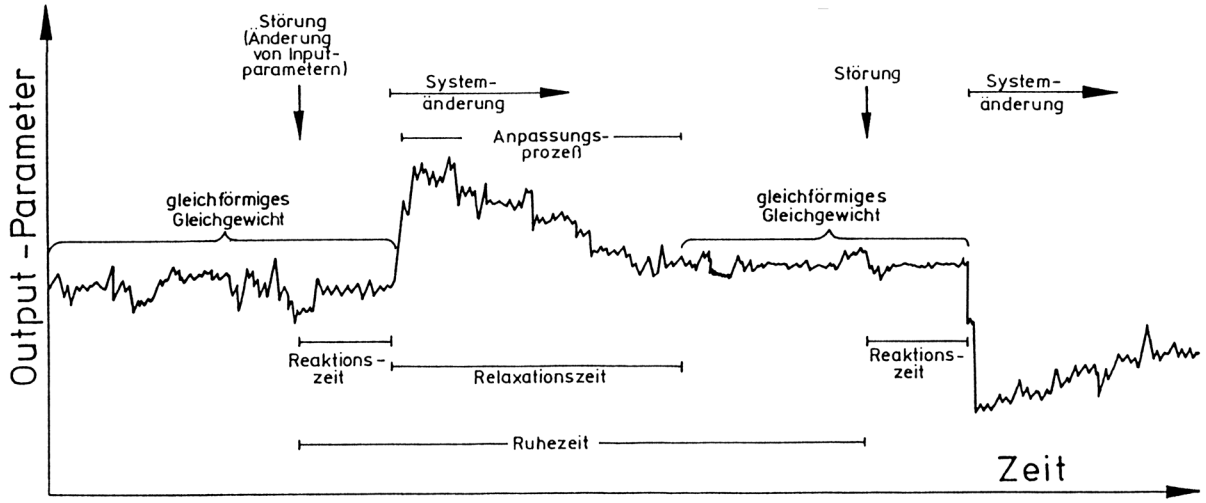


Abbildung 66: Gleichgewichtssysteme in der Geomorphologie, nach [68]

Eine Störung bewirkt eine Systemänderung, der Mittelwert um den das Gleichgewicht gleichförmig pendelt wird verändert (angehoben oder abgesenkt). Nach einer gewissen Reaktionszeit erfolgt eine sprunghafte Systemänderung, die dann im Sinne eines dynamischen Gleichgewichts (Relaxationszeit, Pendeln um einen linear veränderlichen Mittelwert) wieder einer konstanten Größe der mittleren Schwankungen entgegenstrebt (gleichförmiges Gleichgewicht).
Nach dieser Definition kann ein gleichförmiger Gleichgewichtszustand nicht mehr erreicht werden, wenn systemverändernde Störungen (z.B. Inputänderung Abfluß und/oder Geschiebe) in kürzeren Zeitabständen auftreten als die Summe aus Reaktions- und Relaxationszeit. Genau dieses Problem tritt in der flußmorphologischen Praxis häufig auf. VISCHER beschreibt dieses Problem in seinem Vorwort zur VAW-Mitteilung Nr. 139 „Geschiebehaushalt Alpenrhein“ [78] so:

„Lange wurde vorausgesetzt, daß die Flußläufe ein Gleichgewicht anstreben und dann tatsächlich auch erreichen. So gingen seinerzeit MEYER-PETER und LICHTENHAHN davon aus, daß an jedem Fluß eine Gleichgewichtsstrecke gefunden werden kann. Diese bezeichneten sie als Musterstrecke und verwendeten sie gleichsam als Eichmaß für ihre Geschiebeberechnungen.

Nun hat aber die Forschung in den letzten 10 Jahren diese Überlegungen relativiert. Sie hat insbesondere gezeigt, wie die Frage des Gleichgewichtes mit der Frage des Zeitfensters verknüpft ist. Innerhalb eines kleinen Zeitfensters, beispielsweise zwischen zwei bettverändernden Hochwassern, bleibt die Sohlenlage eines Flußes durchaus konstant und damit im Gleichgewicht. Dieser Fall ist aber flußmorphologisch und flußbaulich nicht interessant. Wichtig ist, ob die Sohle sich bei bettverändernden Hochwassern gleichsinnig fortsetzt. Es geht also darum, ob sich ein Fluß eindeutig in einem Auflandungs- oder Erosionszustand befindet, und ob seine Sohle schließlich eine Endlage erreicht, eben die Gleichgewichtslage.

Tatsächlich fußen die gängigen Geschiebetransportformeln darauf, daß ein bestimmtes Abfluß- oder Geschieberegime letztlich zu einer solchen Gleichgewichtslage führt. Es bräuchte dazu aber wesentlich mehr Zeit, als man früher annahm. So dachte man in diesem Zusammenhang etwa an die Zeitspanne einer menschlichen Generation, also an 30 bis 35 Jahre. Heute weiß man nun, daß es länger dauern würde. Doch zeigen langjährige Beobachtungen, daß sich das Abfluß- und Geschieberegime eines

Flusses in solchen Zeiträumen ändert. Verantwortlich dafür sind geogene und antropogene Einflüsse. Dementsprechend verschiebt sich auch die in den Geschiebetransportformeln implizit enthaltene Gleichgewichtslage der Sohle. Sie erhält damit den Charakter einer bloß theoretischen Gleichgewichtslage und verliert ihre Bedeutung als tatsächlichen Gleichgewichtszustand, das heißt als Endlage. In anderen Worten: in einem flußmorphologisch und flußbaulich relevanten Zeitfenster einer menschlichen Generation gibt es nach unseren neueren Erkenntnissen keinen Gleichgewichtszustand; in größeren Zeitfenstern tritt dieser erst recht nicht auf. Folglich besteht ein Fluß praktisch nur aus Auflandungs- und Erosionsstrecken, und diese können sich längs des Flußlaufes nicht nur örtlich sondern auch zeitlich ablösen."

Die Beschreibung von VISCHER läßt sich auf die Aussage verdichten, daß ein Fluß ausschließlich physikalisch nach Naturgesetzen reagiert und die Modellvorstellung einer Gleichgewichtslage sich als theoretische Zyclen-Theorie entpuppt, die in der flußmorphologischen Praxis überhaupt nicht verifizierbar ist. Dennoch sind solche Modellvorstellungen wichtig und hilfreich, um vielschichtige Zusammenhänge im Ansatz zu skizzieren und zu verdeutlichen.

In der morphologischen Modellvorstellung lassen sich Fließgewässer in die folgenden Hauptgruppen gliedern:

- ebene Sohle (gestreckter Lauf),
- alternierende Bänke (Übergangsform zwischen ebener Sohle und Mäander bei gestreckten Lauf),
- Mäander und
- verzweigte Flüsse.

In der Literatur findet sich überwiegend eine ähnliche Unterteilung, vgl. z.B. MANGELSDORF und SCHEURMANN (gestreckte, verzweigte und gewundene Flüsse in [106], Seite 109ff), JÄGGI (wie [106], zusätzliche Grundrißform Lauf- und Hinterwassersystem in [72], Seite 23ff), ZARN (Hauptformen gerades Gerinne, verzweigte Flüsse und Mäandergerinne sowie Übergangsformen alternierende Bänke in [71], Seite 23f) und SCHERLE (abweichende Typisierung in [107], Seite 116ff).

DA SILVA (zitiert nach [71]) hat eine Abgrenzung zwischen den unterschiedlichen Morphologien erarbeitet, die auf den Parametern Flußbettbreite B_F, mittlerer Wassertiefe h und mittlerem Korndurchmesser d_m basiert. Die von ihr herausgearbeiteten drei Hauptbereiche (Morphologien) verzweigt, alternierende Bänke/Mäander und ebene Sohle/Dünen/Mäander sind nicht scharf voneinander abgegrenzt, sondern durch relativ große Übergangszonen miteinander verbunden. ZARN [71] hat aufgrund seiner Modellversuche für das Abgrenzungskriterium alternierende Bänke – ebene Sohle eine Modifikation vorgeschlagen (gestrichelte Linie in Abb. 67). Die Abgrenzungskriterien DA SILVA´s wurden aus einer Vielzahl von Naturbeobachtungen und Laborversuchen abgeleitet, wobei unterstellt werden darf, daß dem größten Teil der verwendeten Daten ein ausgeglichener Geschiebehaushalt (Gleichgewichtslage der Sohle) zugrunde liegt. ZARN benutzt die Darstellung von DA SILVA in [71] um den großen Einfluß dieser drei Parameter auf Gerinneform bzw. Morphologie eines Gewässers aufzuzeigen. Damit wird ein einfacher Weg für eine Grobabschätzung aufgezeigt, der lediglich drei Parameter (B_F, h und d_m) benötigt, um die Morphologie eines Gewässers zu charakterisieren bzw. unter Beachtung von Anwendungsgrenzen eine zu erwartende Morphologie abzuschätzen.

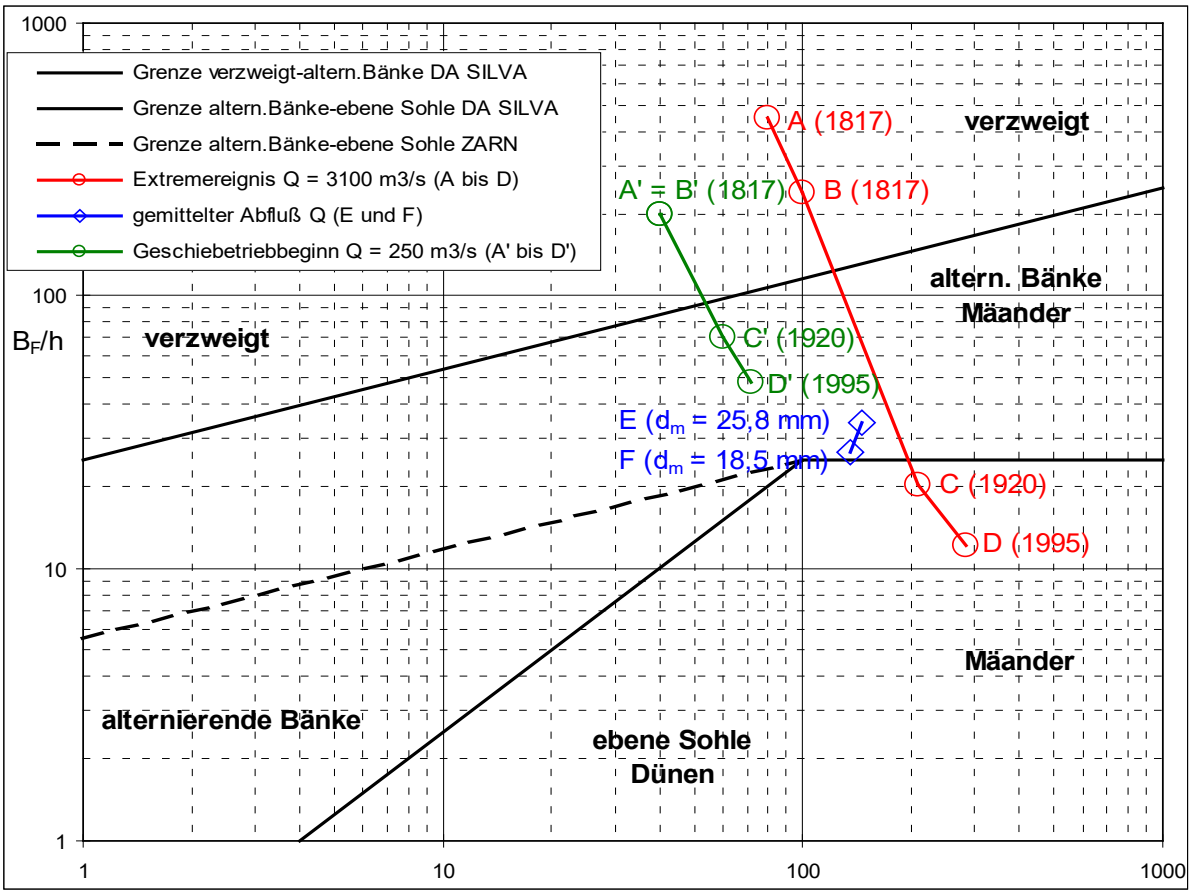


Abbildung 67: Morphologie von Flüssen in Abhängigkeit von Kornzusammensetzung, Breite und Wassertiefe

Die rote Linie der Punkte A bis D in Abb. 67 zeigt die Veränderung der Morphologie im Freilassinger Becken bei einem Extremereignis (HQ_{100} mit 3100 m^3/s) im Wandel der Zeit. Die angenommenen Parameter d_m (25 mm) und k_{St} (30 $m^{1/3}/s$) wurden nicht verändert. Die Flußbettbreite wurde für den Zustand 1817 mit 900 (Punkt A) und 600 (Punkt B) angeschätzt. Infolge Korrektion und Tiefenerosion in den Korrektionsquerschnitt betrug die Flußbettbreite 1920 noch 106 m, 1995 dagegen nur noch 87 m. Für die Wassertiefen der Punkte A bis D wurden folgende Wassertiefen angenommen bzw. berechnet: Punkt A 2,0 m; Punkt B 2,5 m; Punkt C 5,2 m (aus Hochwasserspiegelfixierung 1920 gemittelt) und Punkt D 7,1 m. Die Verschiebung der Morphologie in Richtung ebene Sohle / Mäander ist augenfällig.

Die grüne Linie mit den Punkten A‘ bis D‘ zeigt die Veränderung der Morphologie im Freilassinger Becken bei beginnendem Geschiebetrieb (hier mit MQ = 250 m^3/s abgeschätzt) im Wandel der Zeit. Die angenommenen Parameter d_m (25 mm) und k_{St} (34 $m^{1/3}/s$) wurden nicht verändert. Für den Zustand 1817 wurde unterstellt, daß die bewegte Sohlbreite auf 200 m begrenzt ist. Für 1920 und 1995 wurde die jeweilige Flußbettbreite B_F angenommen.

Die kurze blaue Linie beschreibt einen Ansatz, mit dem versucht wird den Einfluß des Geschiebehaushaltes auf die Morphologie aufzuzeigen. Für zwei unterschiedliche Kornzusammensetzungen im Freilassinger Becken, repräsentiert durch d_m, wurde die Geschiebefracht ermittelt (Berechnungsverfahren s. 5.11). In einer Summenkurve wurde die dem jeweiligen Abflußsegment zugehörige Geschiebefracht aufgetragen und daraus der Abflußschwerpunkt Q_m (Abfluß, bei dem 50 % der Gesamtfracht erreicht

wird) abgelesen. Als Begründung für die Bildung von Q_m kann angeführt werden, daß bei feinerem Material der Geschiebetransport bei kleineren Abflüssen stattfindet als bei gröberem Material. Im Gegensatz zu der roten und der grünen Linie, die den Einfluß unterschiedlicher Abflüsse auf die Morphologie aufzeigen, versucht die blaue Linie den Einfluß unterschiedlicher Kornzusammensetzungen auf die Morphologie zu verdeutlichen. Mit Q_m erfolgt eine Quantifizierung des für den Gesamttransport repräsentativen Abfluß unter der Voraussetzung eines ausgeglichenen Geschiebehaushalts. Mit den hydraulischen Eingangswerten (Q_m, k_{St} = 34 $m^{1/3}/s$, I = 0,98 ‰, B_F = 92,6 m) wurden schließlich die zugehörigen Wassertiefen für Abb. 67 ermittelt:

- d_m = 25,8 mm $\Rightarrow$ m_{VW} = 69.700 m^3/a $\Rightarrow$ Q_m = 790 m^3/s $\Rightarrow$ h = 3,5 m
- d_m = 18,5 mm $\Rightarrow$ m_{VW} = 246.300 m^3/a $\Rightarrow$ Q_m = 515 m^3/s $\Rightarrow$ h = 2,7 m

Die blaue Linie zeigt, daß bei einer Verfeinerung der Kornzusammensetzung die Morphologie in Richtung ebene Sohle verändert wird, damit wird ein Umkehrschluß aus einer Folgerung ZARN´s [71, Seite 202] bestätigt: „eine genauere Betrachtung dieser Gleichungen (Anm.: (108) und (109)) zeigt aber, daß die Kolktiefe mit zunehmendem Korndurchmesser nicht abnimmt, was allgemein erwartet wird, sondern zunimmt.“ Ferner zeigt sich, daß die morphologische Bereichsverschiebung anders verläuft als bei der roten und grünen Linie. Überlagert man die Einflüsse aus Korrektion und Kornverfeinerung, so ist die Richtung der Bereichsverschiebung am ausgeprägtesten, nämlich in etwa senkrecht zum Abgrenzungskriterium alternierende Bänke / Mäander – ebene Sohle / Dünen / Mäander.

Im Ergebnis verdeutlicht das DA SILVA Diagramm von Abb. 67 folgende Zusammenhänge:

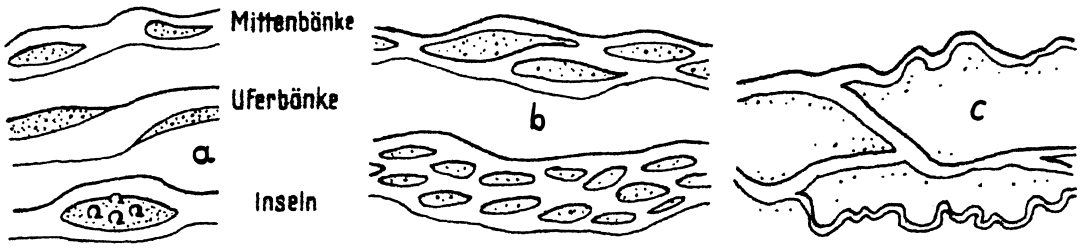
- Die Salzach vor der Korrektion hatte im gesamten Abflußbereich die Charakteristik eines verzweigten Flusses.
- Die Salzachkorrektion hat die Morphologie entscheidend verändert.
- Die Salzachkorrektion hat zum Verschwinden der alternierenden Bänke beigetragen.
- Die Salzach im gegenwärtigen Zustand hat je nach Abflußbereich die Charakteristik von alternierenden Bänken oder eines mäandrierenden Gerinnes.
- Im Tittmoninger Becken existieren noch alternierende Bänke, die im Freilassinger Becken vor dem progressiven Erosionsprozeß der letzten Jahrzehnte ebenfalls vorhanden waren. Demnach stimmen die morphologischen Verhältnisse der Salzach mit dem Diagramm nur überein, wenn der Geschiebehaushalt keinen ausgeprägten Erosionszustand verursacht. Dieser verändert offensichtlich die Morphologie.
- Eine Verfeinerung der Kornzusammensetzung trägt tendenziell zu einer Abnahme der Kiesbankmächtigkeit bzw. „Einebnung“ der Gerinneform bei.
- Die Tendenz zur Ausbildung eines verzweigten Flusses ist umso größer, je steiler das Gefälle ist.
- Ein kleinerer Geschiebehaushalt ergibt ein flacheres Gleichgewichtsgefälle.
- Nach dem DA SILVA Diagramm (Abb. 67) wäre das ehemalige Gefälle der Salzach nur mit Sohlbreiten größer 500 m erreichbar. Daraus ergibt sich, daß eine Rückführung der Salzach auf das sohlmorphologische Potential eines verzweigten Flusses in Anbetracht von Geologie und geringen Geschiebedargebot unrealistisch ist. Diese Sicht wurde von der WRS Anfang 1998 erstmals formuliert [168] und mitunter kontrovers diskutiert [169], [170].

Wie bereits erwähnt, darf man mit einiger Berechtigung unterstellen, daß die Darstellung von DA SILVA nur für Flußsysteme mit einem näherungsweise ausgeglichenen Geschiebehaushalt Gültigkeit hat und damit in der Modellvorstellung eines Gleichgewichtssystems die Zeitperiode der Ruhephase

angenommen wird. Nun hat aber eine kritische Betrachtung der Modellvorstellungen zur Gleichgewichtslage der Sohle gezeigt, daß sich ein Ruhezyclus in der Regel nur selten ausbildet, da häufige Störungen (Änderungen des Abfluß- und Geschieberegimes) und lange Relaxationszeiten ein Gleichgewichtssystem gar nicht erst zur Ruhe kommen lassen.

Diese Tatsache hat andere Autoren dazu veranlaßt, den Geschiebehaushalt in die Klassifikation von Fließgewässertypen einzubeziehen. Nach BRIEM [70] ist der Lauftyp eines Fließgewässers eng mit der Linienführung verknüpft: „Es handelt sich um die Feststellung, ob ein Gewässer einstromig oder verzweigt angelegt ist. Verzweigungen treten sowohl bei Überlast (bis zur Furkation und Verwilderung), als auch bei extremer Unterlast (Anastomose) auf. Bei zeitlicher und ständiger Überlast beginnt die Verzweigung mit der Bankbildung. Es werden daher Gewässer, die durch Inseln oder Bänke gegliedert sind, von solchen ohne diese Formen ausgeschieden. Inseln stellen mit Buschwerk oder Wald bestandene Bänke dar, die etwas höher aus dem Gewässerbett herausragen und deshalb mit Vegetation besiedelt sind. Das Fehlen und die Bildung von Bänken und Inseln ist wieder von der Geschiebeführung im Verhältnis zur Wasserführung (Belastungsverhältnis) und den Wasserstandsschwankungen abhängig. Unverzweigte oder sogenannte „einstromige“ Gewässer weisen einen mehr oder minder großen Geschiebemangel auf. In Regionen ohne gröbere und große Geschiebeherde, also in überwiegenden Feinmaterialbereichen ... sind nur einstromige, tiefe und kastenförmige Gerinneprofile ohne große Strukturvielfalt zu finden.“

Bei den in Abb. 68 dargestellten Lauftypen von Fließgewässern nach BRIEM handelt es sich nach der morphologischen Modellvorstellung aber um Varianten bzw. Untergruppen der Hauptgruppe verzweigte Flüsse.



a: Bänke, Inseln b: Verzweigung mit Geschiebeüberlast (Furkation) c: Verzweigung mit Geschiebemangel (Anastomose)

Abbildung 68: Lauftypen von Fließgewässern, nach [70]

ZARN bezieht ausgehend von der DA SILVA-Darstellung (Parameter B_F, h und d_m) den Geschiebehaushalt und Erreichbarkeit einer Gleichgewichtslage der Sohle sehr differenziert in seine Betrachtungen ein: „Bedingung für eine Veränderung der Morphologie ist aber in jedem Fall, daß jeweils Geschiebe transportiert werden kann. ... Ein Fluß mit Bänken kann einen Gleichgewichtszustand über einen Auflandungs- oder Erosionsprozeß erreichen. In der Literatur wurden keine Hinweise gefunden, ob die Morphologie vom Prozeß abhängig ist oder nicht.“

In seinen Versuchen erreichte ZARN den Gleichgewichtszustand i.d.R. über einen Auflandungsprozeß, er stellte jedoch fest: „Ein erodierender verzweigter Fluß unterscheidet sich grundsätzlich von einem auflandenden. Zu Beginn eines Erosionsprozesses tieft sich i.d.R. das größte Teilgerinne ein.

Dessen Lage und Form ist stabiler als ein vergleichbares auflandendes Teilgerinne. Wegen des Eintiefungsprozesses fließt ein immer größerer Anteil des Abflusses in diesem Teilgerinne. Deshalb ist die Anzahl der Teilgerinne in einem erodierenden verzweigten Fluß i.d.R. kleiner als in einem auflandenden. Im Extremfall kann sogar der gesamte Abfluß in einem einzigen Teilgerinne abfließen. Dann ist die Transportkapazität nicht mehr eine Funktion der gesamten Flußbettbreite B_F, sondern nur noch der Breite dieses Teilgerinnes. Die Transportkapazität des Teilgerinnes liegt viel näher beim theoretischen Maximum der Breite als bei einem vergleichbaren, auflandenden verzweigten Fluß mit gleicher Flußbettbreite B_F. Die Eintiefung des Teilgerinnes stoppt erst, wenn sein Gefälle seinem theoretischen Gleichgewichtsgefälle entspricht. Deshalb ist es möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß die mittlere Sohllage temporär tiefer zu liegen kommt als im endgültigen Gleichgewichtszustand. Bei einem solchen Prozeß ist es auch denkbar, daß Vegetation auf den Bänken aufkommt, wenn diese während längeren Perioden stabil bleiben und nicht oder nur gelegentlich überflutet werden. ... Spätestens wenn das dominante Teilgerinne sein Gleichgewichtsgefälle erreicht hat, kann es seine Breite wieder vergrößern. ... Da mit zunehmender Breite die Transportkapazität nun wieder abnimmt, landet die Sohle im Teilgerinne wieder auf. Schließlich wird der Gleichgewichtszustand auch über einen Auflandungsprozeß erreicht. Dieser Prozeß dürfte kaum von der Art des Abflusses, das heißt stationär oder instationär, abhängen. Vermutlich tieft sich aber das dominante Gerinne bei stationärem Abfluß vorübergehend mehr ein als bei instationärem Abfluß.

Die Morphologie eines verzweigten Flusses im Gleichgewicht dürfte deshalb unabhängig davon sein, ob dieser Zustand über einen Auflandungs- oder anfänglich einen Erosions- und anschließenden Auflandungsprozeß erreicht wird. Im zweiten Fall dauert es aber deutlich länger, bis sich ein solcher Zustand einstellt. Auch ist es denkbar, daß durch den Erosionswiderstand einer möglicherweise aufkommenden Vegetation die zur Verfügung stehende Breite reduziert wird. Dann wird sich im Gleichgewichtszustand eine tiefere Sohllage einstellen als im Fall eines Auflandungsprozesses.“
Hervorzuheben ist, daß Erosions- und Auflandungsprozesse von einem Geschiebeungleichgewicht verur-sacht werden. Nach ZARN´s Ausführungen benötigen Erosionsprozesse deutlich längere Relaxationszeiten bis zum Erreichen einer Gleichgewichtslage als Auflandungsprozesse, d.h. im Erosionsfall fehlt i.d.R. die Modellvoraussetzung „Gleichgewichtslage der Sohle“ oder anders ausgedrückt unterscheidet sich die Erosionsmorphologie deutlich von der Morphologie bei einem ausgeglichenen Geschiebehaushalt.

Im Hinblick auf Auswirkungen des Geschiebehaushalts auf die Morphologie soll abschließend noch das Abnehmen bzw. Verschwinden der alternierenden Bänke in der Salzach als Sonderfall gestreift werden, der später noch genauer untersucht wird. Wie Modellversuche zeigen, muß das Vorhandensein von Bänken nicht zwangsläufig mit einem Geschiebeüberschuß verbunden sein. Setzt man wie ZARN eine Prozeßunabhängigkeit morphologischer Entwicklungen voraus, so kann das Verschwinden von Kiesbänken im Bereich Salzburg-Hallein und Freilassinger Becken keine Folge des Geschiebedefizits sein. Systematische Auswertungen von MERGL bzw. der UniBW [76] bestätigen dagegen Vermutungen der WRS, daß das Verschwinden der Kiesbänke in direktem Zusammenhang mit einem permanenten Geschiebemangel steht. Inwieweit zusätzlich das Einschneiden in feinere, erosionsempfindliche Horizonte das Verschwinden von Kiesbänken begünstigt, kann nicht abschließend beurteilt werden, es gibt jedoch Hinweise, daß auch eine „Verfeinerung“ des Kiesbankmaterials letztlich zu ihrem Verschwinden beiträgt.

Für die Gewässerökologie ist es von besonderen Interesse, wie sich Bänke und Kolke in Abhängigkeit von Korrektionseinflüssen, Geschiebehaushalt und Geologie entwickelt haben, bzw. wie Bänke und Kolke sich in Abhängigkeit von flußbaulichen Gestaltungsmöglichkeiten entwickeln werden. ZARN [71] hat aus eigenen Modellversuchen und einer Auswahl der Versuchsdaten von JÄGGI [72] Zusammenhänge abgeleitet, die es ermöglichen, mittlere und maximale Bank- und Kolklagen in Abhängigkeit von Flußbettbreite (bewegte Sohle zwischen festen Ufern), Wassertiefe und Kornzusammensetzung (repräsentiert durch d_m) quantitativ abzuschätzen. Die Modellversuche gelten für einen homogen aufgebauten Untergrund (kiesiges Material) und eine Gleichgewichtslage der Sohle. Angewandt auf die Salzach bedeutet dies, daß die Mindeststärke einer Restkiesauflage im Gleichgewichtszustand der Sohle zwar beurteilbar ist, aber einige Einschränkungen beachtet werden müssen:

- Die Abhängigkeit von der Kornzusammensetzung (d_m) ist noch nicht ausreichend abgesichert. ZARN hält weitere Modellversuche mit anderen Kornzusammensetzungen als die von ihm verwendete Kornzusammensetzung für wünschenswert.
- Die Sohllagen der Salzach sind einem steten Wechsel von Anlandung und Erosion unterworfen, etwa seit der Jahrhundertwende erodiert die Salzach zunehmend. Die Annahme einer Gleichgewichtslage (Annahme eines ausgeglichenen Geschiebehaushalts) für die Beurteilung der abgelaufenen Entwicklung seit Korrektionsbeginn bedeutet eine wesentliche, aber nicht zu umgehende Vereinfachung.
- Die nach ZARN errechneten Maximalkolke schnitten schon immer (Zustand vor der Korrektion) in die erosionsempfindlichen Schichten (Sand und Seeton) ein, vgl. Abb. 69 bis 71. Die Geologie der Flußsohle spiegelt diese vom Fluß geprägte Überformung wider (die Schichten bzw. Schichtenabfolge liegt anders, als sie sich bei ungestörter Verlandung eines postglazialen Sees entwickeln würde).
- Die Salzachkorrektion bewirkte, daß in zunehmenden Maße auch die mittlere Kolktiefe in diese Schichten einschnitt. Wie sich das Einschneiden in erosionsempfindliche Schichten (nichthomogenes Sohlmaterial) auf die Kolktiefen auswirkt und wie die Berechnungsansätze ggf. modifiziert werden müßten kann vom gegenwärtigen Stand des Wissens aus nicht beurteilt werden.
- Die Verträglichkeit der errechneten Kolktiefen mit der geologischen Situation muß gesondert beurteilt werden (vgl. 5.13).

Die mittlere Kolktiefe t_{mittel} ist als arithmetisches Mittel aller Talwege definiert: Die Talwege einer Profilserie liegen i.M. um das Maß t_{mittel} unter der mittleren Sohle eines Profils. Nach ZARN entspricht t_{mittel} in etwa dem Talweg, wenn die Profilaufnahme bei Niedrigwasserführung erfolgte. Die Querprofilgeometrie wird dann vom Bewegungsbeginn des Geschiebes geprägt. Ein Vergleich im Freilassinger Becken von t_{mittel} mit - hier nicht dargestellten - Talwegen der Profile aus den Jahren 1920 bis 1995 ergab erhebliche, aber nicht unerwartete Abweichungen zwischen t_{mittel} und dem gemittelten Talweg (1920: t_{mittel} = 1,2 m, mittlerer Talweg = 1,8 m und 1995: t_{mittel} = 0,9 m, mittlerer Talweg = 0,5 m). Als Hauptursache der Abweichung kommt eine Sohllage, die stark von einer Gleichgewichtslage abweicht, in Betracht:

- Das Septemberhochwasser von 1920 führte sehr große Geschiebemengen mit sich, die sich im Freilassinger Becken z.T. ablagerten (vgl. Anlage 20.4, positive Massenbilanz der Massensummenlinie im Zeitraum 1919/20). In dieser kurzen Periode mit Anlandungstendenz sind größere Talwegänderungen bzw. mittlere Kolktiefen zu erwarten als bei einer Gleichgewichtslage der Sohle.
- Der Sohlzustand 1995 ist durch starkes Erosionsregime gekennzeichnet. Die Salzach reagiert mit geringeren mittleren Talwegen bzw. t_{mittel} als bei einer Gleichgewichtslage der Sohle.

Die maximale Kolktiefe t_{max} entspricht dem tiefsten Talweg aus der betrachteten Anzahl Querprofile. t_{max} gibt die Größenordnung der fluvialen Untergrundüberprägung im Laufe der Jahrtausende wieder (d.h. wie tief der Salzachuntergrund maximal durchmischt wird). Obwohl im historischen Zustand 1817 und früher die mittleren Sohllagen z.T. um einige Meter höher als heute lagen, konnten die Maximalkolke bei Flußverzweigungen und Krümmungen unter besonderen Abflußbedingungen erosionsempfindliche Schichten erreichen. t_{max} war damals ohne Einfluß auf die flußmorphologische Stabilität des Gesamtsystems Salzach, da erosionsempfindliche Schichten nur lokal und ereignisbedingt in größeren Zeitabständen angeschnitten wurden. Aufgrund der reichlichen Geschiebezufuhr wurden Maximalkolke rasch überdeckt und es konnte nur ein lokales, aber nicht ein flächiges Einschneiden der Sohle in den Untergrund auftreten.

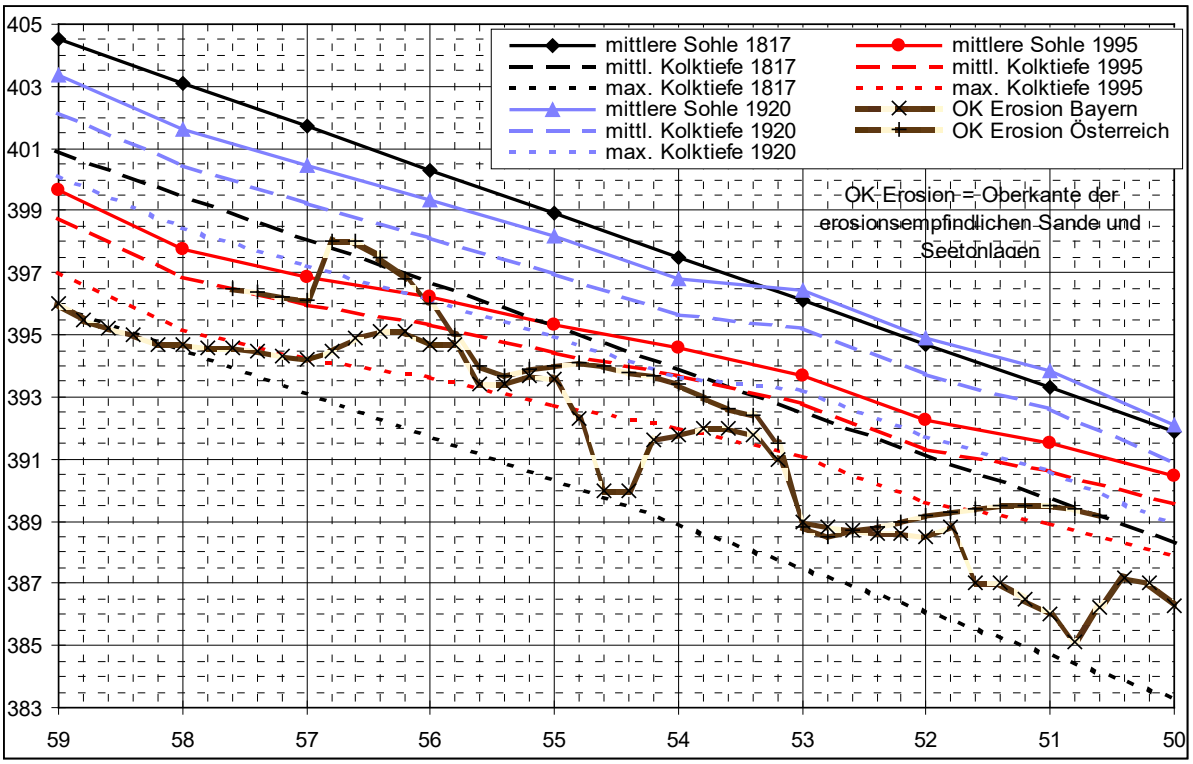


Abbildung 69: Entwicklung der mittleren Sohllagen und Kolktiefen nach ZARN im Freilassinger Be-

Die historische Entwicklung wird beispielhaft am Freilassinger Becken für die Zeitzustände 1817 (vor der Korrektion), 1920 (rd. 100 Jahre später) und 1995 (heute) dargestellt. Abb. 69 zeigt mittlere Sohllage und Kolktiefen nach ZARN im Freilassinger Becken. Zur vergleichenden Übersicht sind – soweit bekannt – die erosionsempfindlichen Horizonte (Sand und Seeton) entlang des bayerischen und österreichischen Ufers mit dargestellt. Zu den Gefällewerten zum Zeitzustand 1817 ist wie in 5.6.3 und Tab. 21 noch ergänzend anzumerken, daß die Höhenunterschiede zum Zeitpunkt 1817 durch die Flußlänge des korrigierten Salzachlaufes geteilt wurden. Würde man den Stromstrich der Salzach in Rechnung stellen, so würden sich die Gefällewerte gemäß Abb. 39 von 1,40 auf 1,22 ‰ bzw. gemäß Abb. 40 von 1,17 auf 1,02 ‰ reduzieren. Diese reduzierten Gefällewerte wären im NW/MW-Bereich anzuwenden. Im Berechnungsverfahren von ZARN wird dies durch die Sinuosität S (Gleichung 82 bzw. 104d in [71]) berücksichtigt, die besagt, daß die Flußstrecke zum effektiven Gefälle in einem verzweigten Fluß bis zu 8 % größer sein kann. Im vorliegenden Fall liegt die Abweichung bei ca. 15 %, was durch Pen-

deln des verzweigten Flusses innerhalb der vorgegebenen Beckenbreite erklärt werden kann. ZARN [71] weist darauf hin, daß bei großen Werten für $Y = B_F/h$ das verzweigte Flußbett nicht mehr die gesamte Flußbettbreite beansprucht sondern innerhalb der Laborrinne migrierte (S. 85f: Versuch 250.4, Y = 362). Die Salzach zum Zeitpunkt 1817 erreichte in den Becken Y-Werte größer 300 bis 400.

Berechnungsgrößen für die Kolkermittlung nach ZARN — Tabelle 21

Zeit	Breite [1]	d_m	I	t_{mittel}	t_{max}	Maßgebender Abfluß bei [3]
1817 [2]	500 m	20 mm	1,40 ‰	3,6 m	8,6 m	Hochwasser
1920	106 m	22 mm	1,18 ‰	1,2 m	3,2 m	Bewegungsbeginn Geschiebe
1995	87 m	25 mm	0,97 ‰	0,9 m	2,6 m	Bewegungsbeginn Geschiebe

[1] bewegte Sohle zwischen festen Ufern [2] für 1817 geschätzte Werte, vgl. 5.6.3

[3] Abfluß, für den t_{mittel} und t_{max} die größten Kolktiefen im Gewässerbett erzeugen

Zur Beurteilung ist es wichtig, die ungefähre Höhenlage der mittleren Sohle von 1817 zu kennen, die aber nur auf einer Abschätzung historischen Kartenmaterials (z.B. Anlage 14) beruht. Am Beispiel des Freilassinger Beckens (Abb. 69) zeigt sich folgendes:

- Von 1817 bis 1920 hat sich die mittlere Sohle im Freilassinger Becken nur wenig eingetieft (zwischen Saalach- und Surmündung i.M. 1 m). In den folgenden 75 Jahren bis 1995 tiefte sich die Sohle keilförmig ein (Fkm 59: 3,5 m; Fkm 50: 1,5 m).
- Die enorme Breitenreduktion seit der Korrektion bewirkt einen deutlichen Rückgang der Kolktiefen t_{mittel} und t_{max} gegenüber 1817. Die absolute Höhenlage von t_{mittel} liegt 1920 ca. 1 bis 2 m über der von 1817. 1995 liegt diese z.T. unter der von 1817 (Fkm 59: 2 m; Fkm 54: 0 m), z.T. aber noch über der von 1817 (Fkm 52: 0 m; Fkm 50: 1 m).
- Die absolute Höhenlage der maximalen Kolke (t_{max}) erreicht heute trotz massiver Tiefenerosion noch nicht die Werte wie zu Beginn der Korrektion.
- Zwischen Saalach- und Surmündung liegen die erosionsempfindlichen Horizonte heute auf gleicher Höhe mit t_{mittel}. Gerade in diesem Bereich hat in den letzten Jahren die Eintiefungstendenz zugenommen. Die Salzachsohle befindet sich hier in einem Übergangszustand von Geschiebetransport, Ausblasen sandiger Zwischenschichten und Tiefenschurf in den darunter liegenden Seeton.

Über den Geschiebehaushalt vor Beginn der Korrektion können keine quantitativen Aussagen gemacht werden. Das verzweigte Gewässerbett der Salzach (Anlage 16) und ein Längsschnitt aus der ersten Korrektionsphase (Anlage 14) lassen den Schluß zu, daß ein wesentlicher Anteil des Geschiebeüberschusses aus der Saalach kam und stromab keilförmig anlandete. Bildlich gesprochen können weite Teile des Freilassinger Beckens als verlängerter Saalach-Schuttkegel oder Ausschotterungsstrecke angesehen werden.

Zum Verständnis der Situation vor Korrektionsbeginn ist es wichtig, sich Zustand und Funktion der einzelnen Flußabschnitte der Unteren Salzach vor Augen zu halten:

- Die Salzach oberhalb Salzburg pufferte im wesentlichen die starken Geschiebeeinstöße der Seitenzubringer ab, die Sohle landete wegen der enormen Mengen abschnittsweise auf.
- Im Freilassinger Becken kam die Geschiebefracht der Saalach noch hinzu, im Becken war über-

wiegend Anlandungstendenz gegeben.

- Die Laufener Enge regulierte den Geschiebeüberschuß zumindest teilweise.
- Im Tittmoninger Becken pendelte die Sohllage vermutlich um einen nicht näher quantifizierbaren Mittelwert.
- Die Durchbruchsstrecke Nonnreit bis Burghausen war von Sohländerungen vermutlich nur wenig betroffen.

Bei der Berechnung der Kolktiefen nach ZARN ist nicht von vorneherein klar, bei welchen Abflüssen sich die größten Kolke ergeben. In Tab. 21 wurden bereits die Abflüsse angegeben, für die sich die größten Kolktiefen ergeben. Abb. 70 verdeutlicht grafisch die Zusammenhänge anhand der Berechnungsergebnisse des IWB: In einen Vergleich ist der Zustand 1817 und die Lösungsvariante mit der größten Aufweitungsbreite (Variante 2 mit ca. 200 m) darstellt. Während im Zustand 1817 die größten Kolke bei Extremereignissen zu erwarten waren (verzweigter Fluß) ergibt sich für die geplanten Aufweitungen (alternierende Bänke) eine andere Situation: Die größten Kolke sind bei Abflüssen zu erwarten, die unter dem dreifachen Mittelwasser liegen.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Berechnungsansätze von ZARN für einen angenäherten Gleichgewichtszustand gelten, der derzeit an der Unteren Salzach nicht gegeben ist (überwiegend Erosionsregime). Für den Abschnitt 1b (Fkm 53 bis 49) wurde exemplarisch untersucht, welche mittleren Kolktiefen sich aus den Profilaufnahmen 1953, 1975 und 1998 ergeben bzw. welche mittleren Kolktiefen nach ZARN auftreten müßten. Die Abflüsse, mit denen sich rechnerisch die maximalen Kolkwerte ergeben, liegen im NW-Bereich in dem auch die Profilaufnahmen durchgeführt werden. Für die Aufnahmen 1953/1975/1998 wurden die Kenngrößen B_F (107,4/100,6/97,3 m) und I (1,11/1,11/1,15 ‰) ermittelt. Nach ZARN müßten die mittleren Kolktiefen für d_m = 25 mm von 1953 bis 1998 geringfügig von 1,22 m auf 1,14 m abnehmen (bzw. für d_m = 20 mm von 1,12 m auf 1,05 m). Tatsächlich wurden aber folgende mittlere Kolktiefen aus den Profilaufnahmen ermittelt: 1953 2,36 m, 1975 1,70 m und 1998 0,62 m. Die großen Abweichungen überraschen zunächst, sind aber in Anbetracht großer Schwankungen im Geschiebehaushalt erklärbar. Diese Stichprobe zeigt aber auch, daß die Kolktiefenermittlung nach ZARN nur Größenordnungen der zu erwartenden Kolke angeben kann. Bei Dimensionierungsaufgaben sollten die Ansätze von ZARN nicht überstrapaziert werden, sondern entsprechende Reserven und/oder flexible Ergänzungsmaßnahmen im flußbaulichen Konzept vorgesehen werden.

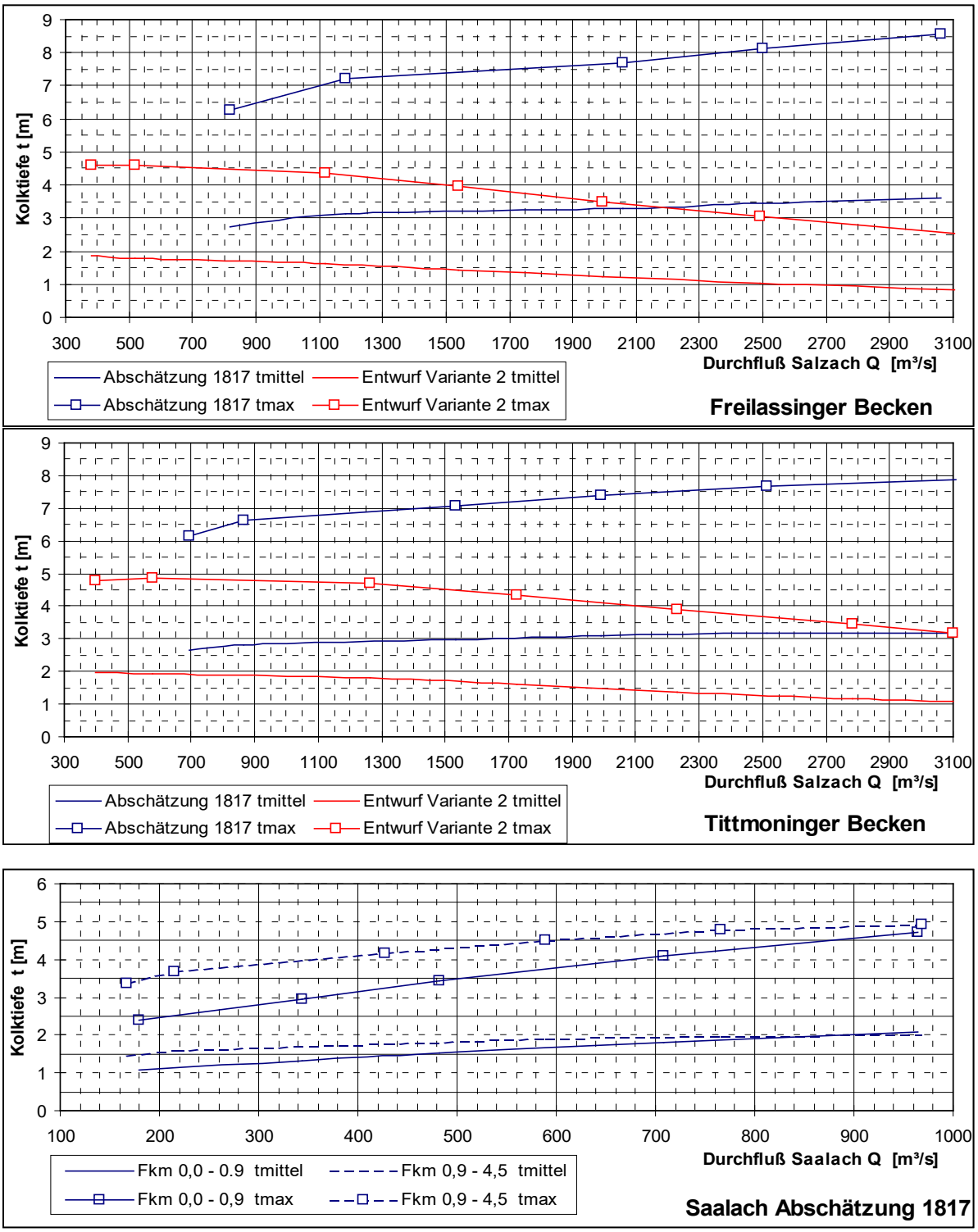


Abbildung 70: Kolktiefen nach ZARN in Abhängigkeit vom Abfluß

Anhand des verfügbaren Kartenmaterials (z.B. Anlagen 14 und 16) und der Untersuchungsergebnisse wurde vom IWB eine grafische Gegenüberstellung von Untergrundgeologie und Kolktiefen nach ZARN aufgestellt. Im Bereich Saalach wurde diese Gegenüberstellung hinsichtlich der Untergrundgeologie ergänzt. Die Kolktiefen t_{mittel} und t_{max} nach ZARN [71] wurden nach Gleichung 115 mit folgenden Berechnungsannahmen bestimmt:

- Saalach Fkm 4,5-0,9: B_F = 200 m, d_m = 20 mm, I = 2,6 ‰ (vertikale Verschiebung der Linien bezogen auf die mittlere Sohllage: HQ_{100} 1,61 m, t_{mittel} 2,01 m, t_{max} 4,94 m).
- Saalach Fkm 0,9-0,0: B_F = 400 m, d_m = 20 mm, I = 4,6 ‰ (Mündungsschuttkegel zur Salzach, vertikale Verschiebung der Linien bezogen auf die mittlere Sohllage: HQ_{100} 0,90 m, t_{mittel} 2,07 m, t_{max} 4,70 m).
- Freilassinger Becken Fkm 59,3-49,0: B_F = 500 m, d_m = 20 mm, I = 1,4 ‰ (vertikale Verschiebung der Linien bezogen auf die mittlere Sohllage: HQ_{100} 2,25 m, t_{mittel} 3,60 m, t_{max} 8,60 m).
- Tittmoninger Becken Fkm 39,0-20,0: B_F = 500 m, d_m = 18 mm, I = 1,2 ‰ (vertikale Verschiebung der Linien bezogen auf die mittlere Sohllage: HQ_{100} 2,35 m, t_{mittel} 3,60 m, t_{max} 8,50 m).

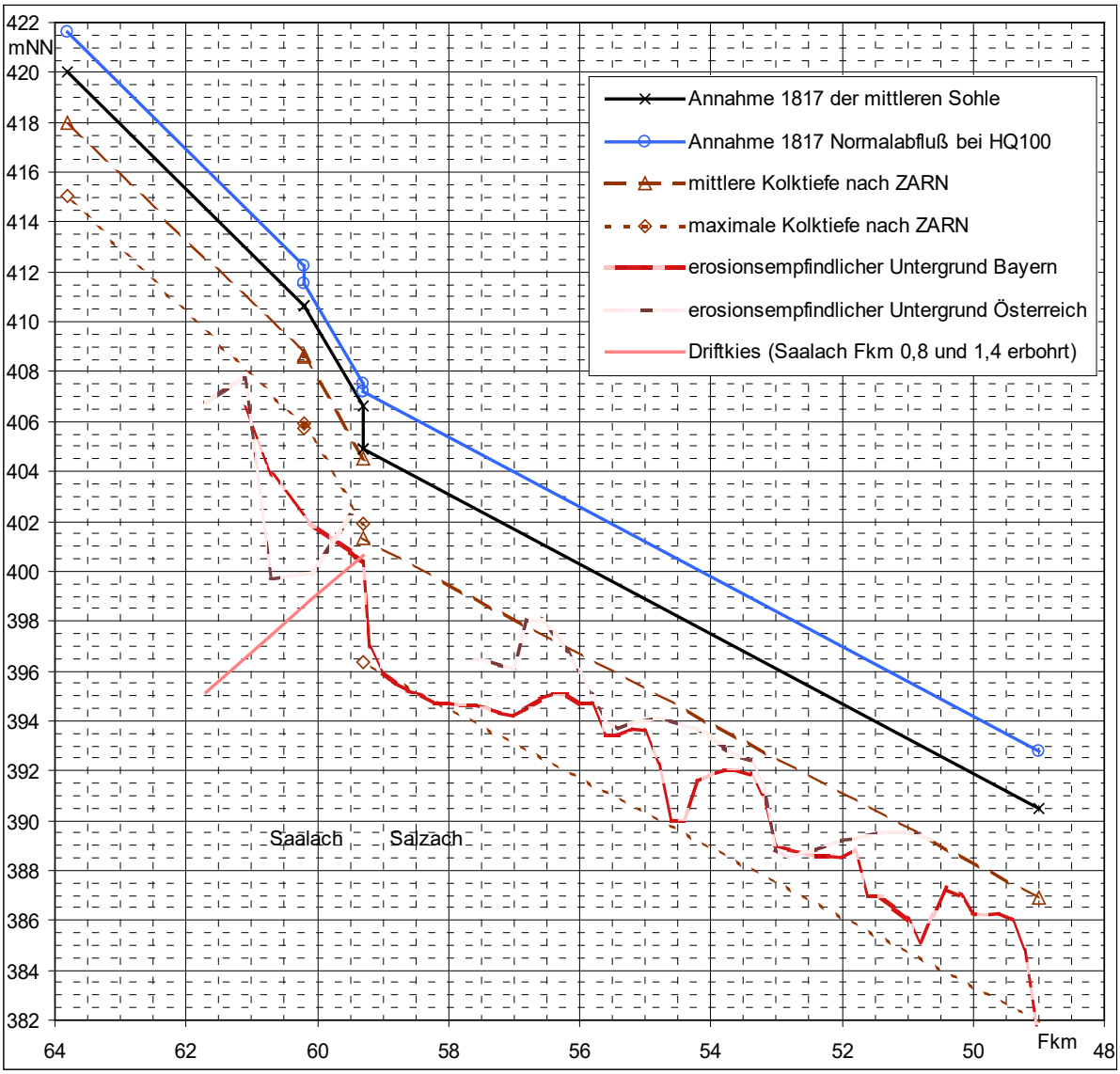


Abbildung 71: Abschätzung der Sohlmorphologie der Salzach im Zustand 1817, Freilassinger Becken

Besonders deutlich tritt die geologische Diskordanz nach BRAUNSTINGL [75] im Bereich der Saalachmündung in Erscheinung (vgl. 4.4): „An der Mündung der Saalach in die Salzach wurden 1991 ... unter einigen Metern Kies ca. 13 m unter Flußsohle typischer Salzburger Seeton angetroffen, der bei allen Saalachbohrungen fehlt. Die Saalach verläuft überwiegend in gröberklastischen Sedimenten. Aufgrund der Bohrungen BL Ö2 und BL Ö3 (Anm.: Fkm 0,8 und 1,4) angetroffenen Driftkieslagen ist

die Saalach vermutlich in einem älteren Deltabereich eingeschnitten als die Salzach. Der Driftkies spricht für eine späteiszeitliche Ablagerung in einem Becken, an dessen Rand Eisschollen von einem Gletscher abgebrochen sind. Über diese abschmelzenden Eisschollen sind die schlecht abgerollten Gerölle mit eiszeitlichen Kritzern direkt in die sandigen Beckensedimente abgelagert worden. Weiters wird diese These gestützt durch die sehr mächtigen schluffigen Sande, d.h. daß hier in kurzer Zeit das gesamte Saalachteilbecken mit gröberklastischen Sand-Schluff-Sedimenten aufgefüllt worden ist, als dies im Salzburger Hauptbecken mit seinen wesentlich feinkörnigeren Seetonen der Fall war.

Nach weitgehender Verfüllung des Saalachteilbeckens mit sandigen Abschmelzprodukten des noch vorhandenen Saalachteilgletschers (vermutlich im Raum Walserberg, Anm.: das Salzburger Becken war zu diesem Zeitpunkt wohl nicht mehr vergletschert, die Salzach war hier bereits als Fluß entwickelt und hatte die abgelagerten Sedimente „umgepflügt“) wurde dieses Becken mit Flußschotteren bis zur Wasserspiegellinie aufgefüllt. Die nur geringmächtige Kiesauflage im Bereich BL Ö4 und BL Ö5 (Anm.: Fkm 1,8 und 2,4) kann mit wandernden Armen in einem Flußdelta erklärt werden: mäandrierende Arme können zu scheinbar unterschiedlichen Flußschottermächtigkeiten auf dem Sand-Schluff geführt haben.“

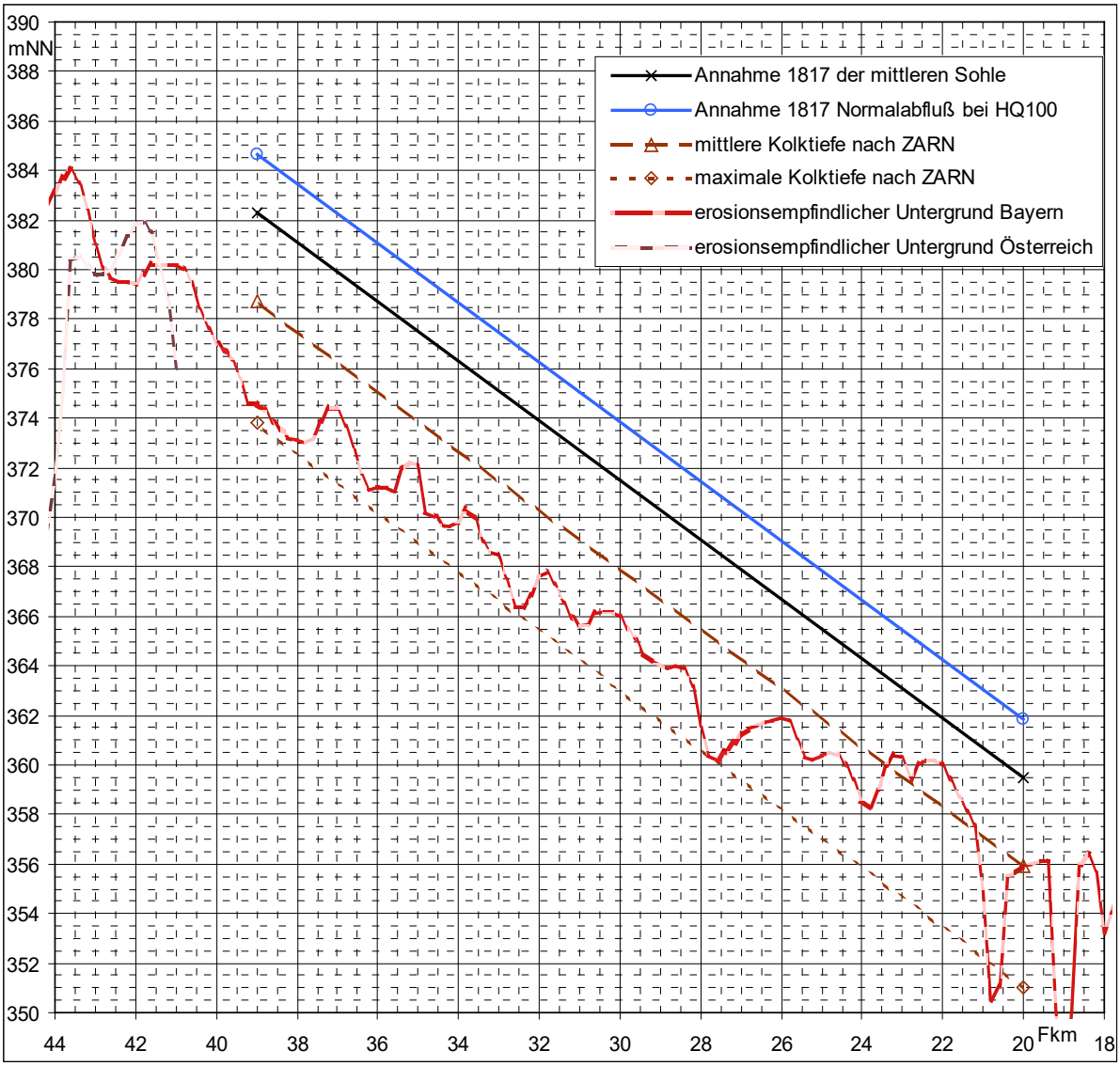


Abbildung 72: Abschätzung der Sohlmorphologie der Salzach im Zustand 1817, Tittmoninger Becken

Die geologische Interpretation steht in Übereinstimmung mit der maximalen Kolktiefe nach ZARN: Die maximale Kolktiefe erreichte vor Beginn der Korrektion nicht die Höhenlage der Driftkiese (eiszeitliche Kritzer, die bei fluvialen Transport verloren gehen). Ferner ist festzustellen, daß zumindest im unmittelbaren Deltabereich der Saalach deren Maximalkolke gerade die erosionsempfindlichen Horizonte erreicht haben könnten. Die Situation der Saalach unterscheidet sich somit grundlegend von der Situation der Salzach. Sowohl im Freilassinger als auch im Tittmoninger Becken „durchmischte“ die Salzach lokal die erosionsempfindlichen Schichten mit Kies.

5.7.3 Dynamik der Kiesbänke

Die Verbindung der in den einzelnen Flußquerschnitten gemessenen tiefsten Sohlpunkte ergibt, in den Flußlängsschnitt übertragen, den Verlauf des Talweges (Anlage 19). Ein Vergleich der Talwegaufnahmen liefert Hinweise auf die morphologischen Veränderungen der Flußsohle. Aus der Darstellung des Talweges in Verbindung mit Untergrundaufschlüssen (Anlagen 2 und 5) können zusätzlich Informationen gewonnen werden.

In gestreckten oder geraden Gerinneabschnitten, die vielfach durch die Korrektion der Flüsse entstanden sind, kann zuweilen ein alternierendes Pendeln des Talweges von einer Uferseite auf die andere beobachtet werden. Ursache dieses Pendelns ist die Existenz alternierender Kiesbänke, die sich abwechselnd der einen oder anderen Uferseite vorlagern, vgl. Anlage 13. Um diese Kiesbänke herum pendelt der Talweg mit Hoch- und Tiefpunkten. Sofern die Kiesbänke noch mobil und nicht verfestigt sind, erfahren sie im Laufe der Zeit eine Verlagerung in Fließrichtung (Migration). Im anderen Fall bilden sich verhältnismäßig ortsfeste Talwegrinnen, was besonders bei Hochwasserabfluß zu der Begleiterscheinung führt, daß dann die Strömung, den sich windenden Talwegrinnen folgend, wechselseitig gegen die Ufer gerichtet ist.

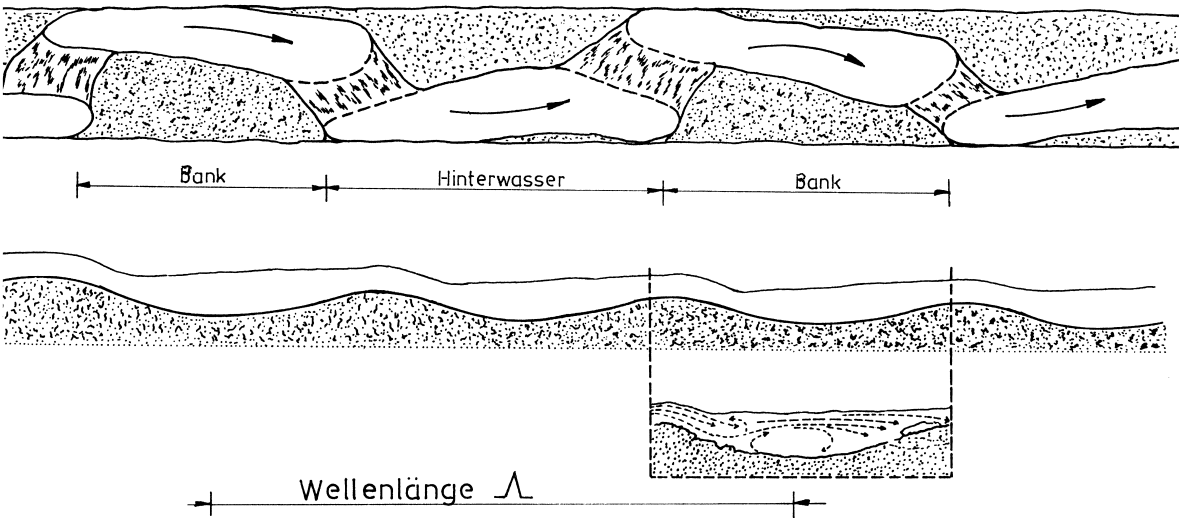


Abbildung 73: Lauf-Hinterwassersystem im geraden Fluß, nach [72] verändert

Sowohl bei verzweigten Flüssen als auch bei gestreckten Flüssen mit alternierenden Bänken wird bei der Beschreibung von Flüssen vom Lauf-Hinterwasser-System gesprochen. WOLMAN, zitiert nach [72], stellte bei der Aufnahme von Flußlängsschnitten bei Niedrigwasser regelmäßige Folgen von Beschleunigungs- und Verzögerungsstrecken fest. Der Lauf ist eine Strecke mit örtlicher Beschleunigung des Niedrigwasserabflusses, wo Luft aufgenommen wird (weißes Wasser). Die Hinterwasser weisen eine geringere Strömungsgeschwindigkeit und dafür größere Wassertiefen auf. Die Definition einer Lauf-Hinterwasser-Abfolge ist somit vorwiegend hydraulisch, sie wird durch einen wellenförmigen Flußlängsschnitt charakterisiert, vgl. Abb. 73.

In der Literatur wird die Wellenlänge Λ z.T. unterschiedlich definiert. In Abb. 74 ist in Anlehnung an JÄGGI [72], Seite 26, die Wellenlänge Λ als eine durchlaufene Schwingung (linkes Hinterwasser - Lauf – rechts Hinterwasser – Lauf- linkes Hinterwasser) des Stromstrichs zu verstehen (= Mäanderlänge des pendelnden Talwegs bzw. Wellenlänge für alternierende Bänke), dieser Laufzyclus ist also doppelt so groß wie die Wellenlänge nach LEOPOLD im Stromstrich (Lauf – Hinterwasser – Lauf bzw. $\Lambda = 2 * \Lambda_{LEOPOLD}$). Für die Wellenlänge Λ werden in der Literatur Bandbreiten in Abhängigkeit von der Flußbettbreite B_F (Breite der bewegten Sohle) angegeben, z.B. besteht nach YALIN der Zusammenhang $\Lambda = 2*\pi$ bis $20*B_F$, nach ZELLER $\Lambda = (6{,}5$ bis $15)*B_F$ für große Flüsse und nach LEOPOLD $\Lambda = (10$ bis $14)*B_F$.

Diese Erfahrungswerte liefern einen wichtigen Anhaltspunkt, ob vorhandene Profilaufnahmen ausrei-

chend dicht vorliegen um eine Wellenlänge in ihrer Gestalt und zeitlichen Veränderung hinreichend genau zu erfassen. Anlage 13 zeigt im Tittmoninger Becken alternierende Kiesbänke bei einem Abfluß von ca. 160 m^3/s, deren sichtbare Länge etwa 350 m beträgt. Die Wellenlänge Λ kann folgendermaßen abgeschätzt werden: Man nimmt an, der tiefste Kolk befindet sich etwa in Bankmitte am gegenüberliegenden Ufer. Schreitet man nun an einem Ufer entlang, so beschreibt der nächste Kolk, welcher wieder am selben Ufer zu liegen kommt, die Wellenlänge. Im Falle des Tittmoninger Beckens sind dies ca. 1200 bis 1400 m. Dieser Wert bestätigt recht gut die o.g. Bandbreiten, z.B. nach LEOPOLD mit (10-14) $*$ B_F = 1000-1400 m. Ebenso erkennt man die Wellenlänge Λ in Abb. 74 als Abstand zum übernächsten Talwegextrem bei der Profilaufnahme 1953 im Freilassinger Becken.

Detailliertere Auswertungen mit ufernahen Längsschnitten von BECHTELER, HARTMANN, MERGL und WIEPRECHT [76] auf der Basis von Profilaufnahmen des WWA Traunstein (Jahre 1953, 1957, 1959, 1969, 1973, 1975, 1977, 1981, 1985 und 1991) ergeben bis Anfang der 80er Jahre eine Wellenlänge (Abstand der Talwegextreme längs eines Ufers) von ca. 1400 m, seit Mitte der 80er Jahre von ca. 1150 m. Die Banklänge (bezogen auf die mittlere Sohlenlage der bewegten Sohlbreite (entspricht B_F in dieser Untersuchung) wird mit nahezu konstant 650 m über den Zeitraum 1953/91 angegeben. Zu beachten ist, daß in dieser Untersuchung eine von der WRS abweichende Abschnittsgliederung vorgenommen wurde (Abschnitt 1a: Fkm 59,3-54,8, Abschnitt 1b: Fkm 54,8-49,8).

5.7.4 Talwegdynamik

Zunächst wird der Frage nachgegangen, ob die vorhandenen Profile ausreichen, um bei der Talwegdynamik zu schlüssigen Aussagen zu kommen. Im Fall der Salzach liegen alle 200 m Profilaufnahmen vor. Der Abstand der vermessenen Profile ist also in etwa doppelt so groß wie die Flußbettbreite (2 $*$ B_F) und schneidet somit i.M. dreimal die Wellenlänge bzw. Banklänge. Im Falle der Salzach ist somit sichergestellt, daß bei ca. 100 m Flußbettbreite und ca. 200 m Profilabstand die Sohlstruktur der alternierenden Bänke zutreffend erfaßt wird. Man wird aber nicht annehmen dürfen, daß bei 200 m Profilabstand immer der tiefste Kolk in Längsrichtung erfaßt wird, aber dadurch, daß der gezogene Stichprobenumfang immer unveränderlich bleibt (immer am selben Ort, Probenumfang immer einmal aus 200 m), lassen sich über die zeitliche Entwicklung dieser Stichprobe schlüssige Aussagen treffen.
Der Talweg der Salzach wird von markanten Hoch- und Tiefpunkten geprägt und das Gewässerbett in den Beckenlandschaften überwiegend von alternierenden Bänken begleitet. Nach ZARN sind für die Kolktiefe der Profilmessung bei NW die Geschiebeverhältnisse beim Abklingen des vorangegangenen HW maßgebend. Für das Auffüllen der maximalen Kolke genügen aber bereits geringe Geschiebemengen und der Geschiebetransport muß nur lokal im Talweg stattfinden. Die "hydraulische Vorgeschichte" der drei Salzachprofilaufnahmen 1953, 1975 und 1995 in Abb. 74 hat aber gegenüber der zeitlichen Talwegentwicklung (Verflachung des Talwegs durch Erosion) im Freilassinger und Tittmoninger Becken eine untergeordnete Bedeutung. Während den Profilaufnahmen 1953 und 1975 lange bzw. durchschnittlich lange Niedrigwasserperioden vorausgingen (Tagesmittelwerte der 49 bzw. 7 vorausgegangenen Jahre < 3$*$MQ), floß ca. 4 Monate vor der Profilaufnahme 1995 ein mittleres Hochwasser ab.

Im Freilassinger Becken haben die Amplituden des Talwegs von 1953 bis 1995 kontinuierlich abgenommen, verbunden mit einer Erosion der mittleren Sohle (Bezugssystem 1939/41, s. 5.10.3) von 1,5 m (Fkm 58,0) bis 1,0 m (Fkm 49,0). Eine Sichtung von Luftbildern im gleichen Zeitraum ergab, daß

im Freilassinger Becken nur noch wenige ortsfeste Kiesbänke im Bereich von Saalach- Sur- und Oichtenmündung existieren.

Die Entwicklung der mittleren Sohle im Freilassinger Becken dokumentiert die Ausräumung des Sohlspeichers infolge Geschiebedefizits. Die Verflachung des Talwegs kann in erster Linie als Konsequenz der immer dünner werdenden Kiesauflage interpretiert werden, die inzwischen zu dünn geworden ist um alternierende Bänke auszubilden. Im chronischen Geschiebedefizit und dem erhöhten Geschiebetransportvermögen der korrigierten Salzach liegt eine wesentliche Ursache für den Abbau der Kiesbänke im Freilassinger Becken, vgl. [76]. Die Kornvergröberung der Kiesbänke gegenüber dem Untergrund (vgl. Tab. 19) spiegelt zwar das grundsätzliche Selbststabilisierungsvermögen der Salzach wieder (vgl. 5.13), da jedoch die Salzach im Freilassinger Becken sowie in oberhalb gelegenen Flußstrecken zunehmend in feinere Schichten einschneidet trägt das erodierte Feinmaterial zur Verfüllung der Talwege sicherlich bei. Seit Ende der 70er Jahre sind die alternierenden Bänke weitgehend verschwunden. An dieser Stelle nicht dargestellte Auswertungen der Talwege zeigen, daß bis Ende der 60er Jahre die Talwege bis zu 2 m unter dem Talweg von 1995 lagen. 1953 lag die mittlere Sohle noch 1,5 m höher und der Abstand zu den erosionsempfindlichen Schichten war noch ausreichend. Es kann als glücklicher Umstand gewertet werden, daß ab 1977 die Häufigkeit und Dauer größerer Hochwasserereignisse, insbesondere die Anzahl der geschiebeführenden Tage pro Abflußjahr abgenommen hat, andernfalls wäre mit einer stärkeren Talwegeintiefung über längere Strecken in die erosionsempfindlichen Schichten zu rechnen gewesen.

Im Tittmoninger Becken haben die Amplituden des Talwegs von 1953 bis 1995 nur unmerklich abgenommen, die Erosion der mittleren Sohle beträgt i.M. gut 1,0 m. Die Talwege wirken z.T. kulissenhaft verschoben, z.T. liegen Extremwerte von Zwischenaufnahmen über bzw. unter den Talwegen von 1953 und 1995.

Die Entwicklung von Talweg und mittlerer Sohle ist im Tittmoninger Becken schwieriger zu beurteilen. Wie im Freilassinger Becken ist auch hier mit einer ausgeprägten Rinnenstruktur der erosionsempfindlichen Horizonte zu rechnen. Zur Beurteilung stehen aber nur wenige Flußbohrungen entlang beider Ufer zur Verfügung. Im dargestellten Abschnitt lassen sich 5 Aufragungen entlang des bayerischen Ufers nachweisen, auf österreichischer Seite fehlen zwischen Fkm 39,2 bis 27,8 entsprechende Aufschlüsse. Während in den 50er Jahren die Höhen und Tiefen in den Querschnitten relativ symmetrisch verlaufen, werden diese Schwankungen in späteren Jahrzehnten zunehmend schwächer. In den 70er Jahren werden die Tiefeneinschnitte des Talwegs besonders schmal und prägnant.

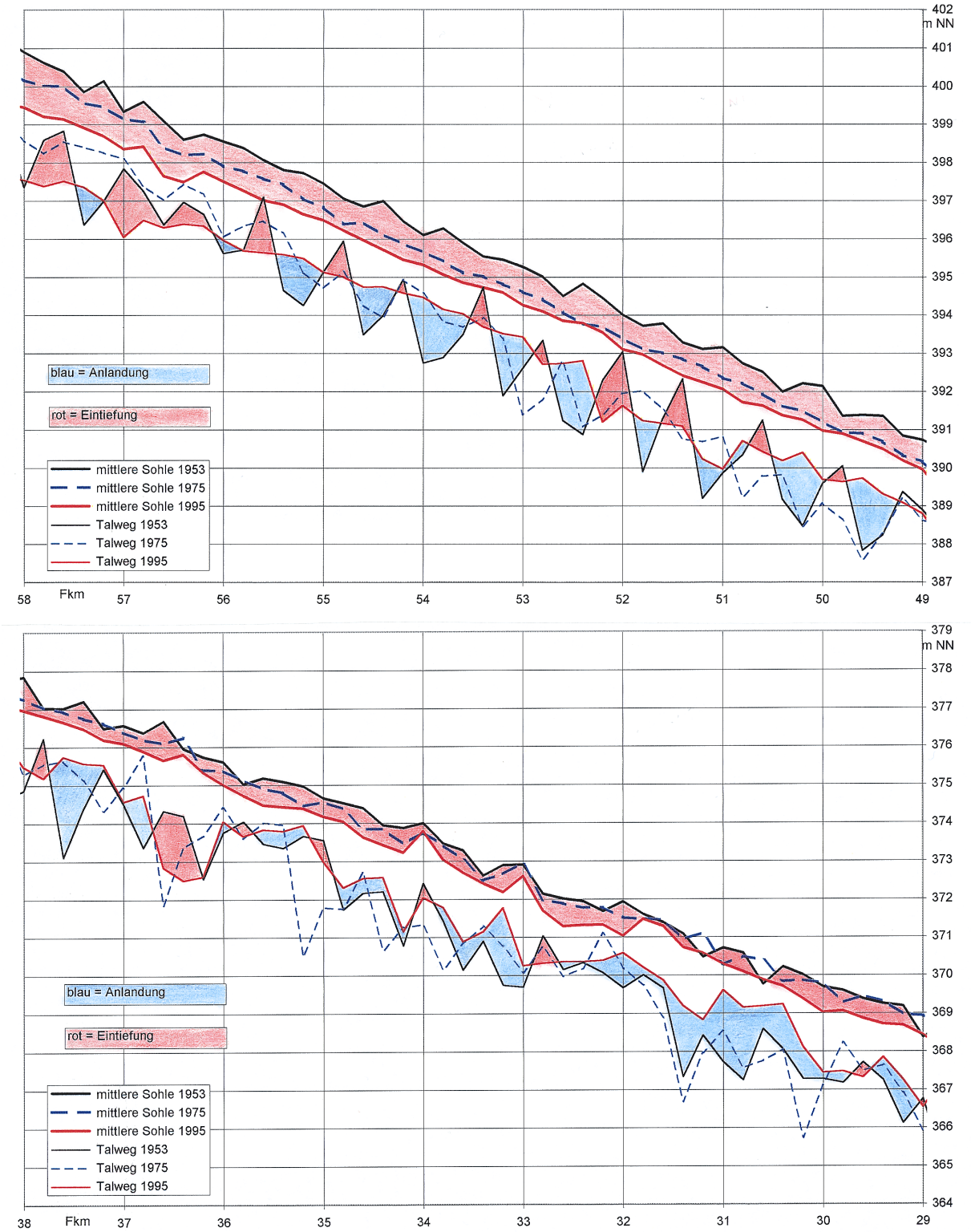


Abbildung 74: Talwegdynamik im Freilassinger und Tittmoninger Becken

Die maximalen Talwege treten im Tittmoninger Becken in den 70er Jahren auf; sie befinden sich meist auf der rechten (österreichischen) Seite. Dies gilt insbesondere für den Talweg 1975 bei Fkm 36,6, 35,2, 33,8, 31,4 und 30,2 im Bereich der Aufragungen auf bayerischer Seite. Z.B. schneidet 1975 der Talweg auf der rechten Seite 1,4 m in diese ein. Wiederholte Uferschäden (zuletzt 1998) auf österreichischer Seite zwischen Fkm 36,2 und 36,0 sind eine Konsequenz daraus, daß hier die erosionsempfindlichen Schichten höher anstehen, als auf der bayerischen Seite, vgl. 3.6.

In 5.7.2 wurde bereits dargestellt, daß in der Literatur das Vorkommen von Kiesbänken als Funktion der Parameter Abflußtiefe, Breite, und mittlerem Korndurchmesser d_m betrachtet, z.B. [71]. Physikalische Modellversuche hierzu wurden und werden i.d.R unter Gleichgewichtsbedingungen oder leichter Anlandungstendenz gefahren (keine zu starken Veränderungen der mittleren Sohllage bzw. des Wasserspiegels). Die Auswertung von Salzachquerschnitten über mehrere Jahrzehnte zeigt nun aber, daß alternierende Bänke stark in Abhängigkeit von der Geschiebezufuhr stehen. Vorbehaltlich der noch wenig erforschten Zusammenhänge scheinen Flüsse mit alternierenden Bänken und Geschiebedefizit von folgenden Begleiterscheinungen geprägt:

- Die Talwegdynamik reduziert sich, der Talweg verflacht zunehmend,
- Höhe und Breite der Kiesbänke nehmen ab,
- die Wellenlänge der Kiesbänke wird kleiner, die Kiesbänke verschwinden allmählich.

Mit den vorhandenen Daten (mittlere Sohle und Talweg) können diese Zusammenhänge systematisch sichtbar gemacht und morphologisch interpretiert werden. Die Auswertungen basieren auf folgenden Annahmen bzw. Zusammenhängen:

- Die Talwege der Querschnitte im 200 m-Abstandsraster können als eine regelmäßig gezogene Stichprobe aus einer Grundgesamtheit der Bettgestaltungsform aufgefaßt werden. Der Stichprobenumfang ist im Fall der Salzach für bankbildende Vorgänge aussagekräftig genug..
- Die alternierenden Bänke der Salzach ziehen sich über eine Länge von mehreren 100 m hin (i.M. etwa 650 m), die Banklänge wird i.d.R. durch 3 Profile im 200 m Abstand abgedeckt.

Es liegt die Vermutung nahe, daß Änderungen des Talwegs repräsentativ sind für das Vorhandensein bzw. die Dynamik der Kiesbankentwicklung. Zahlreiche Profilaufnahmen der vergangenen Jahrzehnte bieten die Gelegenheit, die Talwegentwicklung der Salzach zu vergleichen und Rückschlüsse zu ziehen. Für die Auswertung der Talwegdynamik wurde ein Sigma-Wert analog der Standardabweichung definiert. Die Talwegdynamik ist die Höhendifferenz zweier benachbarter Profile, deren Quadrat über einen Abschnitt aufsummiert wird und durch die Summe der Profile minus ein Profil (n-1) geteilt wird. Aus diesem Wert wird die Wurzel gezogen und somit Sigma erhalten. Von diesem "Brutto"-Wert der Talwegdynamik muß noch in geeigneter Weise der Einfluß des Längsgefälles eliminiert werden, um die "Netto"-Talwegdynamik zu erhalten. Formelschreibweise der "Netto"-Talwegdynamik:

σ_{Netto} [m] = $[\Sigma(\text{Höhe Talweg}_{(i+1)} - \text{Höhe Talweg}_{(i)})^2 / (\text{Anzahl Talwegprofile} - 1)]^{0,5}$
- mittlere Höhendifferenz von benachbarten Profilen

Die Grundzüge bzw. die Methodik wurde erstmals in [49] vorgestellt. Die Vorzüge dieses Verfahrens sind, daß auf bereits ausgewertete Querprofildaten in der Datenbank DBWas zurückgegriffen werden und zusätzliche Erhebungen (Erfassung der Talwege aus gezeichneten Profilen) i.d.R. nicht notwendig sind. Man erhält somit rasch und mit wenig Aufwand einen Überblick über Morphologie und Dynamik von Kiesbänken.

Pauschal unterscheiden sich "Brutto" und "Netto"-Werte der Salzach-Talwegdynamik um 0,2 m. Diesen Wert erhält man, indem man das mittlere Längsgefälle (im vorliegenden Fall 1 m Höhe auf 1000 m Entfernung) mit dem mittleren Profilabstand (200 m) multipliziert. Für einen Überblick der zeitlichen Entwicklung der "Netto"-Talwegdynamik, können folgende Werte in Ansatz gebracht werden:

- Längsgefälle früher maximal 1,2-1,4 ‰, i.M. 0,26 m bezogen auf 200 m Profilabstand,

- Längsgefälle heute minimal 0,9-1,0 ‰, i.M. 0,19 m bezogen auf 200 m Profilabstand.

Die zeitliche Entwicklung der Gefällereduktion hat auf die Netto-Talwegdynamik demnach nur geringen Einfluß im cm-Bereich. Dagegen ist der glättende Einfluß von Hochwasserereignissen auf die Talwegdynamik unverkennbar hoch. Im Vergleich der Profilaufnahme 1953 (lange Niedrigwasserperiode, mit der Profilaufnahme 1954 (Profilaufnahme 3-4 Monate nach einem größeren Hochwasser), reduziert sich die Talwegdynamik um 0,4 bis 0,5 m.

In Abb. 75 wurde für eine detailliertere Darstellung der "Netto"-Talwegdynamik die zeitliche Entwicklung des Gefälles berücksichtigt. Für jeden Teilabschnitt wurde für jede Profilaufnahme eine lineare Regression durchgeführt, deren Gerade eine Steigung aufweist, die gleich dem mittleren Gefälle gesetzt wurde. Zu beachten ist jedoch, daß die mittleren Gefällewerte eines Abschnitts nicht identisch mit dem Produkt aus Gefälle und Länge der Teilabschnitte sind (separate lineare Regression von Teilabschnitten und des Gesamtabschnitts). Bei den Trendlininen handelt es sich entweder um polynomische Linien 2. Ordnung (Abschnitte 2, 3 und 4+5a) oder gleitende Durchschnittswerte aus zwei Perioden (Abschnitt 1).

Abb. 75 zeigt die "Netto"-Talwegdynamik von vier Salzachabschnitten, z.T. sind aber auch nicht erklärbare Unstetigkeiten in der Talwegdynamik enthalten, die insbesondere die Durchbruchsstrecken betreffen (Abschnitte 2 und 4+5a). Dabei muß es sich nicht immer um die Abbildung morphologischer Veränderungen handeln, die Ursache kann u.U. auch auf ungleiche Querschnittsaufnahme, Abflußverhältnisse, Abstand der aufgenommenen Profile, Dichte der Lotpunkte, Qualifizierung des Aufnahmepersonals oder auch auf Aufnahme- oder Ablesefehler zurückzuführen sein, vgl. 5.5. Durch die Darstellung eines gleitenden Mittelwerts erhält man schließlich eine Glättung des unstetigen Verlaufs und die Möglichkeit einer groben Tendenzaussage für die Talwegentwicklung seit 1940. Interessanterweise kann festgestellt werden, daß die "Netto"-Talwegdynamik aller vier Salzachabschnitte in den ersten Jahrzehnten bei 0,9 m liegt, bevor unterschiedliche Trends wirksam werden.

- Abschnitt 1 (Freilassinger Becken): Reduktion von 0,9 m auf 0,2 m.
- Abschnitt 2 (Laufener Enge): gleichbleibend bei 0,9 m.
- Abschnitt 3 (Tittmoninger Becken): Reduktion von 0,9 m auf 0,6 m.
- Abschnitt 4+5a (Durchbruchsstrecke Nonnreit-Burghausen): Anwachsen von 0,9 m auf 1,0 m.

Im Abschnitt 1 (Freilassinger Becken) wurde die "Netto"-Talwegdynamik um 0,7 m am stärksten reduziert. Seit Mitte der 80er Jahre hat sich die Restgeschiebefracht der Saalach durch die Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling etwas erhöht, das bestehende Geschiebedefizit der Saalach hat sich dadurch aber nur wenig verringert. Aus der Salzach unterhalb des KW Urstein bis zur Saalachmündung erhält die Salzach derzeit noch eine Restgeschiebefracht aus Sohlerosion. Die rudimentäre Talweg- bzw. Kiesbankdynamik pendelt um immer tiefere mittlere Sohllagen. Für die morphologische Interpretation sind flußbauliche Eingriffe und bettverändernde Ereignisse von Bedeutung:

- Die ersten beiden Profilaufnahmen sind weniger aussagekräftig, da diese sich über zu lange Aufnahmezeiträume erstreckten. Immerhin kann aber unterstellt werden, daß die Talwegdynamik der 40er Jahre in der selben Größenordnung lag wie in den 50er Jahren.

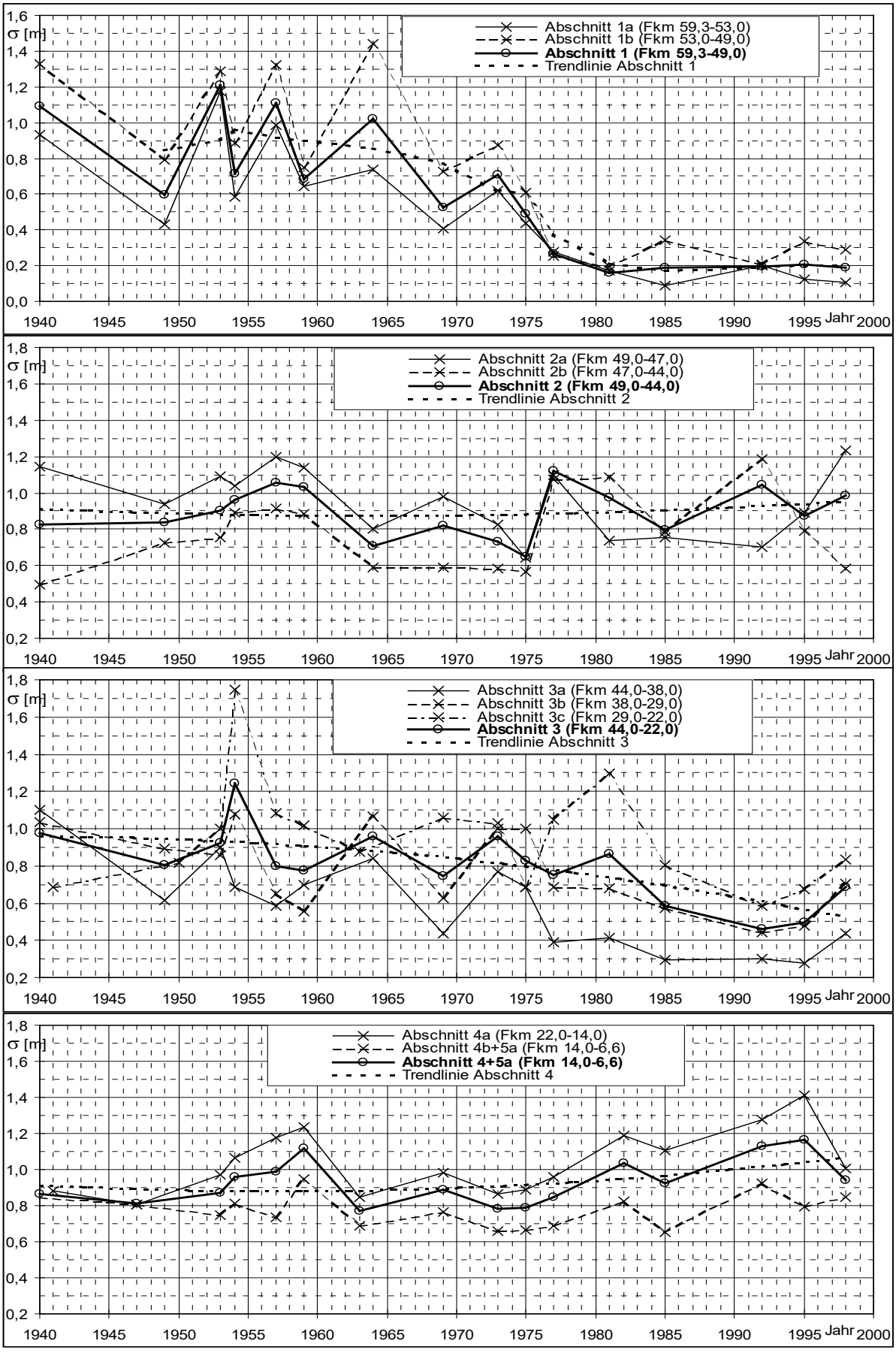


Abbildung 75: „Netto“-Talwegdynamik in den Salzachabschnitten 1 bis 4

- Das Augusthochwasser 1959 verursachte im Stadtgebiet von Salzburg eine plötzliche Sohleintiefung von 1,0 m. Bereits 1954 dürften aus dem Abschnitt Salzburg-Hallein größere Mengen erodiert worden sein (Anlage 20.4: positive Massenbilanz 1953/54 im Freilassinger Becken). Die langfristige Trendentwicklung seit Abschluß der Korrektion wurde durch beide Ereignisse vermutlich sprunghaft beeinflußt (Parallelverschiebung der Trendlinie in Abb. 75 nach unten).
- Die Auswirkungen des Salzachstufenplans (Bau Sohlstufe Hallein 1964/66, Sohlstufe Salzburg 1965/68, KW Urstein 1968/71) reduzierten die Talwegdynamik besonders stark. Um das Jahr 1975 fällt der Gradient der Talwegdynamik am stärksten, der "Störungsschwerpunkt" hat somit das Freilassinger Becken erreicht. Einen weiteren Beleg für das Jahr 1975 findet man in [76], Abbildungen 6 und 7: In der Zeit um 1975 findet die stärkste Reduzierung der Kiesbankhöhen und Kiesbankbreiten statt. Der "Verursacherschwerpunkt" des Salzach-Stufenplans dürfte beim KW Urstein liegen, da die beiden Sohlstufen in Hallein und Salzburg rasch verlandeten und damit kein besonderes Wanderungehindernis für die Restgeschiebefracht darstellten. Unterstellt man als mittlere "Störentfernung" Fkm 75 – Fkm 55 = 20 km und die Bauzeit des KW Urstein 1968/71 bis 1975 als Zeitversatz, so ergibt sich als Wandergeschwindigkeit der Störung die Größenordnung von 3-5 km/a. Die Talwegdynamik des Freilassinger Beckens reagierte somit sehr rasch binnen eines Jahrzehnts auf diese Eingriffe, ein Zeichen für die völlig unzureichende Geschiebezufuhr und die fehlenden Geschiebereserven im Salzachbett.
- Inwieweit die Saalach an der Abnahme der Talwegdynamik beteiligt ist, läßt sich derzeit nicht abschließend beurteilen. Viele Anhaltspunkte sprechen aber dafür, das die Untere Saalach in den letzten Jahrzehnten die Salzach eher gleichmäßig (Ausnahme: 1959) mit einer geringen Restgeschiebefracht gespeist hat. Die beim KW Rott/Freilassing ankommende Restgeschiebefracht wurde seit Betriebsbeginn 1950 mit Spülungen bisher immer bewältigt (kein zusätzlicher Geschiebeumtransport erforderlich). Auswirkungen der Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling sind im Zeitraum 1985/95 entlang der Saalach bis zum Käferhamer Wehr nicht erkennbar (s. 5.10.1), dazu ist die zugegebene Menge wohl zu gering. Aus dem Hochwasser 1995 konnte die Erkenntnis gewonnnen werden, daß die Grobkiese des Luminophorenversuches (20-100 mm) erst von größeren Hochwässern in größeren Mengen weitertransportiert werden, s. 5.6.5. Im Bereich Hammerauer Werkswehr und Zollhauswehr wurde in den letzten Jahrzehnten bedarfsweise angelandetes Material entnommen und im Unterwasser wieder zugegeben. Seit Mitte der 20er Jahre kann unterhalb des Hammerauer Werkswehres der Beginn des Einschneidens der Saalach in feinere Schichten angesetzt werden, vgl. 5.13.
- Die Störungsgeschwindigkeit von Extremereignissen dürfte grundsätzlich eine andere sein als die von flußbaulichen Eingriffen oder der Reaktionsgeschwindigkeit des Beckens selbst. Das Hochwasserereignis 1954 erscheint im Freilassinger Becken als Geschiebeüberschuß im Bilanzzeitraum 1953/54 (für die Profilserie 1959 liegt die vorhergehende Aufnahme von 1957 bereits zu lange zurück), die Störungsgeschwindigkeit im Freilassinger Becken selbst wird in [76] mit ca. 1 km/a angegeben. Diese Größenordnung läßt sich in Abb. 75 im Freilassinger Becken nachvollziehen: Die Talwegdynamikwerte der Abschnitte 1a und 1b unterscheiden sich bis auf 1964 maximal um ca. 0,3 m (1964: ca. 0,7 m). 1964 reagierte die Talwegdynamik im Abschnitt 1a anders als im Abschnitt 1b. Fünf Jahre später (Profilaufnahme 1969) hatte sich die Entwicklung beider Abschnitte wieder einander angeglichen. Wahrscheinliche Ursache: Die "Ausräumung" der Kiesbänke begann zuerst im Abschnitt 1a, dann folgte zeitversetzt der Abschnitt 1b.

Im Abschnitt 2 (Laufener Enge) hat sich die Bandbreite der "Netto"-Talwegdynamik über die Zeit

kaum verändert. Am aussagekräftigsten ist die 5 km lange Gesamtstrecke des Abschnitts 2. Versuchsweise wurden aber zwei kleinere Abschnitte gebildet, in denen zum einen ortsfeste Bänke infolge der Topografie dominieren (Abschnitt 2a, Fkm 49,0 bis 47,0) und zum anderen Bankgestaltungsprozesse eine gewisse Rolle spielen (Abschnitt 2b, Fkm 47,0 bis 44,0). Bis 1975 lag die Talwegdynamik des Abschnittes 2b ca. 0,2 m unter der des Abschnitts 2a, bis 1995 war dies umgekehrt. Eine schlüssige Erklärung für dieses Verhalten bietet sich nicht an. Die Trendlinie für den Abschnitt 2 läßt immerhin den Schluß zu, daß sich trotz der Sohleintiefung (in den letzten Jahrzehnten erodierten knapp 10.000 m^3/a aus dem Abschnitt 2) die Charakteristik der Sohlformen nicht wesentlich geändert hat.

Im Abschnitt 3 (Tittmoninger Becken) hat die "Netto"-Talwegdynamik um etwa ein Drittel abgenommen. Der schleichende "Auszehrungsprozeß" der Kiesbänke ist augenscheinlich. Der geringe Wert im Abschnitt 3c für 1941 ist durch den größeren Profilabstand (alle 400 m) erklärbar. Seit Mitte der 70er Jahre ist ein langsamer, aber stetiger Rückgang der Talwegdynamik zu verzeichnen. Als Ursache dafür kommt der nachlassende Geschiebeeintrag aus Sohlerosion im Freilassinger Beckens in Betracht, so daß die Salzach jetzt auch im Tittmoninger Becken auf das Kiesvolumen des Sohlspeichers zurückgreift und zunehmend weniger Material für die Bildung alternierender Bänke zur Verfügung steht:

- Die Abschnitte 3a, 3b und 3c sind von den Randbedingungen her unterschiedlich zu bewerten.
- Abschnitt 3a hatte schon immer eine verhältnismäßig geringe Kiesauflage und damit wenig Kiesvolumen für die Bildung von Bänken.
- Der Abschnitt 3c ist durch den hydraulischen Rückstau der Nonnreiter Enge bei Hochwasser bei der Bildung der Talwegdynamik begünstigt.
- In der Entwicklung aller drei Abschnitte ist ein gewisser Zeitversatz erkennbar. Während die Entwicklung von 3a und 3b weitgehend synchron abläuft, weicht Abschnitt 3c etwas ab.
- Abschnitt 3a hat seit Mitte der 80er Jahre mit 0,3 m fast das "Beharrungsniveau" des Freilassinger Beckens (0,2 m) erreicht, eine Folge der jahrzehntelang anhaltenden Erosionstendenz, vgl. z.B. Anlage 20.3.
- Abschnitt 3c weist 1954 einen bemerkenswert hohen Peak auf. Vermutlich liegt dies am hohen Massenüberschuß der Bilanzierung 1953/54 (Anlage 20.4, ca. 100.000 m^3). Der Peak 1981 ist trotz Massendefizit in der Bilanzierung 1977/81 entstanden, eine schlüssige Erklärung bietet sich derzeit nicht an. Möglicherweise spielen hydraulische und morphologische Besonderheiten wie Rückstau bei Hochwasser aus der Nonnreiter Enge, Abflußaufteilung Fluß-Vorland, Rehnenbildung (natürlich entstandener uferbegleitender Wall) und temporärer Geschieberückhalt eine Rolle.
- Seit Mitte der 80er Jahre fällt auf, daß alle 3 Teilabschnitte ein homogeneres Verhalten als früher zueinander haben. Das dynamischere "Eigenleben" von Abschnitt 3c wird durch die geringer gewordene Talwegdynamik der Oberliegerabschnitte 3a und 3b möglicherweise beeinträchtigt.

Im Abschnitt 4+5a (Durchbruchsstrecke Nonnreit bis Alzkanalmündung) - ergänzt mit der Laufstrecke 5a bis zur Alzkanalmündung - ist im Laufe der Zeit eine geringe Zunahme der "Netto"-Talwegdynamik zu verzeichnen. Die Zunahme im Abschnitt 4a in der zweiten Hälfte der 50er Jahre kann weniger mit einem Eintrag von Geschiebe in diese Teilstrecke erklärt werden, eher durch eine "Umwälzung" der zumeist ortsfesten Bänke in den zahlreichen Flußkrümmungen durch die Hochwässer 1954 und 1959. Das geringe Anwachsen der Talwegdynamik seit Mitte der 70er Jahre fällt besonders im Abschnitt 4a auf. Die denkbaren Ursachen sind aber vielschichtig und konträr:

- Im Bereich von Krümmungskolken (Anlage 19.1: Fkm 19,6; 17,2 und z.T. 14,4 und 14,6) kommen die maximalen Talwege immer tiefer zu liegen (zunehmend Anschneiden erosionsempfindli-

cher Schichten). In benachbarten Profilen, die außerhalb bzw. weniger stark von Krümmungen beeinflußt sind, ist diese Tiefenerosion dagegen weniger ausgeprägt. Dadurch nehmen die Talwegdifferenzen benachbarter Profile zu (scheinbare Zunahme der Talwegdynamik).

- Denkbar ist aber auch, daß freigelegte, wiederstandsfähigere Schichten (Mergelstein in Anlage 3) die Talwegdifferenzen benachbarter Profile stärker als früher beeinflussen. Die „Netto"-Talwegdynamik hätte damit an Aussagekraft bezüglich der Kiesbänke eingebüßt.
- Die Massenbilanzen (sohlnahes Bezugssystem, Anlage 20.9) sind im langjährigen Mittel insbesondere im Abschnitt 4a relativ ausgeglichen.
- Die relativ großen Mengen des böschungsnah angelandeten Feinmaterials in diesem Abschnitt könnten (vgl. Abb. 80 in 5.8) auch ein Indiz für eine feinere Zusammensetzung des wandernden Geschiebes sein. Dadurch hätte der Talweg nach den Überlegungen von ZARN ([71], Seite 202) auch vergleichmäßigt werden können. Vermutlich spielt aber hier die Besonderheit einer Durchbruchsstrecke herein, deren stark gewundener Gewässerlauf im Gegensatz zu den Beckenlandschaften keine „freie" Ausbildung alternierender Bänke zuläßt.
- Ob eine Vergröberung des Geschiebes eine Rolle spielt kann derzeit nicht beurteilt werden.
- Ein Rückschluß von einer anwachsenden der "Netto"-Talwegdynamik auf eine zunehmende Kiesbankmächtigkeit erscheint im Abschnitt 4+5a in jedem Fall unzulässig.

5.8 Abrieb

Während des Transportes wird das Geschiebe durch Abrieb, Zertrümmerung und Lösung zerkleinert. Die Geschiebezerkleinerung in kiesführenden Flüssen wurde schon früh erkannt (z.B. DARCEL (1857), Feldstudie an der Seine) und von STERNBERG 1875 in einer Fassung formuliert, die bis heute im wesentlichen Gültigkeit besitzt. Das STERNBERG`sche Gesetz besagt, daß das Gewicht der Sedimentkörner exponentiell mit der Distanz in Fließrichtung abnimmt und setzt dabei einen konstanten Abriebkoeffizienten c voraus:

$$P = P_0 \cdot e^{-c \cdot x}$$

wobei P_0 das Geschiebegewicht an der Ausgangsstelle der Betrachtung, P das Gewicht des Geschiebes nach Zurücklegung des Weges x und c der Abriebkoeffizient ist. Unter der Voraussetzung, daß die Geschiebekörner entlang der Fließstrecke einheitliches Gewicht besitzen, kann das Gesetz in gleicher Weise für Geschiebefrachten G und Gefälle I angeschrieben werden. Schließlich kann, wenn man annähernd gleiche Festigkeit der Einzelkörner gegen Abrieb voraussetzt, auch folgende Gesetzmäßigkeit angeschrieben werden:

$$d = d_0 \cdot e^{-c \cdot x / 3}$$

wobei d_0 der Geschiebekorndurchmesser an der Ausgangsstelle der Betrachtung und d jener nach Zurücklegung des Weges x ist. Diese Form des STERNBERG´schen Abriebgesetzes gibt die Möglichkeit, den Abriebkoeffizienten aus der Abnahme des maßgebenden Korndurchmessers d_m entlang des betrachteten Flußlaufes zu berechnen.

Streng genommen gilt dieses Gesetz nur für annähernd gleichbleibende Verhältnisse (Gerinnegeomet-

rie, Geologie, Flußregime, Petrografie des Geschiebes, keine Seitenzubringer mit Abfluß- und Geschieberelevanz), welche für die Salzach nur sehr eingeschränkt gegeben sind. Überdies haben die Erkenntnisse der letzten Jahrzehnte gezeigt, daß der Abrieb gegenüber der Kornsortierung entlang der Fließstrecke i.d.R. nur eine untergeordnete Rolle spielt.

MIKOS hat seine Erfahrungen aus der umfangreichen Feldstudie über den Geschiebeabrieb des Alpenrheins wie folgt zusammengefaßt [61]:

- Die ausgewählte Untersuchungsstrecke muß möglichst gleichmäßig (nur mäßige Sortiereffekte) und lang genug sein um den Geschiebeabrieb messen zu können.
- Wenn in einem Flußsediment viele verschiedene Gesteinsarten vertreten sind, sind kleine Linienproben zur Erfassung von Veränderungen in der lithografischen Zusammensetzung des Flußsedimentes nicht aussagefähig (ca. 100 Steine bzw. 20 kg). Um diese Veränderungen nachweisen zu können, sind große Volumenproben mit petrografischer Untersuchung nötig.
- Um die Veränderung der Kornverteilung bestimmen zu können, sind Volumenproben der Unterschicht erforderlich. Eine Umrechnung von Linienproben der Deckschicht in Volumenproben der Unterschicht hat sich nicht bewährt.
- Eine Umrechnung der Koeffizienten der Größenabnahme in die Koeffizienten der Gewichtsabnahme erfolgt mit Berücksichtigung des tatsächlichen Siebabstandes, der bei der Siebanalyse verwendet wurde.
- Eine Bestimmung des Abriebkoeffizienten kann aus den Größenabnahmen der entnommenen Volumenproben erfolgen. Für den Abriebkoeffizienten wird ein vierparametriger Modellansatz vorgeschlagen, dessen wichtigste Verbesserung darin besteht, daß der Abriebkoeffizient mit dem Abriebweg abnimmt, wobei k_0 die dem STERNBERG-Koeffizenten entsprechende Abriebkomponente [km^{-1}] ist, k_1 die Kantenabrieb (oder Splitterungs-) komponente [km^{-1}] ist, k_2 der Index wie schnell der Kantenabrieb abnimmt [-] und $s+s_0$ die Distanz von den Hauptsedimentquellen [km] beinhaltet. Alle 4 Parameter wurden aus Regressionsanalysen gewonnen.

$$c = k_0 \cdot k_1 \cdot (s + s_0)^{-k2}$$

Aus den Naturdaten (Volumenproben) ergab sich für den Abriebkoeffizienten c entlang der 42 km langen Alpenrheinstrecke zwischen Landquart- und Illmündung eine Gewichtsabnahme von c = 0,0178 km^{-1} auf 0,0036 km^{-1}, aus den Labordaten (VAW-Abriebversuch, [61], [77], [78]) eine Gewichtsabnahme von c = 0,0168 km^{-1} auf 0,0054 km^{-1} bei Versuchsende. Die Versuchsdauer bzw. der Abriebweg in der Trommel wurde in die Flußkilometrierung umgerechnet. Dem flußbaulichen Alpenrheinkonzept der 30er Jahre lag aber ein - viel zu großer - Wert von 0,046 km^{-1} zugrunde.
Für die WRS waren derart umfangreiche Feldanalysen und Laborversuche nicht vorgesehen, zudem lassen die z.T. unmittelbar an der Flußsohle anstehenden tertiären und quartären Schichten, der rasche Wechsel von Becken und Durchbruchsstrecken, z.T. starke Sortiereffekte und der nicht vernachlässigbare Einfluß feinerer Komponenten die Effizienz solcher Untersuchungen fraglich erscheinen. Das eigentliche Ziel der Abriebbestimmung darf aber nicht aus den Augen verloren werden, nämlich den Abrieb größenmäßig zu quantifizieren um dessen Einfluß auf die Massenbilanz der Salzach zutreffend abschätzen zu können. Hierzu werden die bisher vorliegenden Ausarbeitungen gesichtet und bewertet.

An der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde hat DÜLL [35] in den 30er Jahren zahlreiche Abriebversuche durchgeführt. Die Salzach wurde nicht untersucht, jedoch für die Saalach bei Fkm

30,2 der höchste Gewichtsverlust aller Abriebversuche ermittelt: 40,8 % auf 20 Kilometer. Daraus errechnet sich der Abriebkoeffizient c zu 0,0262 km^{-1}. Dieser hohe Wert findet seine Entsprechung einerseits in der Geologie des oberhalb liegenden Unkener Beckens mit relativ weichen Gesteinsarten, welche rasch verwittern und leicht zerfallen, andererseits könnte das untersuchte Geschiebe überproportional durch die ebenfalls bei Fkm 30,2 einmündende Aschauer Ache dominiert gewesen sein.

MAYRHOFER hat 1962 im Bericht der Bundesversuchsanstalt für Wasserbau in Wien über die Berechnung des Ausgleichsgefälles der Salzach im Stadtgebiet von Salzburg [30] einen Abriebkoeffizienten von 0,0175 km^{-1} ermittelt. Er ermittelte den Wert über die Kornverkleinerung auf 43,6 km zwischen Fkm 82,95 mit d_m = 29,0 mm und Fkm 39,25 mit d_m = 22,5 mm und bemerkte, daß die ihm vorliegenden Geschiebemischungslinien "keinen verläßlichen Anhaltspunkt über die Größe des spezifischen Abriebkoeffizienten" liefern und der errechnete Wert etwas kleiner sei, "als die Angaben, die in der Literatur von ähnlichen Flußstrecken zu finden sind (c = 0,020 bis 0,043)"

KERSCHBAUMER [34] erwähnt 1968 im Bericht der 8. Flußbautagung in Salzburg, daß der von MAYRHOFER angesetzte Abriebkoeffizient "sehr niedrig" angenommen worden sei. Aus der von ihm angegebenen Ausgleichslinie für den mittleren Durchmesser des wandernden Geschiebes ermittelte er einen Abriebkoeffizienten von 0,0690 km^{-1}.

Im LfW-Informationsbericht 2/80 [6] über die flußmorphologische Entwicklung der Salzach von der Saalachmündung bis zur Mündung in den Inn wurden die o.g. Werte als im Mittelwert für die Gesamtstrecke zu hoch angesehen, deren Gültigkeit auf Teilstrecken beschränkt sein dürfte. Der Abriebskoeffizient wurde nach der STERNBERG-Formel in der Fassung von PUTZINGER [88] ermittelt, welche durch Berücksichtigung eines Faktors im Exponenten der Formel die 7/3-fachen Abriebwerte gegenüber der Originalfassung von STERNBERG erbringt ($c = 5{,}25 \cdot \log(\text{Anfangsgefälle/Endgefälle}) / \text{Transportstrecke}$). Für den Zeitraum 1969/77 wurde die Erosionsbasis bei Fkm 15,0 angesetzt, der Abtragsüberschuß (Wert der Massenbilanz abzüglich Kiesentnahmen) betrug 808.600 m^3:

- Anfangsgefälle aus mittlerer Sohle 1964, Fkm 59,0 - 49,0 = 1,135 ‰
- Endgefälle aus Mittlerer Sohle 1964, Fkm 26,0 - 16,0 = 0,970 ‰
- STERNBERG-Koeffizient = (5,25 / 43) · log(1,135 / 0,970) = 0,0083 km^{-1}

Aus einer vergleichenden Berechnung (NW-spiegelfestlegung von 1961, Anfangsgefälle 1,11 ‰) wurde ein etwas kleinerer Wert (0,0072 km^{-1}) erhalten. Für die weiteren Berechnungen wurde der STERNBERG-Koeffizient 0,0080 km^{-1} verwendet.

Eine Aktualisierung des Berechnungsansatzes von [6] in [49] für den Zeitraum 1977/92 brachte einen Rückgang des Abriebs (Erosionsbasis bei Fkm 22,0; Abtragsüberschuß 556.701 m^3):

- Anfangsgefälle aus NW-Spiegelfestlegung 1994, Fkm 59,0 - 49,0 = 0,980 ‰
- Endgefälle aus NW-Spiegelfestlegung 1994, Fkm 38,0 - 22,0 = 0,930 ‰
- STERNBERG-Koeffizient = (5,25 / 37) · log(0,980 / 0,930) = 0,0032 km^{-1}

OGRIS hat 1991 in einer flußmorphologischen Studie der GUS [23] ein mathematisches Geschiebetransportmodell verwendet, welches den Abrieb mit c = 0,0100 km^{-1} berücksichtigte. Abgesehen von den Bereichen mit stabiler Felssohle ohne Abrieb (Salzachöfen, Burgberg Hohenwerfen) wurde dieser Wert konstant über den ganzen Untersuchungsbereich von Bischofshofen (Fkm 117,1) bis St. Georgen

(Fkm 37,4) angesetzt.
Im Zuge der WRS erhielt die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz 1996 den Auftrag, Abriebversuche an Salzachgeschiebe durchzuführen [79]. Der Bericht greift wesentliche Aspekte der Abriebsquantifizierung auf:

- Die Salzach greift bereits örtlich die erosionsanfällige Unterlage an (Einfluß der Geologie).
- Entlang der betrachteten Flußstrecke läßt der mittlere Korndurchmesser der Unterschicht keine Tendenz zur Abnahme erkennen.
- In der petrografischen Zusammensetzung des Geschiebes läßt sich kein bestimmter Trend feststellen, die Hauptkomponenten Karbonatgestein und Kristallin schwanken in bestimmten Grenzen. Eine signifikante Anreicherung abriebresistenterer Kieselgesteine gegenüber den anderen Komponenten ist auf der ca. 50 km langen Strecke nicht erkennbar.

Der Abriebkoeffizient nach [6] von 0,0080 km^{-1} "erscheint anhand neuerer Untersuchungen an Rheingeschiebe als zu hoch gegriffen".

Die Ergebnisse des BfG-Abriebversuchs wurden hinsichtlich anderer Abriebversuche (Micro-Deval Test für den Straßenbau, VAW-Versuch) interpretiert (Minimum BfG: c = 0,0003 km^{-1}, Maximum VAW-Extrapolation: c = 0,0015 km^{-1}). Da der BfG-Versuch eher für oberflächennahe Transportvorgänge (Rhein) zutreffende Ergebnisse liefert, der VAW-Versuch dagegen für Flüsse mit stärkerer Umwälzung der Sohle (Alpenrhein), zu denen auch die Salzach zu rechnen ist, dürften in Richtung VAW-Versuche extrapolierte BfG-Ergebnisse eher die Realität erfassen.

Im Zusammenhang mit der Rahmenuntersuchung Chiemsee, Tiroler Achen und weiterer Zuflüsse erhielt die BfG 1997 einen weiteren Auftrag zu Abrieb und Schwebstoffproduktion der Tiroler Achen [80]. Auch hier erbrachten die Abriebversuche die gleiche Größenordnung wie an der Salzach: "Dies war angesichts der ähnlichen petrografischen Zusammensetzung und des ähnlich guten Rundungsgrades auch zu erwarten". Die standardisierte Versuchszusammensetzung (4-8 mm: 10 %, 8-16 mm: 20 % 16-32 mm: 50 % 32-64 mm: 20 %) wurde in zwei weiteren Tests modifiziert:

- Durch eine Verdoppelung der Versuchsmenge erhöhte sich der Abrieb um 25 %. Bandbreite nach 50 km Laufstrecke: $0,0006 < c < 0,0020$ km^{-1}.
- Die 2,66-fache Versuchsmenge mit veränderten Zusammensetzung (Sand und Kies < 4 mm mit 25 % Anteil) erbrachte einen ca. 10-fach höheren Masseverlust als Versuche mit sandfreien Proben. Nach 50 km Laufstrecke: c = 0,0060 km^{-1}.

Die Sandfraktionen wurden beim Abriebversuch bis zu 90 % zerrieben, die Kiesfraktionen > 4 mm etwa mit 8 %. Der vorherrschende Prozess in der Abriebtrommel ist demnach das Zerreiben und Zertrümmern von Sandkörnern durch die groben Kiesgerölle. Folge: Der entstehende Feinanteil vergrößert die Schwebstofffracht, der mittlere Korndurchmesser des Geschiebes wird vergröbert, falls die Möglichkeit fehlt kleinere Fraktionen z.B. der Gewässersohle zu ergänzen.

In Anbetracht der vergleichbaren Verhältnisse von Tiroler Achen und Salzach (bei Hochwasser eine vollständige Umwälzung der Sohle, bei Niedrigwasser erheblicher Sandtransport) können die Folgerungen aus [80] auch für die Salzach Anwendung finden: Zwischen Hochwasser und Niedrigwasser "gibt es eine Reihe von Zuständen in denen Sand und Kies in unterschiedlichen Mengenverhältnissen transportiert werden. Ein Teil des Sandes geht dabei in Suspension und unterliegt dann nicht mehr dem Abriebprozeß. Insofern dürfte die ... festgestellte 90 %ige Sandelimination in der Natur kaum vor-

kommen und stellt deshalb eine Extremsituation dar. Andererseits ist der BfG-Standardversuch, der sich auf den Abrieb in der Kiesfraktion > 4 mm beschränkt, nicht in jedem Fall ausreichend naturähnlich, auch wenn damit am Mittelrhein akzeptable Ergebnisse erzielt worden sind." Abschließend wird ein Abriebkoeffizient von 0,0050 km^{-1} empfohlen.

Schon BURZ hat auf die Bedeutung der Sandfraktionen bei der Ermittlung des Abriebkoeffizienten hingewiesen. In seinem Beitrag Abrieb und Sohlgefälle aus dem Jahre 1965 [81] stellt er eine grafische Methode vor, mittels der aus Gefälle und Fließweg der Abriebkoeffizient bestimmt werden kann. Im Fall der Salzach führt diese Methode nicht zum Ziel, da die rasche Abfolge von Becken und Durchbruchsstrecken sowie die zeitliche Entwicklung des Sohlgefälles eine Punktwolke produzieren, der eine Regressionsgerade nicht mehr zugeordnet werden kann. Da die Salzach entlang der Fließstrecke keine Tendenz zur Abnahme des mittleren Korndurchmessers aufweist (Einfluß der feineren Schichten unter der Kiesauflage auf die Kornzusammensetzung) ist auch der Abriebansatz über Kornverkleinerung in Fließrichtung nicht anwendbar. Als einzige Möglichkeit verbleibt die experimentelle Bestimmung des Abriebkoeffizienten.

Im Rahmen der Saalachstudie erhielt die BfG erneut einen Auftrag zur Untersuchung des Abriebverhaltens von Geschiebe aus Saalach und Salzach [82]. Jede Probe wurde 2 Versuchen unterworfen, einem Standardversuch mit 5 kg, der nur Kiesfraktionen > 4 mm berücksichtigt und einem Zusatzversuch mit 13kg Einwaage. Die Kornzusammensetzung der verwendeten Mischung ist aus Tab. 22 ersichtlich:

Kornzusammensetzung der BfG-Abriebversuche an Saalach- und Salzachgeschiebe						**Tabelle 22**
Fraktion	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	32-64 mm	d_m [mm]
Standardversuch	0 %	10 %	20 %	50 %	20 %	24,60
Zusatzversuch	22 %	8 %	15 %	40 %	15 %	19,52

GÖLZ [82] beschreibt die Ergebnisse nach 50,9 km Versuchslaufstrecke wie folgt: „ Wie ... zu entnehmen ist, sind die Massenverluste im Zusatzversuch 4-9 mal höher als im Standardversuch und liegen für das Saalachgeschiebe zwischen 14,1 % (Saalachmündung) und 19,8 % (Fkm 30,2). Bereits bei den Abriebversuchen am Geschiebe der Tiroler Achen ... wurde nachgewiesen, daß die zugemischte Sandfraktion beim Abriebversuch nahezu vollständig zerrieben wird und auch die Fraktion 2-4 mm stark an Masse verliert.“ Ferner: „Wie schon für die Tiroler Achen wird auch ... an der Saalach vorgeschlagen, vorläufig mit einem Abriebkoeffizienten von 0,005 km^{-1} zu arbeiten.“

Im Rahmen der BfG-Untersuchung versuchte GÖLZ auch eine Antwort auf den extrem hohen Masseverlust von Saalachgeschiebe zu geben, wie ihn DÜLL [35] festgestellt hatte. Für das Geschiebe aus der Aschauer Klamm ergab sich im BfG-Zusatzversuch mit 50,9 km Versuchslaufstrecke ein Masseverlust von 23,9 %. „Es ist nun vorstellbar, daß die von DÜLL benutzte Probe neben wenigen, sehr groben Steinen viel feinkörniges Material enthalten hat. Sollte letzteres ähnliche Eigenschaften aufgewiesen haben wie das Material am Mündungskegel der Aschauer Klamm, so ist ein (extrapolierter) Massenverlust von ca. 60 % auf 50 km, wie ihn DÜLL bestimmt hat, durchaus plausibel.“

In Anlehnung an die Ergebnisse der BfG wird für die weiteren Untersuchungen an Salzach und Saalach ein Abriebkoeffizient von 0,0050 km^{-1} verwendet.

5.9 Schwebstoff

In Bayern werden amtliche Schwebstoffmessstellen an der Salzach am Pegel Burghausen (Fkm 11,4) seit 1930 und an der Saalach am Pegel Unterjettenberg (Fkm 26,0) seit 1929 betrieben. An diesen beiden Messstellen liegen somit über 70-jährige Messreihen vor, die regelmäßig im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch veröffentlicht werden, vgl. z.B. [42]. Tab. 23 enthält eine Übersicht von mittleren jährlichen Schwebstoffrachten beider Meßstellen.

Mittlere jährliche Schwebstofffracht von Saalach und Salzach			Tabelle 23
Salzach Meßstelle Pegel Burghausen Fkm 11,4		Saalach Meßstelle Pegel Unterjettenberg Fkm 26,0	
Jahresreihe	mittlere jährliche Fracht	Jahresreihe	mittlere jährliche Fracht
1930/55	1.090.000 t	1929/55	330.000 t
1951/70	2.030.000 t	1956/65	430.000 t
1971/91	1.370.000 t	1966/70	220.000 t
		1971/80	210.000 t
		1981/91	260.000 t

Im Zuge der Grundlagenerhebungen der WRS wurden zur Erfassung der schwebstoffgebundenen Stoffbelastung 1991 und 1992 zusätzliche Schwebstoffmessungen am Pegel Laufen durchgeführt. (Bayer. Landesanstalt für Wasserforschung 1994, vgl. [29]).

Die dabei ermittelten Jahresfrachten weichen jedoch wegen unterschiedlicher Entnahmemethoden von den Ergebnissen an der amtlichen Messstelle Burghausen stark ab. So werden in Laufen im Abflussjahr 1991 mit den verwendeten 24 Stunden-Mischproben nur rd. 76 % der Jahresfracht der Messstelle Burghausen erreicht, wo die bei Hochwasser stark ansteigende Schwebstoffkonzentration durch besondere Verdichtung der Probenahme besser erfasst wird. Die für das Abflussjahr 1992 angegebene Schwebstoffjahresfracht übersteigt diejenige der Messstelle Burghausen hingegen um den 1,8-fachen Betrag.

Wegen der unzulänglichen Erfassung der den Hauptanteil der Jahresfracht bringenden Hochwasserperioden sollten die Schwebstoffwerte von Laufen nicht verwendet werden.

Von der GUS wurde in der Teiluntersuchung 1.1 (Gewässercharakteristik und Abflußverhältnisse; Gutachten des PARACELSUS-Forschungsinstituts; 1988; [41], zitiert nach [42]) für die Station Salzburg im Zeitraum 1.5.1983 bis 30.4.1984 eine Jahresfracht von 307.810 t Schwebstoffen ermittelt.

Darin enthalten ist die Spülung des Stauraumes Urstein im Zeitraum 14./15.06.1983.

Die hier ermittelte Schwebstofffracht der Salzach ist erheblich niedriger als die 1990/92 gemessene in der Salzach bei Laufen. Es ist aber zu berücksichtigen, daß methodische Unterschiede bei beiden Untersuchungen bestehen. Ausgesprochene Hochwasserabflüsse scheinen bei der Untersuchung des PARACELSUS-INSTITUTS nicht enthalten zu sein. Auch wenn man berücksichtigt, daß bei Laufen auch die Schwebstoffe aus der Saalach enthalten sind, erscheinen die höheren Schwebstofffrachten als wahrscheinlicher. So haben z.B. auch die langjährigen Messungen im Schwebstoffmeßprogramm der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung an der Salzach bei Burghausen im Mittel 1971/91 eine Schwebstofffracht von 1.370.000 t/a ergeben. Dies deckt sich in der Größenordnung gut mit den im Meßprogramm 1990/92 bei Laufen ermittelten Werten.
In Abb. 76 sind die jährlichen Schwebstoffrachten und Abflußsummen der Meßstellen Burghausen/Salzach und Unterjettenberg/Saalach seit Beobachtungsbeginn bis 1996 dargestellt, wobei die starken abflußbedingten jährlichen Schwankungen auffallen.

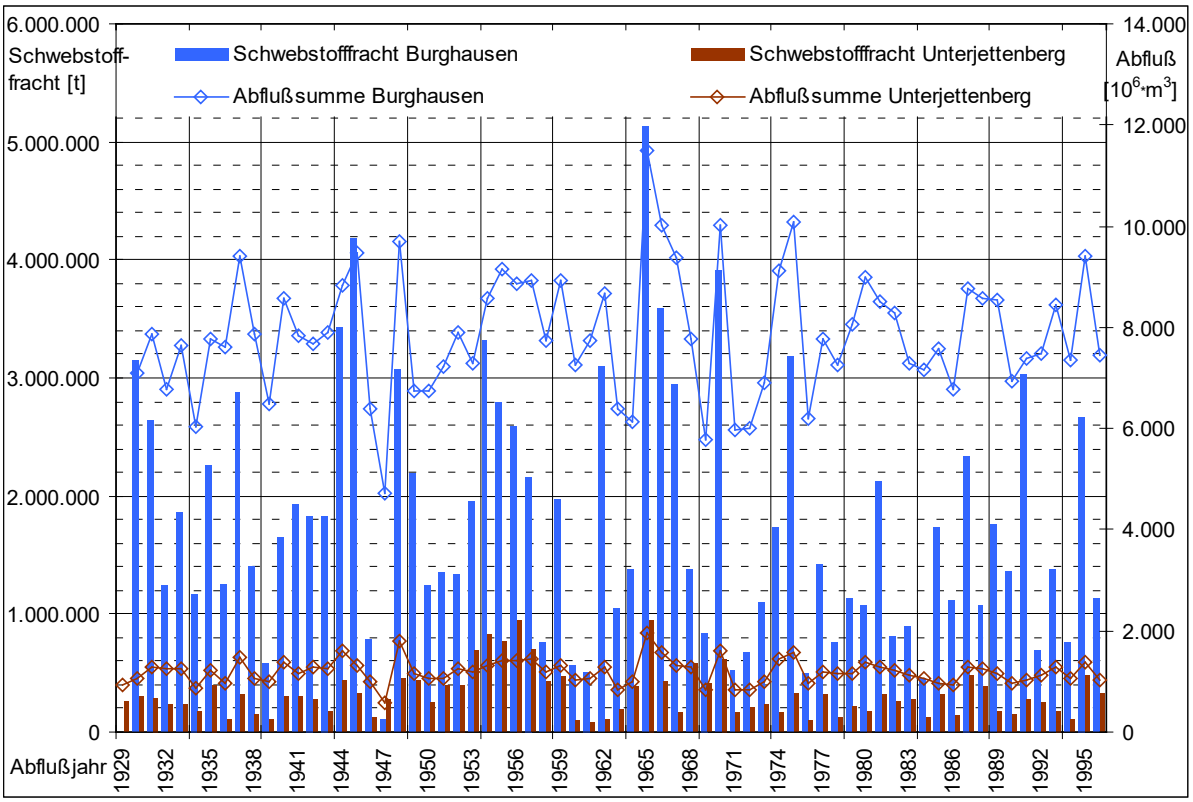


Abbildung 76: Schwebstofffrachten und Abflußsummen der Meßstellen Burghausen/Salzach und Unterjettenberg/Saalach

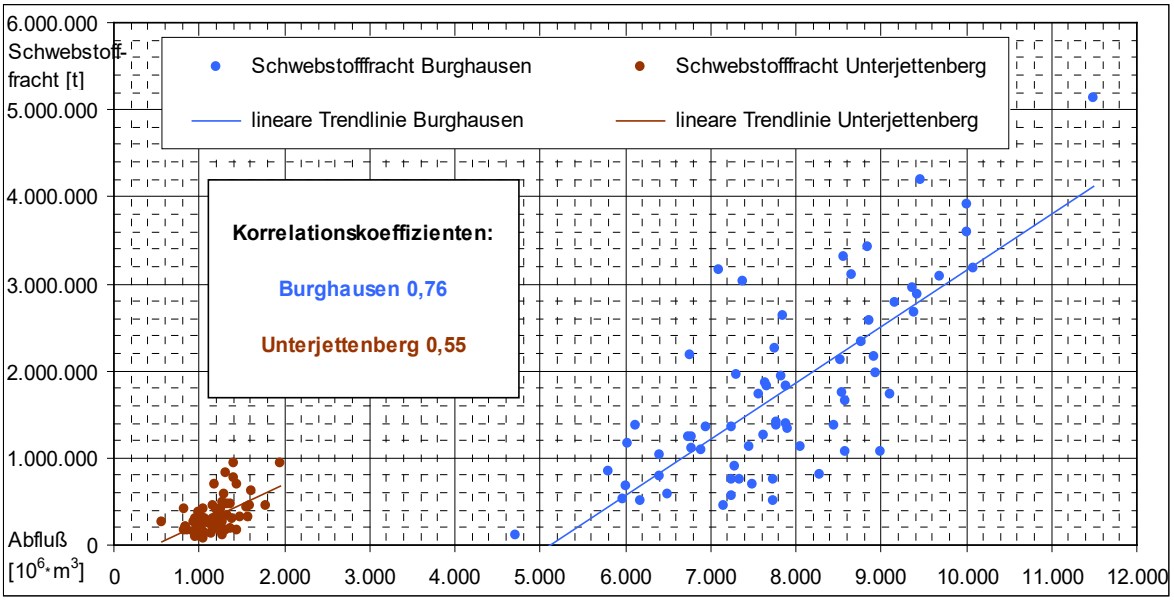


Abbildung 77: Korrelation von Schwebstofffracht und Abflußsummen der Meßstellen Burghausen/Salzach und Unterjettenberg/Saalach

Abb. 77 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Schwebstofffracht und Abflußsumme. Je näher der Korrelationskoeffizient bei 1 liegt, desto besser die Korrelation zwischen Abfluß und Fracht und desto besser lassen sich die beiden Punktwolken näherungsweise durch Trendlinien (funktionaler Zusammenhang von Abfluß und Fracht) beschreiben. Die erhebliche Streuung beider Meßreihen zeigt die Notwendigkeit auf, Schwebstofffrachten soweit als möglich zu messen und nicht über funktionale Zusammenhänge aus dem Abfluß zu ermitteln.

Die Schwebstoffproben werden jeweils an der Oberfläche entnommen (Einpunktmessung). Zur Kontrolle der Aussagekraft der Einzelmessungen werden zusätzliche Vielpunktmessungen in mehreren Meßlotrechen und verschiedenen Entnahmetiefen durchgeführt. Die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Meßquerschnitt als Ergebnis einer Vielpunktmessung ist beispielhaft in Abb. 78 für die Messung an der Meßstelle Burghausen/Salzach vom 09.07.1990 (Abfluß 740 m^3/s) dargestellt.

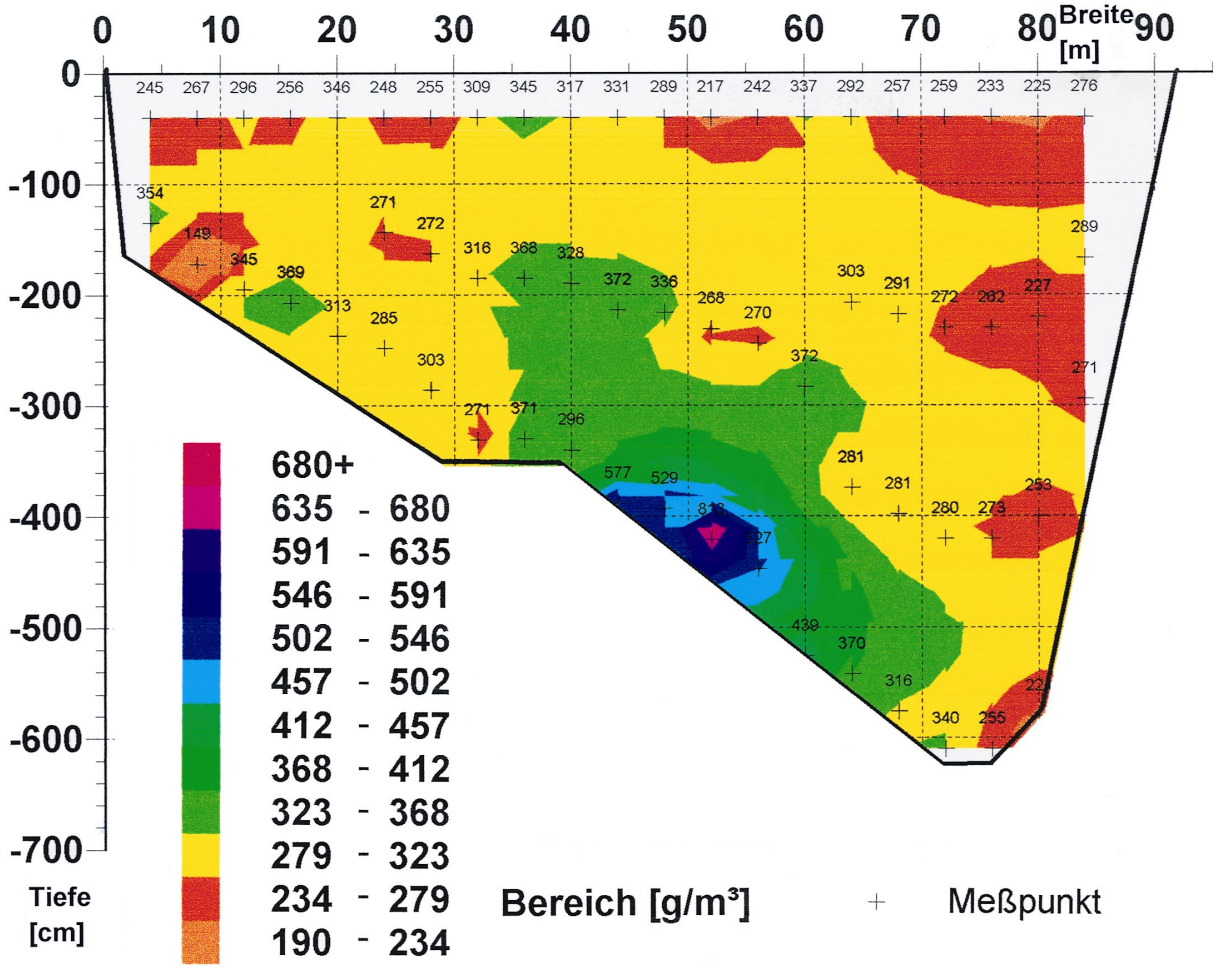


Abbildung 78: Schwebstoffverteilung der Meßstelle Burghausen/Salzach vom 09.07.1990, Abfluß 740 m^3/s

Von ZANKE [83] liegt eine umfangreiche Darstellung zum Beginn der Suspendierung von Sedimenten vor. In Wasser beträgt die Schubspannungsgeschwindigkeit bei Beginn der Suspendierung etwa das 0,4-fache der Sinkgeschwindigkeit. Für Körner > 2 mm ist die Schubspannungsgeschwindigkeit bei Beginn der Suspendierung rund 2,2 mal größer als die Schubspannungsgeschwindigkeit bei Beginn der Sedimentbewegung. Für Sand in 20°C warmen Wasser werden beide Schubspannungsgeschwindigkeiten für ca. 0,22 mm Korndurchmesser gleich. Für kleinere Korngrößen ist demnach Transport in Suspension schon möglich, wenn die Sohle noch in Ruhe ist.

In 5.6 wurde bei der Festlegung der Grenze Kies-Sand auf die DIN 18196 (d_{40} > 2 mm) verwiesen. KRESSER [84] hat für die Grenze zwischen Geschiebe und Schwebstoffen die Beziehung $d_{gr} = v^2 / (360 \cdot g)$ angegeben. Nach dieser sehr einfach zu handhabenden Beziehung ist der Grenz-Korndurchmesser d_{gr} nur von der mittleren Fließgeschwindigkeit v abhängig. Vom IWB wurde 1997 mit der Salzachprofilserie 1977 der Zusammenhang Abfluß-Schwebstoffgrenzkorndurchmesser genauer analysiert. In Abb. 79 sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt. Aus der Anzahl der Profile kann für jeden Abfluß eine Häufigkeitssummenlinie für die mittlere Fließgeschwindigkeit angegeben werden. Bei 500 m^3/s (ca. doppeltes MQ) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit aller Profile (t = 50 %) bei ca. 1,95 m/s. Der Grenz-Korndurchmesser d_{gr} für diese Geschwindigkeit liegt bei ca. 1,1 mm. Für ein kleineres Hochwasser mit 1500 m^3/s und ca. 2,80 m/s liegt d_{gr} bei ca. 2,2 mm (ca. untere Gren-

ze Feinkies).

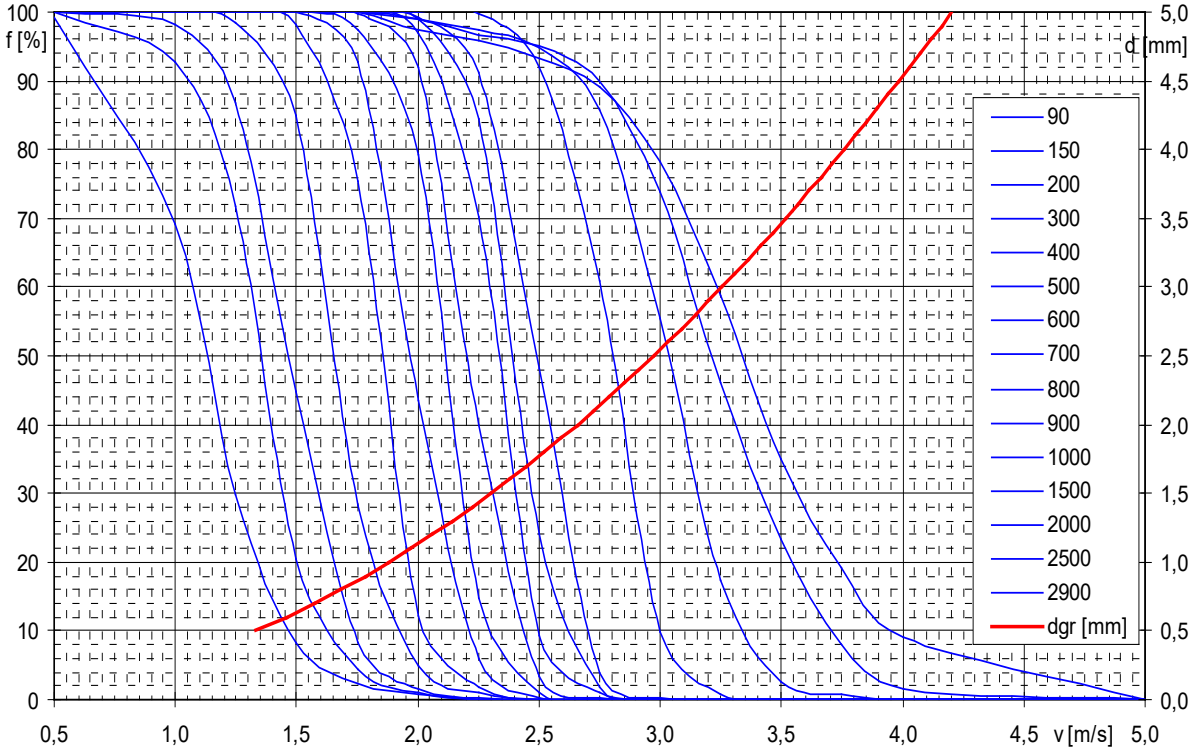


Abbildung 79: Mittlere Fließgeschwindigkeiten und Grenz-Korndurchmesser nach KRESSER

Neben der Schwebstoffmessung im Gewässer sind auch Ablagerungen im Gewässer und Vorlandbereichen zu beachten. Solche Ablagerungen können meßtechnisch nur über aufwendige Vermessungen erfaßt werden. Die in 5.7 und 5.13.6 angesprochene Rehnenbildung ist eine Erscheinungsform, die bei schwebstoffreichen, dealpinen Gewässern wie Ammer, Mangfall, Tiroler Achen, Saalach etc. in Erscheinung tritt. An der Salzach tritt sie insbesondere unterhalb des KW Urstein (meterhohe Anlandungen im Böschungsbereich engen den Fließquerschnitt merklich ein, vgl. Abb. 34 und Anlage 22.9f) und im Tittmoninger Becken auf. Je nach Stauraumfüllung und Abflußereignis werden je Spülung 400.000 bis 800.000 m^3 Spülfracht freigesetzt, die zum größten Teil aus Feinteilen besteht, vgl. Abb. 123 in 5.12.2.4. Im Tittmoninger Becken wurde auf bayerischer Seite der Treppelweg seit ca. 4 Jahrzehnten z.T. mehrere Meter hoch von Feinteilen überlagert und durch Bewuchs verfestigt.
SCHULTE [85] zeigte am Beispiel der Elsenz, daß der ereignisbezogene Anteil abgelagerter Sedimentmächtigkeiten > 10 cm nur im Bereich weniger % der Gesamtsedimentfläche liegt. Derart genaue Höhenangaben sind aber nur mit äußerst aufwendigen Vermessungen zu erzielen. Welche Schwebstoffmengen letztlich in den Becken von Freilassing und Tittmoning abgelagert wurden, kann auch nicht annähernd quantifiziert werden, da hinreichend präzise Flächenvermessungen fehlen. Rasch aufkommender Bewuchs erschwert zudem eine höhengenaue Erfassung der Geländestruktur. So ist beim derzeit vorhandenen Salzach-DGM ein systembedingter Höhenfehler von +/- 25 cm vorhanden. Mit erfaßter Bewuchs verfälscht zudem die tatsächliche Sedimentationsmenge durch zusätzliche „Biomasse“.

Im Böschungsbereich der Flußprofile kann mittels unterschiedlicher Lotrechtendefinitionen eine quantitative Abschätzung erfolgen. In Anlage 20.9 sind die mittleren jährlichen Massensummenlinien mit

unterschiedlichen Lotrechtendefinitionen dargestellt. Die alte Definition der Lotrechten geht auf die Jahre 1939/41 zurück, die Begrenzungen lagen seinerzeit i.d.R. außerhalb der Böschungen, z.T. auch über 10 m von der Böschungsoberkante entfernt. Die neue Lotrechtendefinition in Anlage 20.9 orientiert sich am Böschungsfuß der letzten beiden Profilaufnahmen 1995 und 1998. In erster Näherung entspricht der zwischen beiden Lotrechtendefinitionen liegende Bereich dem Anlandungsvolumen im Böschungsbereich weitgehend. Flußbauliche Eingriffe im Böschungsbereich beschränkten sich im Zeitraum 1953/98 auf lokale Bereiche, diese wurden ebenso wie andere mögliche Fehlerquellen in der Anlandungs-Massensummenlinie von Abb. 80 vernachlässigt. Aus Abb. 80 kann abgelesen werden, daß seit 1975 die ersten 5.000 m^3/a Anlandung in der südlichen Hälfte des Freilassinger Beckens erfolgen während im Tittmoninger Becken eine abnehmende Tendenz der Böschungsanlandung festgestellt werden kann.

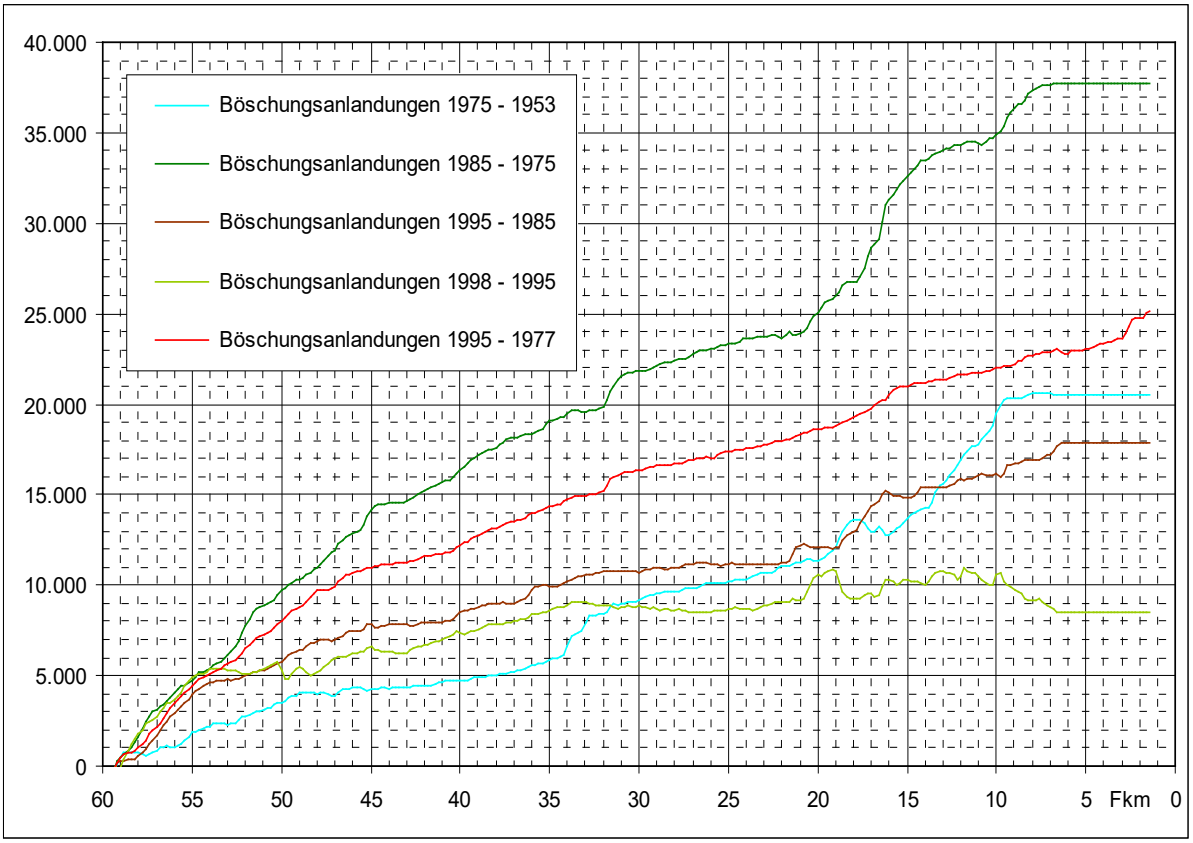


Abbildung 80: Massensummenlinie des Anlandungsvolumens im Böschungsbereich der Salzach, abgeschätzt aus unterschiedlichen Lotrechtendefinitionen im Böschungsbereich

5.10 Massenbilanzierung der Feststoffe

In 5.10 wird die Massenbilanzierung der Feststoffe (Geschiebe und ggf. vorhandene Feinanteile) in den beiden Zulaufstrecken Saalach (5.10.1) und Salzach oberhalb der Saalachmündung (5.10.2) sowie der Salzach unterhalb der Saalachmündung (5.10.3) dargestellt:

- Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung: Hinweise zur Profildatenlage, Flußausstattung und den Besonderheiten einzelner Streckenabschnitte.
- Jährliche Volumenänderung: Überblick zur Volumenänderung einzelner Abschnitte.
- Jährliche Sohländerung, mittlere Sohllage: Überblick zur Entwicklung der Sohllage.
- Massenbilanzierung und Massensummenlinie: Detailliertere Beschreibung der Entwicklung.
- Weitere Aussagen: Literaturangaben, gesonderte Auswertungen.

5.10.1 Saalach (Mündungsstrecke)

5.10.1.1 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung

In 5.5 wurden die unterschiedlichen Salzach-Bezugssysteme, bestehend aus Horizont, linker und rechter Lotrechte (s. Abb. 34) bereits angesprochen. Entlang der Saalach entstanden unterschiedliche Klußkilometerdefinitionen (Fkm-Einteilung der bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung und der DB Energie), die erst vor einigen Jahren vereinheitlicht wurden. Die Ergebnisse von Massenbilanzierungen sind wegen der unterschiedlichen Bezugssysteme und deren Fkm-Einteilung nur mit Einschränkungen vergleichbar.

Im Zuge der WRS wurde eine Auswahl von Saalachprofilen digitalisiert (Unterjettenberg bis Talsperre Kibling, Zollhauswehr bis Saalachmündung) und auf DBWas eingespielt. Die Lageeinpassung einschließlich Plausibilitätskontrollen konnten aber nur für den von der WRS zu bearbeitenden Abschnitt I abgeschlossen werden. Für diesen Abschnitt liegen seit 1920 Profile in digitaler Form vor, bei der Auswahl der Profilaufnahmen wurde auf eine zeitliche Entsprechung zur Salzach geachtet. Gegenwärtig werden vom WWA Traunstein Profilaufnahmen aus der Zeit 1911/18 digital erfaßt und aufbereitet, die überaus zeitaufwendige Einpassung in den vorhandenen Profildatenbestand kann im Rahmen dieser Untersuchung aber nicht mehr abgewartet werden. Folgende Auswertungen stehen zur Verfügung:

- Ältere Massenbilanzierungen aus Beiträgen und Untersuchungen der LfG und des LfW,
- auf der DBWas verfügbare Profildaten im Zeitraum 1981/99 und die nach DBWas-Bezugssystem ermittelten Flächenwerte und
- eine Neubearbeitung des Abschnitts I im Zeitraum 1920/99 für die alle digitalisierten und auf DBWas verfügbaren Profildaten in ein einheitliches „sohlnahes“ Bezugssystem (die Lotrechten liegen im Böschungsbereich nahe des Böschungsfußes) überführt und ineinander lagemäßig eingepaßt.

Die Profilauswertung (Flächenberechnung, Bestimmung von Talweg und mittlerer Sohllage) erfolgte mit einer EXCEL-Auswertedatei. Für die Profilauswertung ist eine 6-fache Fallunterscheidung notwendig, s. Anlage 24.35. Es wurde darauf geachtet, daß die Festpunktsteine außerhalb der Begrenzungslotrechten liegen und der Horizont einige Meter über den höchsten Profilpunkten zu liegen kommt. Zur Einpassung der Profile besteht in der Auswertedatei die Möglichkeit die Profillage vertikal und horizontal zu verschieben, ein Beispiel hierzu enthält 5.10.2.1. Der Saalach-Fkm 0,0 ist identisch mit dem Salzach-Fkm 59,3. Die Flächen von Salzach-Fkm 59,3 wurden im Verhältnis Salzach/Saalach = 60/40 verteilt. Fehlten für Saalachaufnahme-zeitpunkte die Salzachaufnahmen, wurden entsprechende Werte aus den Salzachauf-

nahmen interpoliert. Die mittlere Sohllage von Saalach-Fkm 0,0 wurde separat berechnet (Horizont 59,3 - 40% Fläche Fkm 59,3 / Saalachbreite 49 m) und ist somit nicht identisch mit der mittleren Sohllage von Salzach-Fkm 59,3.

In dieser Untersuchung werden lediglich Teilergebnisse der in Ausarbeitung befindlichen Saalachstudie aufgegriffen, die einerseits bereits jetzt verfügbar sind und andererseits für den Geschiebehaushalt der Salzach von Bedeutung sind. In 5.10.1 wird daher lediglich der Saalachabschnitt I behandelt und ergänzt durch Aussagen älterer Beiträge und Gutachten sowie einer Massenbilanz im Zeitraum 1981/99 im Abschnitt Talsperre Kibling bis Käferhamer Wehr.

5.10.1.2 Jährliche Volumenänderungen

Anlage 20.1 („sohlnahes“ Bezugssystem) zeigt die jährliche Volumenänderung im Abschnitt I. Die Volumenänderung eines Bilanzzeitraums wird linear über die Zeit interpoliert und in Kalenderjahren zusammengefaßt. Im Zeitraum 1920/54 liegt der Abtrag relativ gleichmäßig in der Größenordnung von 8.000 m^3/a. Im Zeitraum 1954/57 blieb die Sohllage konstant, im Zeitraum 1957/59 waren sogar rd. 33.000 m^3/a Anlandung zu verzeichnen. Seit 1959 wechseln sich Zeiten mit schwächerer und stärkerer Volumenänderung ab, i.M. beträgt der Abtrag rd. 5.000 m^3/a. Seit 1992 hat sich der Abtrag erhöht auf rd. 7.000 - 10.000 m^3/a.

In Anlage 20.1 nehmen sich die Gesamtmengen des Saalachabschnittes I im Vergleich zum Salzachabschnitt 1a noch recht bescheiden aus. Dieses Bild ändert sich aber, wenn als Vergleichsgrundlage die Abschnittslänge eliminiert wird und als Bezugsstreckenlänge 1 km gewählt wird, s. Anlage 20.2.

5.10.1.3 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage

Teilt man die jährlichen Volumenänderungen („sohlnahes“ Bezugssystem) durch die Abschnittslänge und den Mittelwert der Breite im Abschnitt I so ergeben sich jährliche Erosions- oder Anlandungsraten, die als Änderung einer mittleren Sohllage verstanden werden können. Im Abschnitt I lag die Sohlerosion bis Anfang der 50er Jahre relativ gleichmäßig bei 6-8 cm/a. In der Bauzeit 1940/50 und seit der Inbetriebnahme des KW Rott/Freilassing am 01.03.1950 änderte sich grundsätzlich nichts an der bereits rasanten Sohleintiefung, die nun aber stärkeren Schwankungen unterworfen ist.

Die Darstellung der mittleren Sohllage im Längsschnitt bietet eine weitere Möglichkeit Sohländerungen darzustellen. Die zeitliche Auflösung wird der Übersichtlichkeit halber auf die Linienzüge der einzelnen Profilaufnahmen beschränkt. Während die zeitliche Entwicklung auf Jahresbasis in den Hintergrund tritt, rückt die absolute Höhenänderung in den Vordergrund. Da die Veränderungen der bewegten Sohle von besonderem Interesse sind, werden Bereiche mit Böschungsanlandungen soweit wie möglich ausgeschieden und ein „sohlnahes“ Bezugssystem verwendet.

In Abb. 81 ist die absolute Höhenlage der mittleren Sohle in der oberen Bildhälfte über die Zeit für jeden Fkm aufgetragen und in der unteren Bildhälfte über die Flußlänge (Längsschnitt) für eine Auswahl von Aufnahmezeitpunkten dargestellt. Die Gesamteintiefung von rd. 4 m in rd. 80 Jahren tritt deutlich in Erscheinung. Die obere Bildhälfte zeigt die stetige Entwicklung der Eintiefung, lediglich die 50er Jahre bilden eine gewisse Unstetigkeit. Die untere Bildhälfte verdeutlicht die kurzfristige Sohlhebung infolge des

Geschiebeeintrags durch das Augusthochwasser 1959. 1940 trat bei Fkm 1,8 ein lokaler Kolk auf.

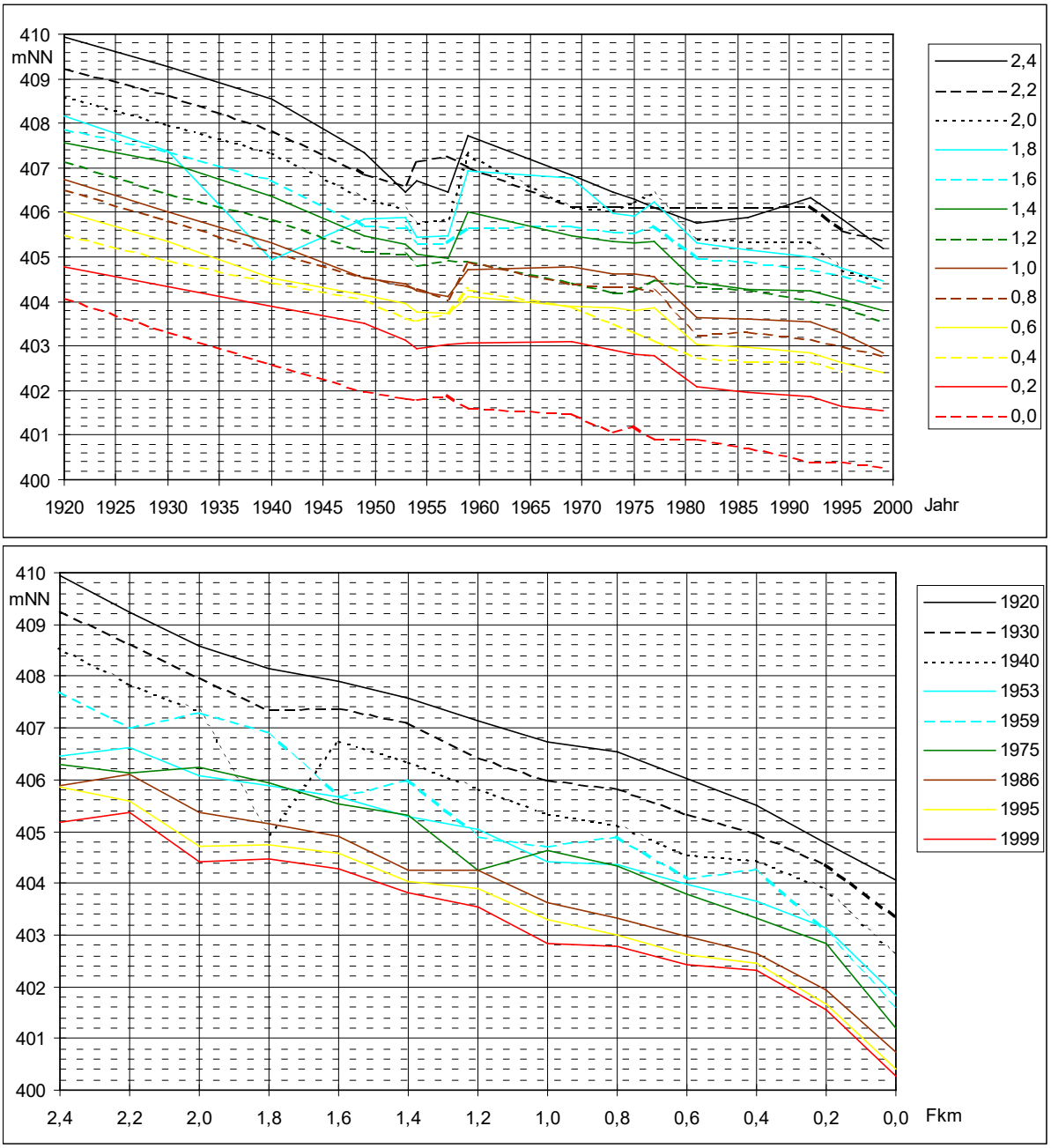


Abbildung 81: Mittlere Sohllagen im Saalachabschnitt I im Zeitraum 1920/99, Fkm 2,4 bis 0,0

5.10.1.4 Massenbilanzierung und Massensummenlinien

Die Massenbilanzierung ist das Ergebnis einer Volumenberechnung aus Profilquerschnitten, deren Form mittels Bezugssystem auf ein flächengleiches Rechteck umgerechnet wurde. Zur Volumenbestimmung aus Flächenwerten benachbarter Querschnitte sind drei Berechnungsmethoden gebräuchlich [89]:

- $(F_1+F_2)/2$-Methode: Der Mittelwert zweier benachbarter Flächen wird gebildet und mit der Abstandslänge multipliziert.
- DBWas-Methode: Die Berechnung ist mit der $(F_1+F_2)/2$-Methode weitgehend identisch. Bei einem Vorzeichenwechsel der Flächenwerte von benachbarten Querschnitten (Wechsel von Anlandung zu

Eintiefung und umgekehrt) wird die sog. Auskeilung berechnet (Lage des Durchstoßpunktes zwischen den benachbarten Querschnitten). Die beiden Teilbereiche mit unterschiedlichen Vorzeichen werden separat berechnet. Diese Methode geht auf alte tabellarische Handrechnungen der bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung zurück, die auf DBWas automatisiert wurde.

- Stereometrische Methode: Diese Methode benutzt die tatsächlichen Abmessungen der benachbarten Flächenrechtecke. Gegenüber den beiden anderen Methoden werden ggf. unterschiedliche Lotrechtenabstände (Breiten) in der Volumenberechnung berücksichtigt. Bei vorzeichengleichen Flächen wird ein Obeliskvolumen berechnet, bei Vorzeichenwechsel zwei Keilvolumen.

In Anlage 24.36 ist die Vorgehensweise der Massenbilanzierung anhand eines Testbeispiels aufgezeigt. Die Berechnung der Einzelvolumen erfolgt nach der stereometrischen Methode. Anlage 24.37 zeigt bei einigen Bereichen des Testbeispiels die Unterschiede der drei Berechnungsmethoden auf.

In Anlage 20.5 und 20.8 wurde für den Abschnitt I ein „sohlnahes“ Bezugssystem verwendet. Um die gemeinsame Darstellung von Salzach und Saalach etwas zu entzerren wurde die Saalach entgegen der Fließrichtung der Salzach dargestellt. Die Saalachmündung bei Fkm 59,3 ist der gemeinsame Endpunkt der Summenlinien beider Teilstrecken. Der Saalach-Fkm 2,5 kommt in beiden Darstellungen auf den Salzach Fkm 59,3 – 2,5 = 56,8 zu liegen. Für das obere Ende bei Fkm 2,5 wurde für die Massenbilanzierung ein konstanter Flächenwert angenommen (unveränderliche Bausubstanz des KW Rott/Freilassing).

Anlage 20.5 zeigt die Massensummenlinien aller verwendeten Profildatensätze in fünffacher Überhöhung. Nur für den Zeitraum 1957/59 wird mit rd. 66.000 m3 ein Massenüberschuß (positive Massenbilanz) ermittelt, drei weitere Zeiträume sind nahezu ausgeglichen (1954/57, 1973/75 und 1975/77), für alle anderen Zeiträume wird ein deutlicher Massenabtrag (negatives Vorzeichen) ermittelt.

In Anlage 20.8 sind die mittleren jährlichen Massensummenlinien (Einzelwerte der Massenbilanz werden durch den Bilanzzeitraum geteilt) dargestellt. Die Bilanzzeiträume wurden weitgehend denen der Salzach unterhalb der Saalachmündung angeglichen (Aufteilung der Massenbilanz 1959/69 für die Massenbilanzen 1953/64 und 1964/75). Als erstes fallen die nahezu deckungsgleichen Linienbündel auf. Lediglich der Zeitraum 1953/64 fällt aus dem Rahmen (Augusthochwasser 1959). Nur der Abschnitt Fkm 1,8 bis 0,0 weist im Zeitraum 1964/75 und 1986/95 einen etwas geringeren Massenabtrag auf, der Abschnitt 0,8 bis 0,0 im Zeitraum 1920/30 dagegen etwas mehr. I.M. pendelt der Massenabtrag um den Wert 36.000 m^3/a, ein sehr hoher Wert für einen nur 2,5 km langen Abschnitt.

Die Ergebnisse des Abschnittes I sollen abschließend mit der Saalach zwischen Talsperre Kibling und Käferhamer Wehr verglichen werden (Abschnitte III und IV). Während der Abschnitt I ebenso wie der weitgehend durch Querbauwerke sohlgestützte Abschnitt II bereits in sandig-schluffige Schichten eingeschnitten hat und nur als Transportstrecken des von oberstrom gelieferten Geschiebematerials relevant sind (der Massenabtrag dieser Abschnitte kann nur zu einem geringen Teil aus Geschiebe bestehen), erlauben die Massenbilanzen oberhalb liegender Abschnitte Rückschlüsse auf den Geschiebeeintrag der in die Salzach transportiert wird (der zur Anlandung neigende kurze Abschnitt zwischen Käferhamer Wehr, Fkm 10,197 und Hammerauer Werkswehr, Fkm 9,220 wird bedarfsweise geräumt und verfügt über eine ausreichende Kiesüberdeckeung, er wird in dieser Grobübersicht als Transportstrecke bewertet).

Die Flächenwerte wurden nach dem DBWas-Bezugssystem ermittelt, der Einfluß von Böschungsanlan-

dungen ist in beiden Abschnitten aber vergleichsweise gering. Abb. 82 zeigt die Massensummenlinien im Zeitraum 1981/99. Seit 1985 wird im Unterwasser der Talsperre Kibling versuchsweise eine Geschiebezugabe betrieben (Mittelwert 1985/95 rd. 14.000 m³/a, s. 5.13). So ist der Bilanzzeitraum 1981/86 von einem durchgehenden Erosionsregime geprägt. Sohlstützende Querbauten wie das Triftwehr in Bad Reichenhall (Fkm 19,72), die Nonner Sohlrampe (Fkm 17,958) und die Grieser Sohlrampe (Fkm 16,0 – Bauzeit Oktober 1982 bis März 1983) treten wirksam (geschieberückhaltend) in Erscheinung. Bis ca. Fkm 15 wurden rd. 25.000 m³ Sohlmaterial erodiert. Unterhalb von Fkm 15 ist die Massenbilanz in etwa ausgeglichen. Im Zeitraum 1986/89 füllte sich der Sohlspeicher bis zum Triftwehr mit ca. 18.000 m³, unterhalb der Grieser Rampe ist die Massenbilanz wiederum in etwa ausgeglichen. Im Bilanzzeitraum 1989/92 wird das Geschiebedepot bis zum Triftwehr geräumt, das im Bilanzzeitraum zwischen Talsperre Kibling und Grieser Rampe angelandete Material (rd. 26.000 m³) befindet sich nun überwiegend im Abschnitt Triftwehr bis Grieser Rampe (rd. 22.000 m³). Bei der Interpretation der Massenbilanzen 1992/95 und 1995/99 muß berücksichtigt werden, daß sich während der Aufnahme 1995 ein größeres Hochwasser am 26.06.1995 ereignete. Unterhalb Fkm 18,8 erfolgte die Aufnahme bis Mai 1995, oberhalb 19,0 ab Juli 1995. Eine ausräumende Wirkung dieses Hochwassers wird zeitlich abgeschwächt daher erst in der Massenbilanz 1995/99 unterhalb 19,0 sichtbar. Während bis zur Grieser Rampe sogar eine leichte Anlandungstendenz erkennbar ist, überwiegt unterhalb bis etwa zur Autobahnbrücke (Fkm 12,134) eine Erosionstendenz.

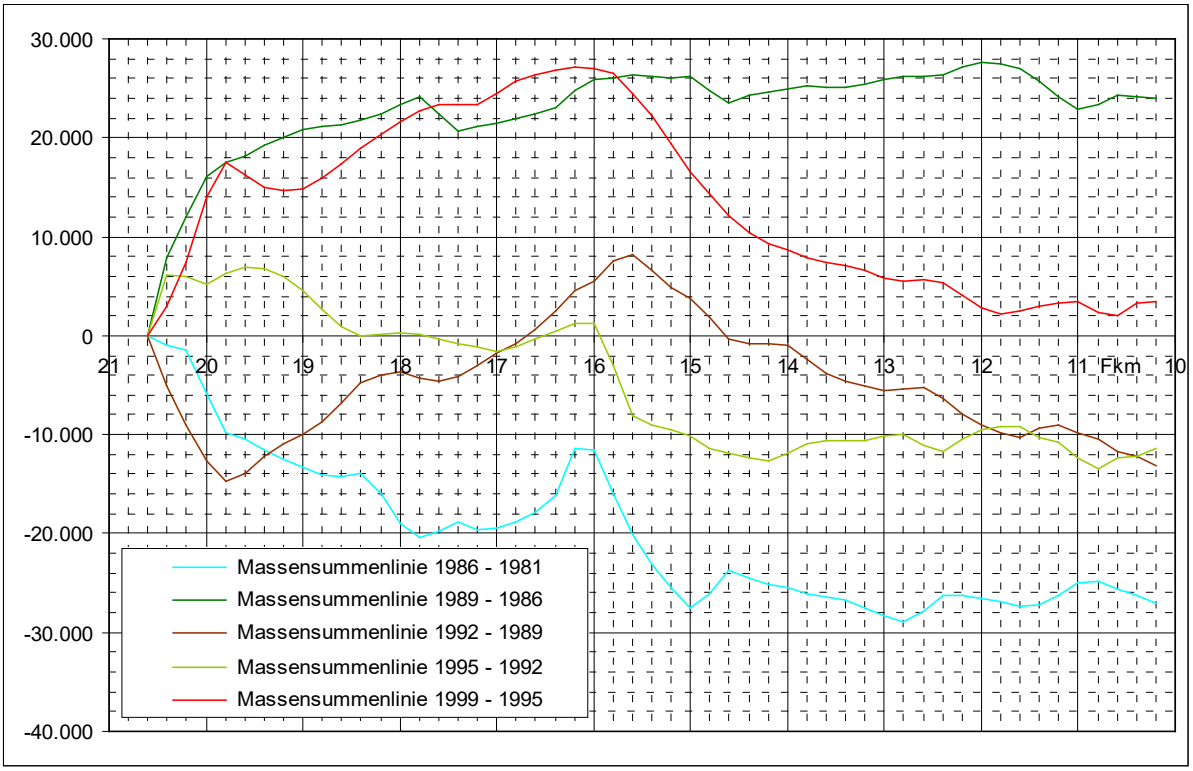


Abbildung 82: Massensummenlinien der Saalach im Zeitraum 1981/99, Fkm 20,6 bis 10,2

5.10.1.5 Weitere Aussagen

In einem unveröffentlichten Gutachten der LfG von 1931 wurde der Abtrag im Abschnitt Fkm 9,25 - 0,0 im Zeitraum 1873 bis 1931 zu 1.291.600 m³ / 57 Jahre = rd. 22.700 m³/a berechnet. BAUER [90] schätzte 1963 die Unterlaufstrecke von der Talsperre Kibling bis zur Mündung vor der 1880 beendeten Korrektion als geschiebetechnisch im Gleichgewicht mit Zufuhr 70.000 m³/a = Abfuhr ein: „Durch die Korrektion ist

das Geschiebetransportvermögen um etwa 60 % erhöht worden, denn im Zeitabschnitt 1880/1911 sind zusätzlich zur gleichbleibenden Zufuhr von oben im Jahresmittel 46.000 m^3/a abgetragen worden. ... Im Bereich der Korrektionsstrecke fällt der mittlere Sohlenabtrag ... von 24.000 m^3 (1913/26) auf 13.000 m^3 (1951/60) ab.“ BAUER erwähnt an anderer Stelle [91] daß es anläßlich des Hochwassers von 1924 im Bereich Hammerau zum (lokalen) Sohldurchschlag gekommen sei. Abb. 81 zeigt einen weiteren lokalen Sohldurchschlag bei Fkm 1,8 im Jahre 1940. Seit Mitte der 20er Jahre kann somit der Abtrag von erosionsempfindlichen Horizonten unterhalb des Hammerauer Werkswehres angesetzt werden. Der im zunehmenden Maße abnehmende Geschiebeanteil in der Massenbilanz ist im Detail aber nicht genau quantifizierbar.

Für den Saalachabschnitt I wurden noch weitere Betrachtungen zum hohen Massenabtrag (i.M. 7.000 m^3/a) bzw. zur hohen Erosionsgeschwindigkeit (6-8 cm/a) angestellt.

Abbildung 83 zeigt den Einfluß der Sohlbreite auf die Geschiebetransportkapazität. Die Sohlbreite zwischen den befestigten Böschungen hat in der oberen Bildhälfte bei Fkm 1,8 bzw. 0,6 von 48 bzw. 40 m (1920) auf ca. 27 bzw. 25 m (1995) abgenommen. Wegen nachrutschender Böschungssicherungen auf österreichischer Seite (Außenkurve) war für die Aufnahme 1999 keine vergleichbare Breitenangabe möglich. Für die aus dem Profil Fkm 0,6 ermittelte Sohlbreite wurden mit der Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER in der Variation von HUNZIKER (vgl. 5.11) die Geschiebetransportkapazitäten ermittelt, deren Ergebnisse als relative Geschiebetransportkapazität bezogen auf den Ausgangszustand 1920 in der unteren Bildhälfte dargestellt sind. Für beide Punktmengen lassen sich eindeutige Trendlinien entwickeln.

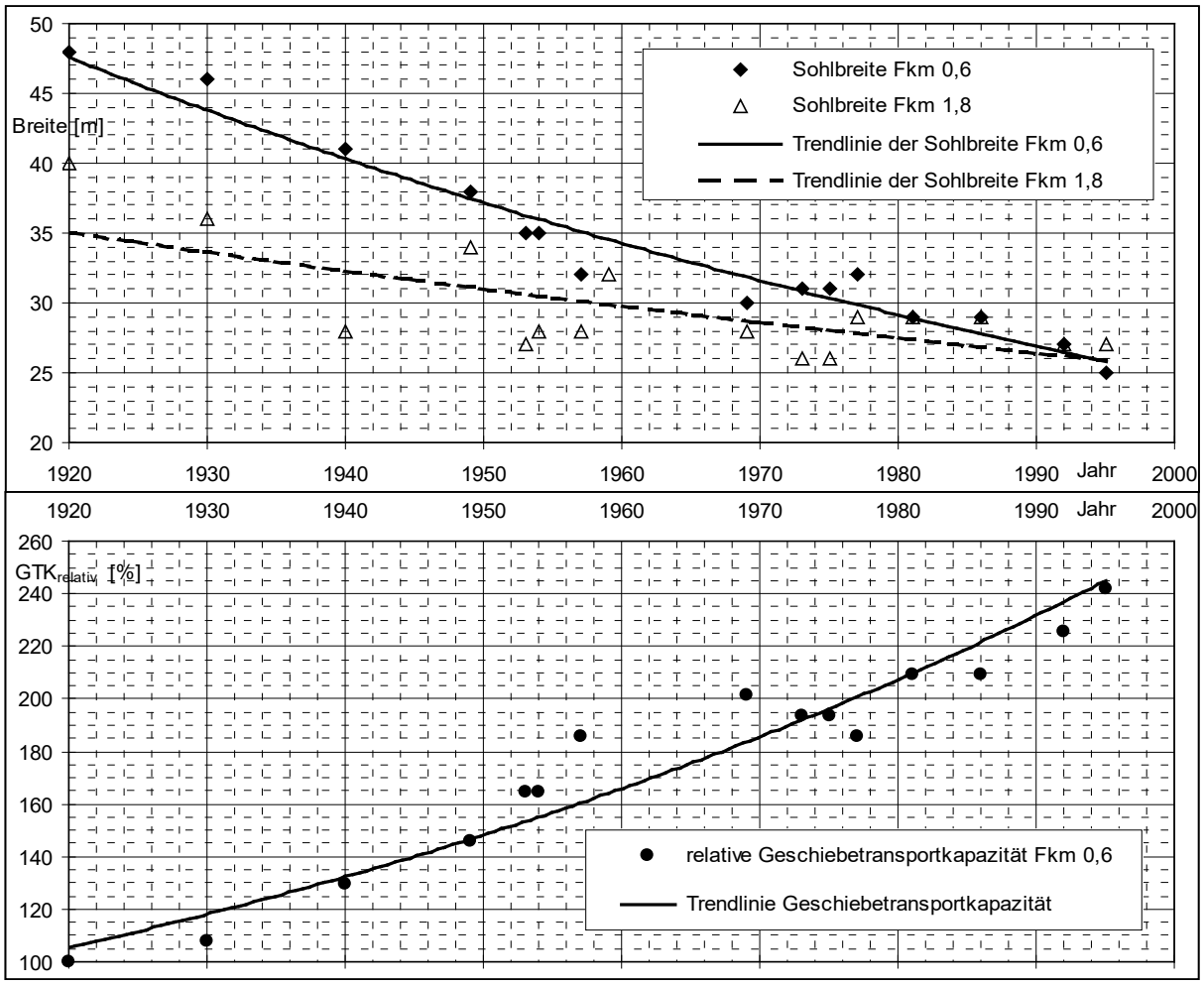


Abbildung 83: Einfluß der Sohlbreite auf die Geschiebetransportkapazität der Saalach

Bei der Ermittlung der Geschiebetransportkapazität wurde der Wandeinfluß über das Verhältnis Sohlbreite zu benetztem Umfang berücksichtigt, vgl. 5.11. Nimmt die Sohlbreite infolge Tiefenerosion ab, werden die Schubspannungen zunehmend über die Böschungen abgetragen. Die Geschiebetransportkapazität nimmt nach Überschreiten eines Maximums wieder ab. Dieses „transportwirksame Optimum“ ist im Abschnitt I vermutlich erreicht worden, je nach Parameterwahl ergeben sich 25 bis 30 m Sohlbreite, vgl. 5.11. Für qualitative Aussagen reichen die verwendeten Parameter und Berechnungsannahmen jedoch aus:

- Die Reduktion der Sohlbreite hat die Geschiebetransportkapazität seit 1920 in etwa verdoppelt.
- Die Sohlbreite im Abschnitt I liegt derzeit im Bereich des transportwirksamen Optimums, jede Veränderung der Sohlbreite würde eine Abnahme der Geschiebetransportkapazität bewirken.

Da der jährliche Massenabtrag in etwa konstant ist (i.M. 7.000 m^3/a, ebenso die Erosionsgeschwindigkeit mit 6 bis 8 cm/a), die Sohlbreite gegenüber der konstanten Breite des Lotrechtenabstandes im Bezugssystem permanent abgenommen hat, bedeutet dies eine progressive Sohlerosion, die mit Erreichen der transportwirksamen Optimalbreite ihre maximale Progression erreicht hat. Begünstigt wurde diese Entwicklung durch die bereits angeschnittenen, leicht erodierbaren Feinsandschichten und die stark wechselhafte hydraulische Belastung infolge Kraftwerksbetrieb.

5.10.2 Salzach oberhalb der Saalachmündung

5.10.2.1 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung

In der Fachabteilung Wasserwirtschaft des ASLR wurde 1995 eine Profildatenbank eingerichtet, die der digitalen Erfassung und Darstellung von Querprofilen dient, aber derzeit noch über keine weiteren Möglichkeiten zur Profilauswertung verfügt. Im Zuge der WRS wurde daher die Auswertung der Profildaten von bayer. Dienststellen in Amtshilfe durchgeführt, um für flußmorphologisch relevante Fragestellungen über möglichst einheitlich ausgewertete Profildaten zu verfügen. Aus zahlreichen Quellen konnten inzwischen Profildaten erhoben werden, deren Qualität (Lagegenauigkeit, Profildichte, Meßpunkte je Profil) nicht immer an den Standard der bayerischen Profildaten heranreicht. Zudem zeigte sich, daß wegen der vielschichtigen Fehlerquellen und Einpassungsarbeiten eine Erfaßung auf DBWas zu aufwendig geworden wäre. Es wurde daher mit EXCEL-Auswertedateien ein flexibles Bearbeitungsinstrumentarium geschaffen, mit dem ein daten- und problemadäquates Vorgehen möglich wurde.

Die gewählte Vorgangsweise versuchte aus den vorhandenen Daten die maximal mögliche Qualität abzuleiten, sie gewährt aber nicht eine absolute Richtigkeit, wie sie aus vermessungstechnischer Sicht eigentlich wünschenswert wäre. Bei der Bewertung der Ergebnisse muß dies immer berücksichtigt werden. In diesem Kapitel wird abschnittsweise die Vorgehensweise dokumentiert und auf die zahlreichen Näherungslösungen eingegangen, die oft nicht zu vermeiden waren.

Als Bezugsbasis für die Profileinteilung dienten die 1992, 1995 und 1998 aufgenommenen Profile, ferner die Profileinteilung im Unterhaltungsbereich der SAFE-Kraftwerke Hallein und Urstein und der PWA Hallein. Es wurde generell ein „sohlnahes“ Bezugssystem gewählt.

Die Datenbasis bildeten die Profilaufnahmen seit 1992, die auf Datenträger vorlagen und ohne zusätzliche Bearbeitungsschritte vom ASLR übernommen werden konnten. Aus den Jahren 1985/86 lagen ebenfalls Profildaten auf Datenträger vor, deren Fkm-Lage gegenüber den später (1992) festgelegten Profilfestpunkten z.T. etwas abweicht. In diesen Datenbestand mußten nun ältere Profile eingepaßt werden, die entweder digitalisiert wurden und/oder in Listenform vorlagen. Von den SAFE-Kraftwerken Hallein und Urstein konnten erstmals 1998 Profildaten auf Datenträger übernommen werden.

Abschnitt IV: Salzachöfen bis Hallein (Fkm 95,955 bis 82,880)

Die Hauptaufgabe bestand in der Erfassung und Einpassung von Profildaten, die um die Jahreswende 1966/67 vermessen wurden und in Listenform vorlagen. Die Profile wurden seinerzeit für einen hydraulischen Modellversuch aufgenommen, der für den Bau der Tauernautobahn notwendig geworden war. Die Aufgabe unterteilte sich in folgende Teilschritte:

- Bestimmung der Profillage: Bekannt war die Lage der Profilanfangs- und Endpunkte, die im österr. GKS vorlagen. Diese Profilpunkte wurden in die 5000er Katasterpläne eingetragen, die bereits die Profileinteilung und Festpunkte der seit 1992 aufgenommenen Profildaten enthielten, Anlage 24.38 zeigt als Beispiel den Bereich Kuchl. Etwa in Flußmitte wurde der Abstand zu der 1992er Profileinteilung gemessen und so die Fkm-Lage der Profile 1966/67 bestimmt.
- Aus den 121 nun lagemäßig bekannten Profilen waren diejenigen auszuwählen, deren Punktdichte die beste Qualität boten. In Anlage 24.39 und 24.40 wurden die Profilpunktdichten mit Qualitätsstufen bewertet (Stufen 1-3: Profilpunkte im ganzen Querschnitt vorhanden, Stufen 4-5: Profilpunkte im

Sohlbereich aus „a“-Profilen ergänzt, Stufe 6: Profilpunkte nur im Böschungsbereich vorhanden, Stufe -: keine Profilpunkte vorhanden).

- Die Profillisten wurden in EXCEL-Dateien erfaßt, von mA auf mNN umgerechnet (mA – 27 cm = mNN) und in EXCEL-Auswertedateien lagemäßig zueinander eingepaßt. Abb. 84 zeigt als Beispiel Fkm 90,200: Die gelben Felder dienen der Profileinpassung und Definition des Bezugssystems. Mit +/auf -/ab können bedarfsweise Höhenfehler korrigiert werden. Das Profil 73 wurde zur Einpassung um 4 m nach rechts verschoben. Profil 74 enthält ein Leitwerk, dieses Profil ist zwar hydraulisch relevant (Abflußhindernis), für die Bilanzierung des Geschiebehaushalts dagegen unbrauchbar, weil die feste Berandung der rechten Seite zu weit in den Fluß ragt und als Anlandung mitbilanziert werden würde. Die mit 1,0 besetzten Verzerrungsfelder bieten die Möglichkeit die Profile zu stauchen (Werte < 1,0) oder zu strecken (Werte > 1,0). Damit kann u.U. eine schräge Lage von einzupassenden Profilen im Fluß korrigiert werden. In Abb. 84 wird dies exemplarisch mit der Aufnahme 1992 gezeigt, deren Böschungen sonst deckungsgleich mit den Aufnahmen 1986, 1995 und 1998 wären.
- Die Profile 1966/67 liegen nur in seltenen Fällen im Bereich +/- 10 m der Profileinteilung von 1992. Daher besteht die Notwendigkeit für die Massenbilanzierung Flächenmittelwerte aus weiter entfernt liegenden Profilen 1966/67 zu bilden. I.d.R wird der Flächenwert umgekehrt zu den Profilabständen interpoliert, wie im Beispiel Fkm 90,020 (vgl. Anlage 22.12 und 24.38): Profil 71: Fkm 89,985, F = 409,99 m^2, Profil 72: Fkm 90,080, F = 407,38 m^2, Mittelwert: (409,99 * 60 + 407,38 * 35) / (60 + 35) = 409,03 m^2. Da sowohl bei Profil 71 wie auch bei Profil 72 der rechtsufrige Böschungsbereich nicht besonders gut zu Fkm 90,020 paßt, erfolgt hier eine Rundung auf ganze m^2 (409 m^2). Anlage 24.41 enthält Flächenwerte der Aufnahme 1966/67, wie sie für die Massenbilanzierung verwendet wurden.

In einigen Bereichen bestand die Notwendigkeit, die Profileinteilung von 1992 zu verdichten und dort vorhandene Profilaufnahmen zeitlich linear zu interpolieren auf die Aufnahmezeiten der Profile 1966/67, 1985/86, 1992, 1995 und 1998:

- Fkm 85,050, 84,930 und 84,845 (Bereich der ehemaligen Kiesentnahme Firma Deisl) sowie
- Fkm 83,408, 83,355, 83,188, 83,041, 82,970 und 82,902 (Bereich der PWA Hallein, in der Massenbilanzierung wurde für 1998 die Profilaufnahme 1997 verwendet).

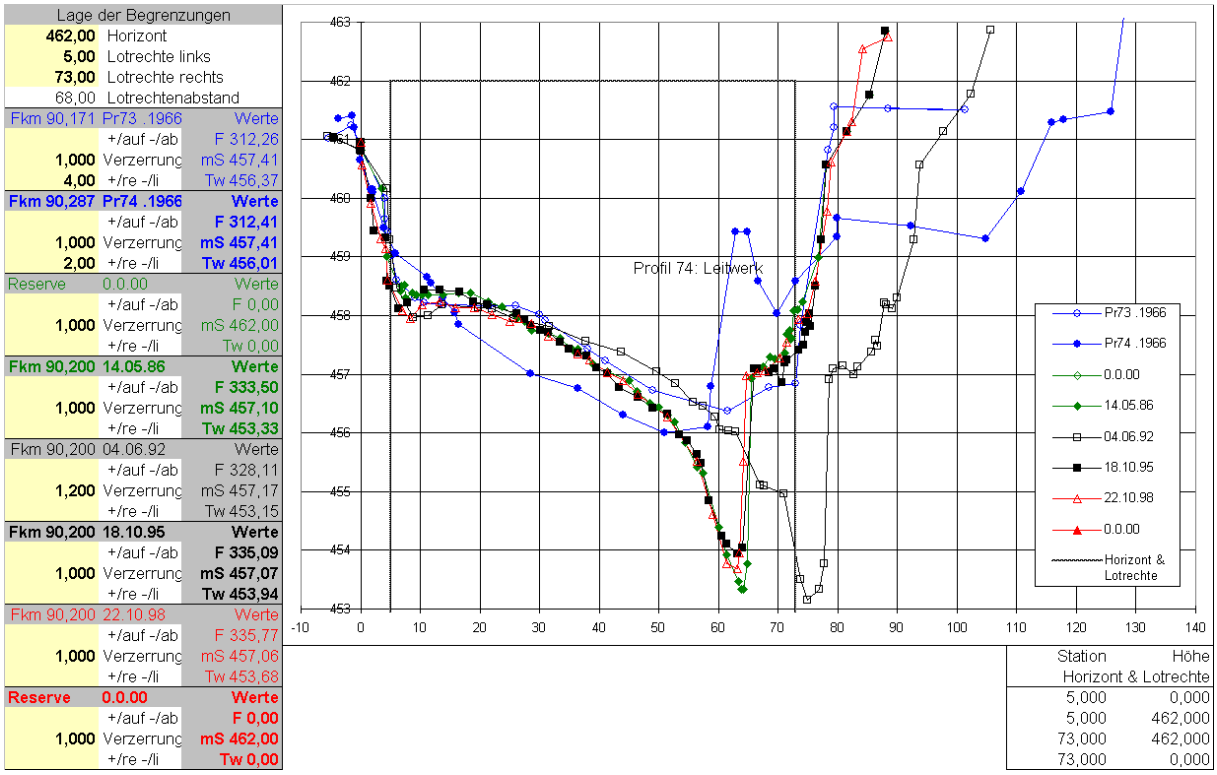


Abbildung 84: Einpassung der Profilaufnahmen von Fkm 90,020

Der mittlere Lotrechtenabstand dieses Abschnitts beträgt rd. 83 m (Maximum 122 m, Minimum 55 m), der mittlere Profilabstand beträgt rd. 227 m (Maximum 390 m, Minimum 22 m). In diesem Abschnitt wurden keine digitalisierten Profile verwendet, eine mögliche Quelle für Ungenauigkeiten entfällt somit.

Abschnitt III: Hallein bis Urstein (Fkm 82,880 bis 75,062)

In diesem Abschnitt wurden i.d.R. digitalisierte Profilaufnahmen verwendet, Ausnahmen waren die

- Profilaufnahme 1998 (Profildaten liegen auf Datenträger vor) und die
- Profilaufnahme 1954 (Eingabe von Profillisten auf EXCEL-Dateien).

Durch die Digitalisierung sind mittlere Höhenfehler im Bereich eines Dezimeters möglich, die Genauigkeit der Profilauswertung ist dadurch eingeschränkt. Im Ortsbereich Hallein mußten zahlreiche Profile nachträglich in den Auswertedateien korrigiert werden (Profilpunkte und Höhenfehler).

Im Zeitraum 1961/66 konnte keine durchgehende Profilaufnahme zusammengestellt werden, die Datenlücke betrifft insbesondere den Bereich Fkm 81,61 bis 80,30 (1310 m). Im Stauraum KW Urstein liegen im Abstand von 1000 m Profilaufnahmen von 1961 vor sowie von 1966 in der Profileinteilung der SAFE. Im Stauraum KW Urstein werden seit Mai 1971 von der SAFE halbjährlich (Mai und November) Profilaufnahmen durchgeführt, im Stauraum KW Hallein erst seit November 1991. Für das Jahr 1985 wurden im Stauraum KW Hallein ersatzweise Profile aus dem Jahr 1981 verwendet (eine konkretere Datumsbestimmung war nicht zu erheben). Die Punktdichte der gezeichneten SAFE-Profile ist vergleichsweise gering, aber dennoch ausreichend um morphologische Veränderungen in der Massenbilanzierung zu erfassen, gleiches gilt für die Profilserie 1981. Im Stauraum KW Hallein wäre zudem in der Großen Salzach die Einrichtung eines Zwischenprofils wünschenswert, da der Profilabstand von Fkm 80,99 bis 80,64 mit 350 m recht groß ausfällt (die Kleine Salzach: Profil bei Fkm 80,88). Im Stauraum Hallein mußten die Profile

von 1954, 1961 und 1981 auf die SAFE-Profileinteilung umgerechnet werden, was weitere Kompromisse und Einschränkungen bei der Auswertegenauigkeit nach sich zog.

Im Ortsbereich Hallein wird die Salzach im Bereich 81,25 bis 81,37 vom sog. Stadtwerk in zwei Arme geteilt: In die Große Salzach (orografisch links) und die Kleine Salzach (orografisch rechts), in die bei Fkm 80,93 die Oberalm mündet. Auf Basis der SAFE-Profileinteilung wurde das in Abb. 85 dargestellte Profilschema für die Massenbilanzierung aufgestellt. Von dem Lotrechtenabstand bei Fkm 81,61 von 92 m entfallen auf die Kleine Salzach 41 m, auf die Große Salzach 51 m. Von dem Lotrechtenabstand bei Fkm 81,64 von 153 m entfallen auf die Kleine Salzach 76 m, auf die Große Salzach 77 m.

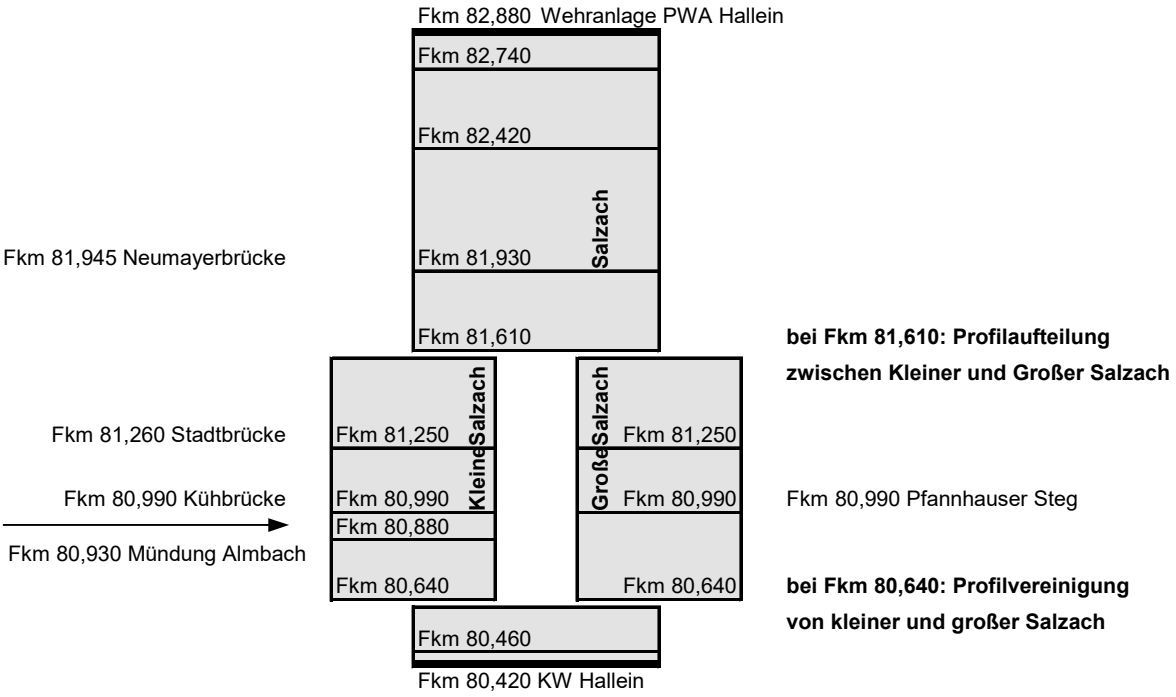


Abbildung 85: Profileinteilung im Ortsbereich Hallein

Der Abschnitt IIIb (Stauraum KW Hallein) wurde mit dem gleichen Typ der EXCEL-Auswertedatei erfaßt wie der Abschnitt IV, der Abschnitt IIIa (Stauraum KW Urstein) mit einer älteren Version, die bei der Abhandlung zu Abschnitt II näher beschrieben wird.

Im Stauraum KW Hallein wird wegen der o.g. Besonderheiten auf eine Bewertung der Profilabstände verzichtet, im Stauraum KW Urstein beträgt der mittlere Lotrechtenabstand rd. 119 m (Maximum 126 m, Minimum 65 m), der mittlere Profilabstand beträgt rd. 335 m (Maximum 500 m, Minimum 120 m).

Abschnitt II: Urstein bis Sohlstufe Salzburg-Lehen (Fkm 75,062 bis 63,950)

Die Im Zeitraum 1961/63 wurden flußabwärts von Hallein mehrere Profilserien aufgenommen, z.T. im 1000 m Abstand, z.T im Stadtbereich Salzburg auch wesentlich dichter (Fkm 67 bis 64,35 Profilabstände < 200 m). Die bis 1986 angegebenen Fkm-Lagen sind u.U. nicht mit der der 1992 festgelegten Profillage deckungsgleich, diese Ungenauigkeiten lassen sich aber nicht mehr beheben. Es wurde mit der Annahme gearbeitet, daß Fkm-Abweichungen < 10 m als deckungsgleiche Fkm-Lage berücksichtigt werden. Die

Profile 1961/63 wurden z.T. digitalisiert, z.T. aber auch in Listenform eingegeben bzw. digitalisierte Profile anhand der Listen nachträglich verbessert. Für die Massenbilanzierung wurden Profile im Zeitraum 1961/62 verwendet. Die Profilaufnahme 1985/86 weist im Bereich Fkm 68 bis 63,4 eine Datenlücke auf, die nicht geschlossen werden konnte.

Abb. 86 zeigt die ältere Version der EXCEL-Auswertedatei. Die grauen Felder dienen der Profileinpassung und Definition des Bezugssystems. Mit +/auf -/ab können bedarfsweise Höhenfehler korrigiert werden. Mit +/auf -/ab kann das Profil horizontal verschoben werden, im vorliegenden Fall mußte das Profil vom 23.01.1961 geringfügig um 2 m nach rechts verschoben werden. Eine Verzerrung von Profilen ist nicht möglich, pro Auswertedatei können nur 4 statt 8 Profile bearbeitet werden, mittlere Sohllage und Talweg werden links von der Grafik nicht angezeigt. Sofern mehr als 4 Profile zu bearbeiten sind, müssen für einen Flußkilometer mehrere Dateien angelegt werden.

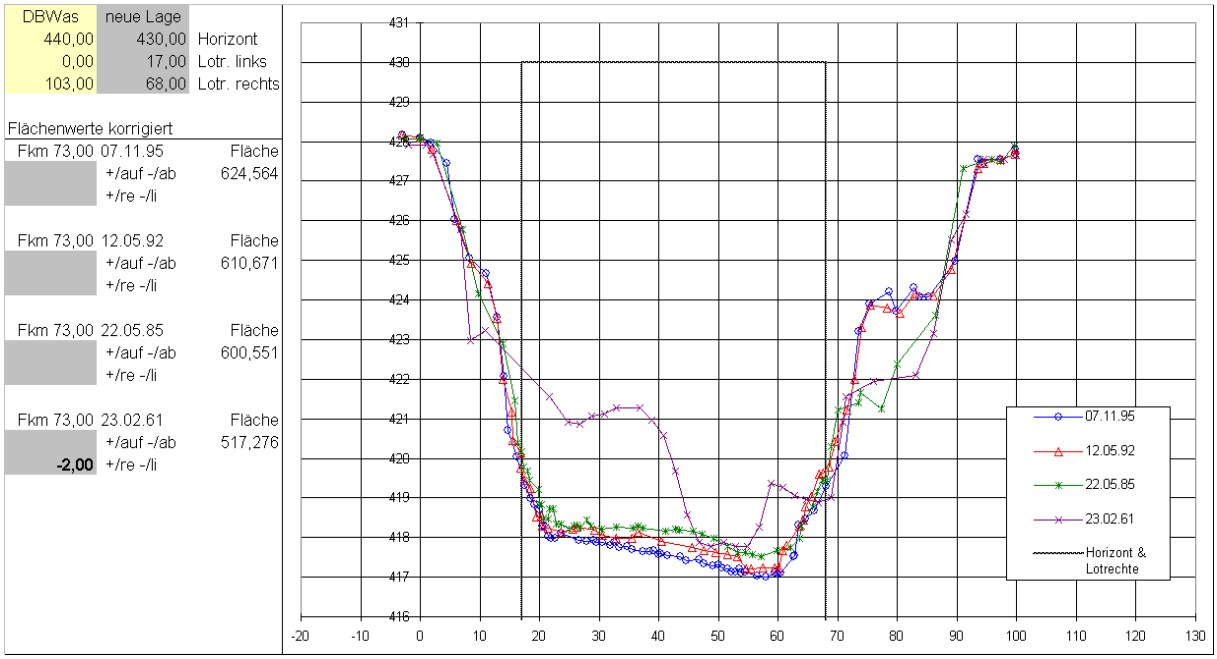


Abbildung 86: Einpassung der Profilaufnahmen von Fkm 73,0

Die Punktdichten aller Profile sind gut, die Profile im Zeitraum 1961/63 weisen im Bereich der bewegten Sohle z.T. sogar Punktabstände von 2 m auf. Einige Flächenwerte der ausgewerteten Profile 1961/62 mußten auf die Profileinteilung von 1992 umgerechnet werden.

Der mittlere Lotrechtenabstand dieses Abschnitts beträgt rd. 71 m (Maximum 117 m, Minimum 42 m), der mittlere Profilabstand, bezogen auf die Profileinteilung 1992, beträgt rd. 188 m (Maximum 290 m, Minimum 70 m). Z.T. wurden digitalisierte Profile verwendet, die vor 1985/86 eine mögliche Quelle für Ungenauigkeiten darstellen. Die Profilaufnahmen im Zeitraum 1961/63 erfolgten im 1000 m Abstand, im Ortsbereich Salzburg (Fkm 66,980 bis 64,350) lag der Profilabstand i.M. bei rd. 155 m (Maximum 290 m, Minimum 70 m). Die Profilabstände seit 1992 sind mit dem bayerischen 200 m Standard vergleichbar.

Abschnitt I: Sohlstufe Salzburg-Lehen bis Saalachmündung (Fkm 63,950 bis 59,300)

Der Abschnitt I entspricht mit Datenlage und Auswertung weitgehend dem Abschnitt II. Die Profile von

1961 liegen jedoch nur im 1000 m Abstand, dafür liegen die Profile von 1985 fast in der gleichen Dichte wie seit 1992 vor. Der Fkm 59,3 wurde wie in 5.10.1.1 beschrieben im Verhältnis 60/40 zwischen Salzach oberhalb der Saalachmündung und Saalach aufgeteilt.

Der mittlere Lotrechtenabstand dieses Abschnitts beträgt rd. 83 m (Maximum 110 m, Minimum 60 m), der mittlere Profilabstand, bezogen auf die Profileinteilung 1992, beträgt rd. 194 m (vermessungstechnisch bedingtes Maximum 400 m bei der Schwelle Bergheim, Minimum 95 m). Die Profilabstände seit 1992 sind mit dem bayerischen 200 m Standard vergleichbar.

5.10.2.2 Jährliche Volumenänderungen

Für die Salzach oberhalb der Saalachmündung liegen nur wenige Profilaufnahmen vor, erst seit 1992 sind diese auch als durchgehend zu bezeichnen. Zudem weisen ältere Profilaufnahmen Inhomogenitäten auf, so daß eine Darstellung wie Anlage 20.1 wenig Aussagekraft besitzt. Auf eine kilometerbezogene Darstellung der jährlichen Volumenänderungen wie in Anlage 20.2 wurde daher verzichtet. Abb. 87 zeigt die jährlichen Volumenänderungen innerhalb der vier Zeitperioden die aus den Profildaten abgeleitet werden können.

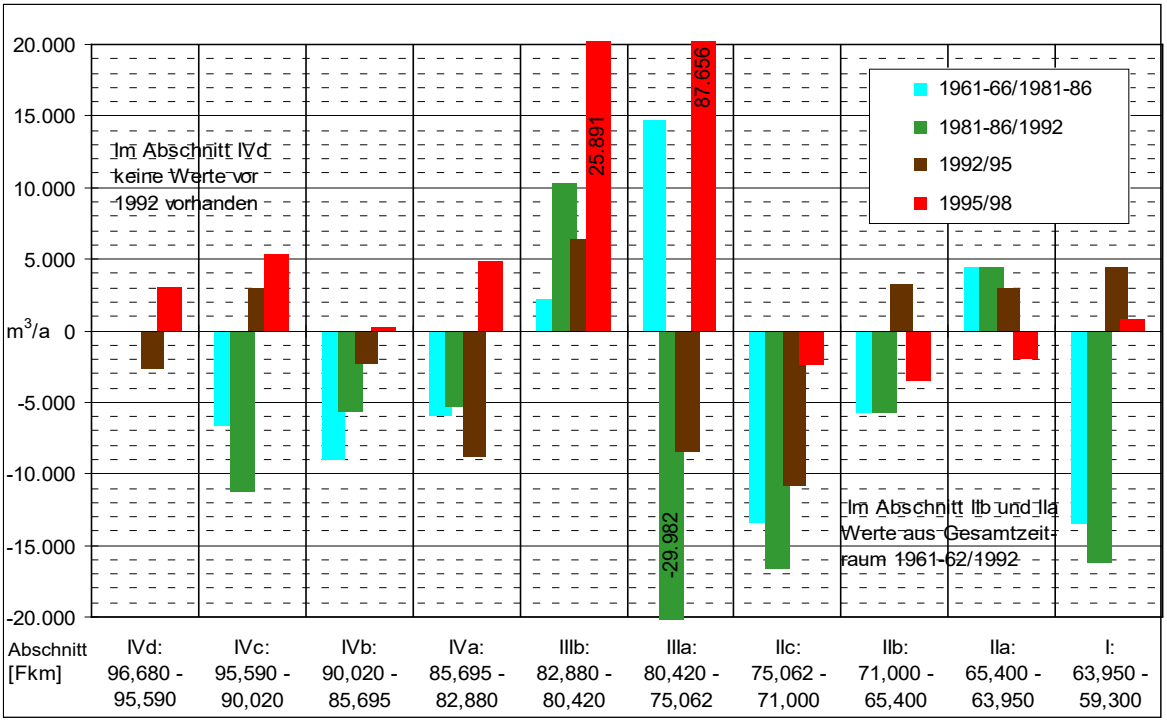


Abbildung 87: Jährliche Volumenänderungen in der Salzach oberhalb der Saalachmündung

In den jährlichen Volumenänderungen sind Einflüsse der Geschiebebewirtschaftung (5.12), der Geologie (4.2 und 4.3) sowie des Flußbaus (5.2) enthalten. Der Abschnitt IV ist bis 1992 z.T. deutlich von Geschiebeentnahmen geprägt, dafür aber frei von erosionsempfindlichen Horizonten. Die Abschnitte I und II sind vom Sohldurchschlag in erosionsempfindliche Horizonte geprägt, besonders in den Abschnitten IIb, IIa und I sind flußbauliche Eingriffe bei der Interpretation zu berücksichtigen.

Im Zeitraum 1995/98 fällt der Abschnitt IIIb auf, offensichtlich haben größere Geschiebemengen das Wehr

der PWA Hallein passiert und sind im Stauraum des KW Hallein angelandet. Im Abschnitt IIIa (Stauraum KW Urstein) fallen die extremen Schwankungen auf, die nur durch die Mobilisierung einer fast ausschließlich aus Feinteilen bestehenden Feststofffracht erklärt werden können. Der Abschnitt IIc ist von hohen Erosionsraten geprägt. Die geringen Erosionsraten bzw. Anlandungstendenzen in den Zeiträumen 1992/95 und 1995/98 in den Abschnitten II und I geben wegen umfangreicher und kontinuierlicher Sicherungsmaßnahmen im Sohlbereich an zahlreichen Stellen kein realistisches Bild von der tatsächlichen Sohlentwicklung. Immerhin kann umgekehrt gesagt werden, daß diese Maßnahmen zur Dämpfung der Sohlerosion in den letzten Jahren beigetragen haben.

5.10.2.3 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage

Wegen der geringen Anzahl von Profilaufnahmen und deren Inhomogenitäten besitzt eine Darstellung der jährlichen Sohländerungen auf der Basis von Kalenderjahren (s. Anlage 20.3 für den Saalachabschnitt I und die Salzach unterhalb der Saalachmündung) nur wenig Aussagekraft. Abb. 20 in 5.1 vermittelt einen Überblick über die Sohländerungen im Zeitraum 1961/66 bis 1992 und 1992/98. Diese beiden Zeiträume wurden in Abb. 88 in die vier Zeiträume von Abb. 87 unterteilt. Für die Interpretation von Abb. 88 gelten die gleichen Einschränkungen wie für Abb. 87.

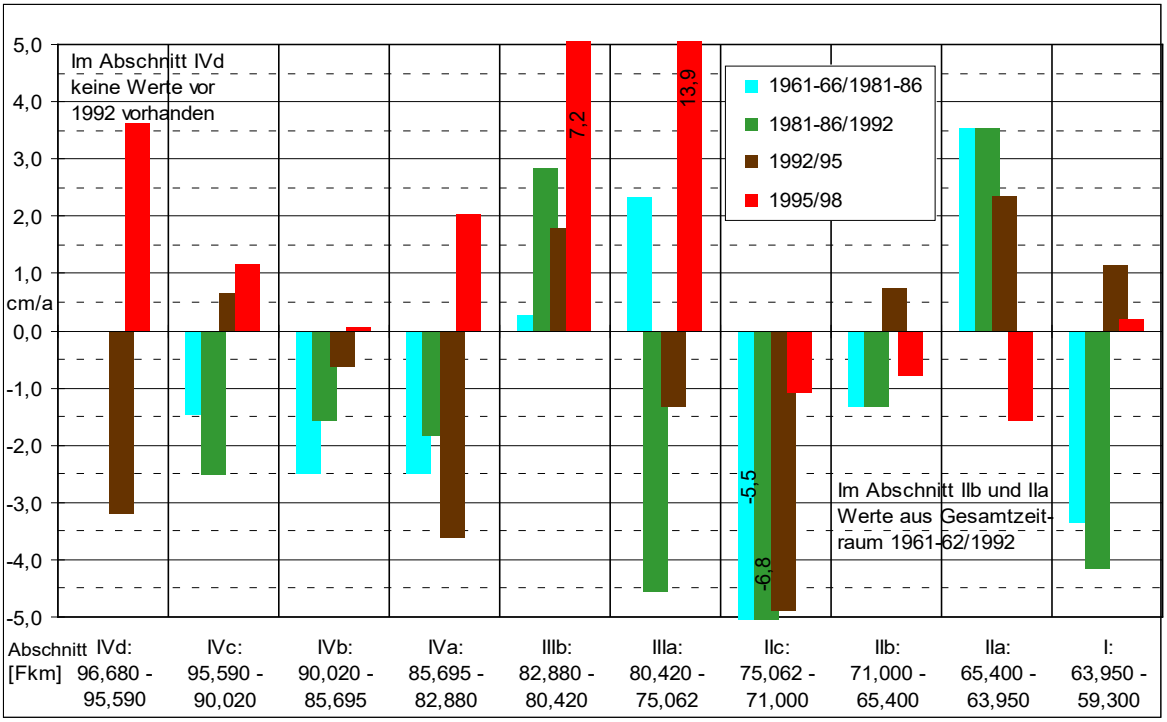


Abbildung 88: Jährliche Sohländerungen in der Salzach oberhalb der Saalachmündung

Aufgrund der schmalen Datenbasis können nur wenig verläßliche Schlüsse aus Abb. 88 gezogen werden. Im Abschnitt IV deutet sich ein Wandel von einer Erosionsstrecke zu einer Umlagerungsstrecke an. In den beiden Stauräumen von Hallein und Urstein sind wegen des hohen Anteils an Feinmaterial die Schwankungen in den Sohländerungen viel ausgeprägter, s. 5.12. Unterhalb des KW Urstein überwiegt eine ausgeprägte Sohlerosion, lediglich im unmittelbaren Rückstaubereich der Sohlstufe Salzburg-Lehen (Abschnitt IIa) kann ein Pendeln der Sohle um einen fiktiven Mittelwert unterstellt werden. Besonders im Abschnitt I fallen die dargestellten Erosionsgeschwindigkeiten wegen umfangreicher und kontinuierlicher

Sicherungsmaßnahmen geringer aus, als sie ohne flußbauliche Eingriffe zu erwarten gewesen wären.

Wegen des kurzen Beobachtungszeitraumes (rd. 30 Jahre) tritt die Änderung der mittleren Sohllage weniger deutlich in Erscheinung als z.B. im Freilassinger Becken (5.10.3). Dennoch lassen sich einige Entwicklungen sehr gut erkennen. Abb. 89 zeigt, daß oberhalb Hallein die Sohllagen seit der Einstellung der Geschiebeentnahmen nicht mehr zur Eintiefung neigen. Im Ortsbereich Hallein ist derzeit eine Sohlhebung eingetreten, die einen kontinuierlich verlaufenden Eindruck erweckt. Im Unterwasser des KW Hallein schreitet die Eintiefung voran, die Sohlstützung endet ca. bei Fkm 78 (s. Abb. 90). Der Sohlgurt bei Fkm 79,35 (432 mA) vermag die Sohle lediglich lokal zu fixieren.

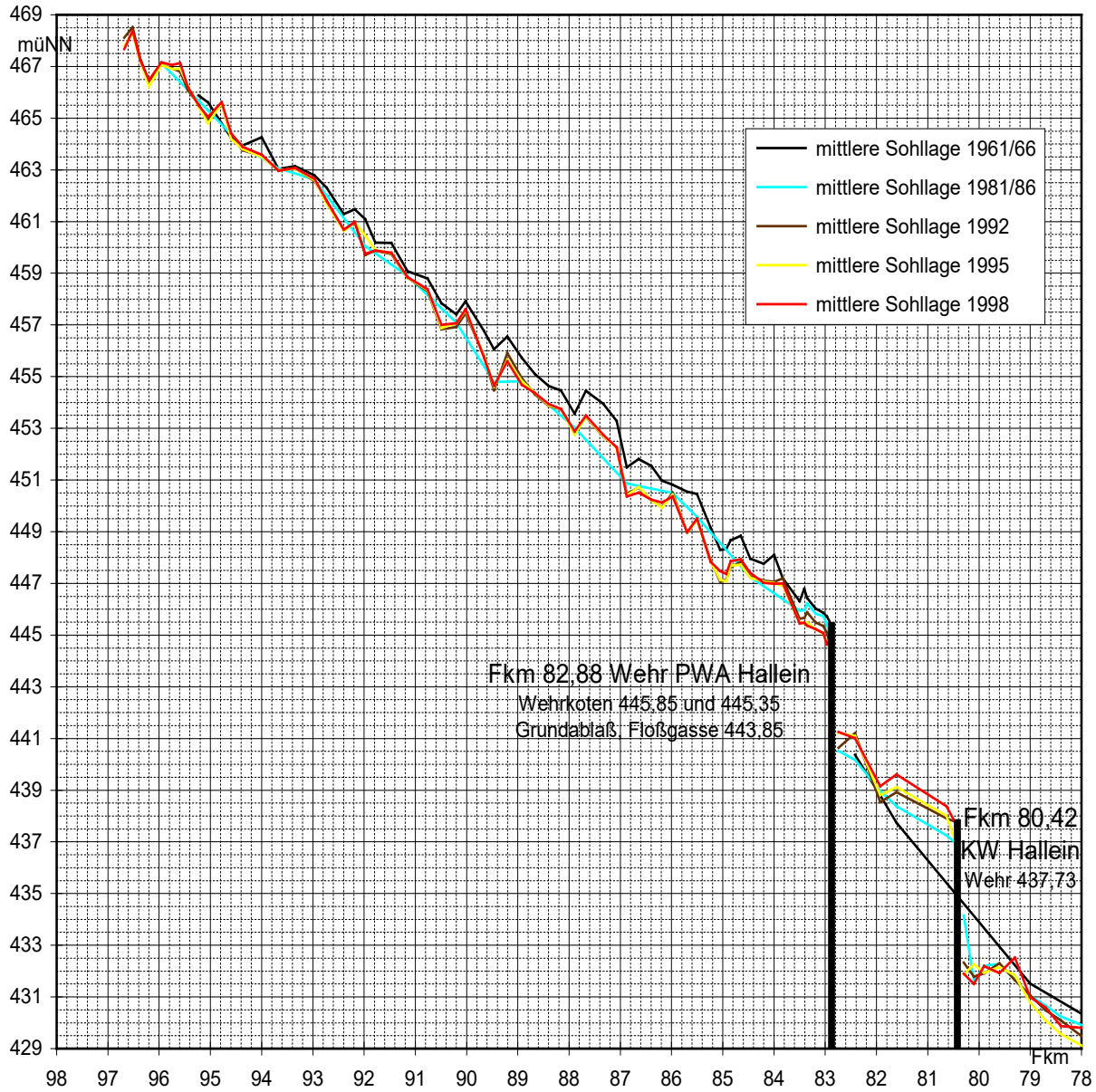


Abbildung 89: Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1961/98, Fkm 98 bis 78

Abb. 90 zeigt den Bereich zwischen Fkm 79 und 59. Die keilförmige Eintiefung unterhalb des KW Urstein ist deutlich erkennbar. Im Bereich 65,0 hat sich die mittlere Sohllage seit 1961 um rd. 2 m erhöht. Als Ursache hierfür kommt einerseits der sohlstützende Einfluß der Sohlstufe Salzburg-Lehen in Betracht, ande-

rerseits aber auch eine lokale Überbreite verbunden mit jahrzehntelangen, kontinuierlichen Sohlsicherungen im Bereich der Bundesbahnbrücke. Unterhalb der Autobahnbrücke Liefering tritt der 1992 bemerkte Kompressionskolk auch bei der mittleren Sohllage deutlich in Erscheinung. Etwa ab Fkm 62 tieft sich die Sohle deutlich ein. Die mittlere Sohllage der Aufnahme 1961 bei Fkm 62 (Schwelle Bergheim) ist mit ca. 405 mNN anzusetzen, liegt aber auswertungsbedingt (spätere Profilaufnahmen waren nur noch bei Fkm 62,2 und 61,8 möglich, die Aufnahme 1961 wurde daher bei Fkm 62,2 und 61,8 ausgewertet) rd. 0,6 m tiefer. Die Sohlsicherungsmaßnahmen im Bereich RHV Düker (Fkm 60,585) machen sich im Zeitraum 1992/98 bemerkbar: Während oberstrom die mittlere Sohllage in etwa gleich bleibt, tieft sich die Sohle unterstrom ein.

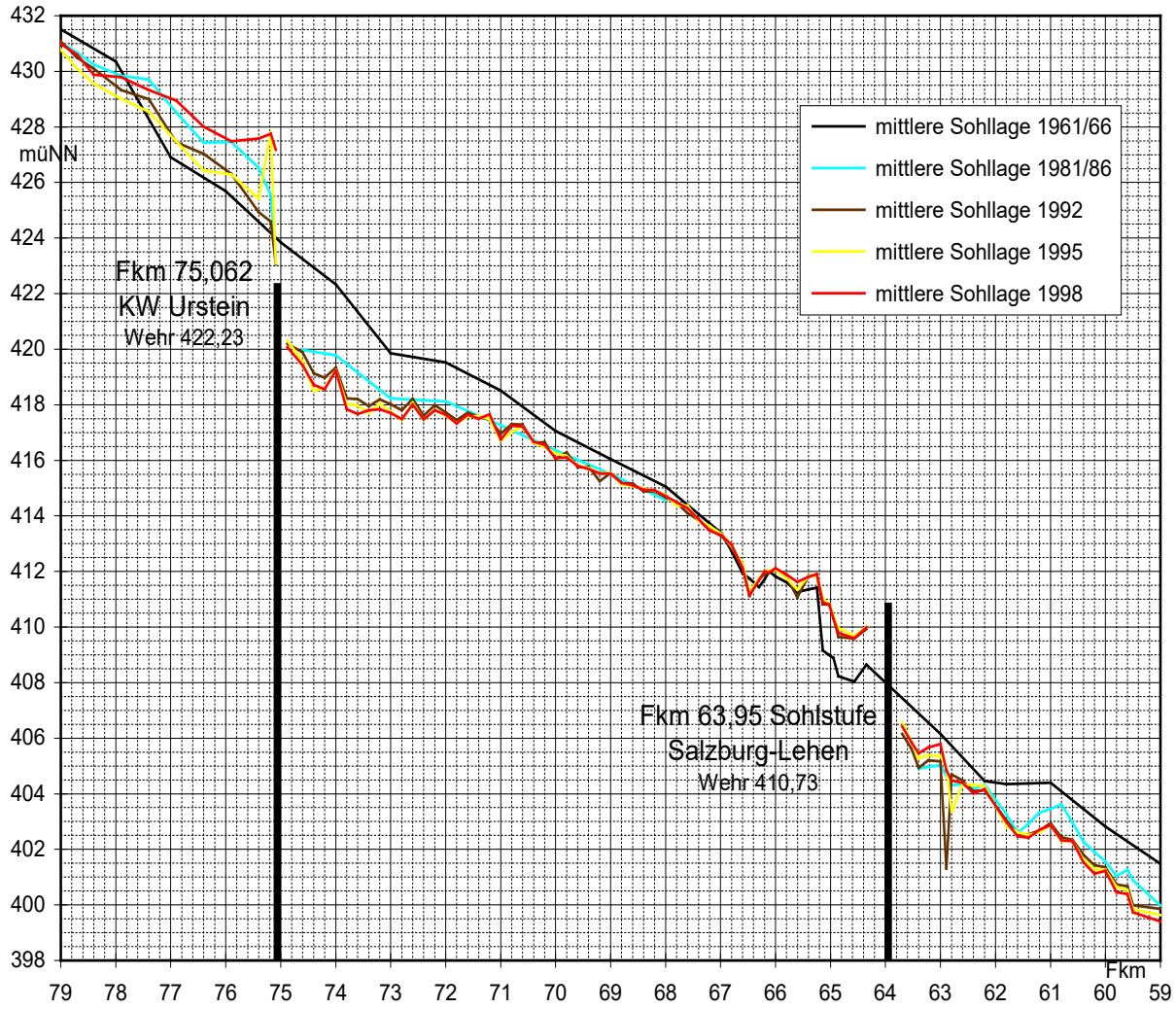


Abbildung 90: Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1961/98, Fkm 79 bis 59

5.10.2.4 Massenbilanzierung und Massensummenlinien

In Anlage 20.5 und 20.8 sind die Ergebnisse der Massenbilanzierung als Massensummenlinien dargestellt. Als Nullpunkt der Massensummenlinie wurde die Lammermündung gewählt (Hauptgeschiebelieferant der Salzach unterhalb der Salzachöfen). Erst seit 1992 liegen Profilaufnahmen im Bereich Salzachöfen bis Lammermündung (Abschnitt IVd) vor. Im Gegensatz zu allen anderen Bereichen ist der Wert der Massensummenlinie „vorzeichenverkehrt“ zu lesen. Z.B. steigt in Anlage 20.5 die Massensummenlinie 1995/98

von Fkm 96,68 von rd. – 10.000 m³ bis Fkm 95,59 auf 0 m³ an. Würde man statt der Lammermündung Fkm 96,68 als Nullpunkt der Massensummenlinie wählen, so wäre die Massensummenlinie um rd. +10.000 m³ nach oben verschoben.

In Anlage 20.5 wurde die Absolutwerte des Bilanzzeitraumes 1961/66 bis 1992 um den Faktor 5 reduziert. Im Bereich 80,42 bis 75,0 (entspricht weitgehend Stauraum KW Urstein) lagen Profilaufnahmen von 1961 und 1966 vor. Wie die gepunktelte grüne Linie zeigt, erodierte in dieser kurzen Zeit bevorzugt der Abschnitt Fkm 78 bis 75 mit rd. 30.000 m³/a bzw. gut 8 cm/a. Die Querbauwerke KW Hallein (Fkm 80,42), KW Urstein (Fkm, 75,062) und Sohlstufe Salzburg-Lehen (Fkm 63,95) treten bei allen Massenbilanzen als „Höcker“ deutlich in Erscheinung, die Wehranlage PWA Hallein (Fkm 82,88) dagegen nur im Zeitraum 1992/95 (Beginn der regelmäßigen Spülungen). Bemerkenswert sind die enormen Feststoffmengen, die im Stauraum Urstein zurückgehalten werden, im Zeitraum 1995/98 rd. 270.000 m³, vgl. 5.12.

In Anlage 20.8 wurden die mittleren jährlichen Massensummenlinien aufgetragen. In einigen Teilabschnitten sind die Bilanzzeiträume unterschiedlich lang. In Anlage 20.8 sind diese Zeiträume auf die Dauer eines Kalenderjahres einheitlich umgerechnet. In die Auswertung wurde eine weitere Unterteilung des Zeitraumes 1961/66 bis 1992 zum Zeitpunkt 1981/86 einbezogen, die Unterteilung brachte aber größere Profilabstände und enthält in einem Bereich eine Datenlücke.

Im Abschnitt IV (Salzachöfen bis Hallein) war der Massenabtrag im Zeitraum 1966/92 (grüne Linie mit Rauten) nach 1985/86 größer als während der Folgejahre bis 1992 (grüne Linie mit Dreiecken). Der Massenabtrag fand insbesondere unterhalb der Lammermündung bis etwa zur Schwelle Kuchl statt. Der Sprung bei Fkm 92 in den Massensummenlinien 1992/95 und 1995/98 erklärt sich mit einer Kiesbank, die das Profil 91,980 durchwanderte, s. Anlage 22.12. Seit 1992 liegen die Massensummenlinien zunehmend im positiven Bereich, ein Indiz dafür, daß sich der Geschiebehaushalt in diesem Abschnitt nach Jahrzehnten massiver Entnahmen langsam erholt.

Eine Interpretation des Abschnitts III (Stauräume Hallein und Urstein) gestaltet sich schwierig und ist nur in Kombination mit Geologie und Geschiebehaushalt sinnvoll. Es wird auf 5.12 verwiesen.

Im Abschnitt II fallen besonders die stark negativen Massensummenlinien im Bereich Fkm 75 bis 68 auf. Der Zeitraum 1995/98 bildet mit einer nur geringfügig negativen Massensummenlinie eine Ausnahme, die nach derzeitigem Kenntnisstand nicht erklärt werden kann. Die Schlußfolgerung, daß erstmals genug Geschiebe aus dem Stauraum Urstein in die Unterliegersrecke transportiert wurde um die Sohllage zu halten ist jedenfalls unzulässig, möglicherweise wurden Sohlstrukturen („Hurdenbänke“) freigespült die zumindest temporär der Sohlerosion Widerstand entgegensetzten können. Die Datenlücke im Bereich Fkm 68 bis 63,95 (Fixierung der Sohllage durch die Sohlstufe Salzburg-Lehen) wurde durch die Annahme einer unveränderten Sohllage (Wert der Massensummenline Fkm 68 = Fkm 64) abgeschätzt. Die Entwicklung dieser Massensummenlinien kann qualitativ abgeschätzt werden. Vergleicht man den Verlauf der Massensummenlinien in den Zeiträumen 1961/85 bzw. 1985/92 oberhalb Fkm 68 und unterhalb Fkm 64 so dürfte sich die Massensummenline bzw. die Sohlentwicklung in den Zeiträumen 1961/85 bzw. 1985/92 nicht wesentlich vom Verlauf der Massensummenlinie im Gesamtzeitraum 1961/92 unterscheiden.

Im Abschnitt I weist die Massensummenlinie unterhalb der Sohlstufe Salzburg-Lehen im Bereich bis ca. Fkm 62,8 rd. 12.000 m³/a (1992/95) bzw. rd. 7.500 m³/a (1995/98) Überschuß aus, diese „Anlandung“

kann aber durch die Sanierung des Kompressionskolkes unterhalb der Autobahnbrücke Liefering erklärt werden (Verfüllung des Kolkes, geringfügige Sohlhebung oberhalb der sanierten Kolkstrecke).

Anlage 24.42 enthält eine tabellarische Zusammenfassung abschnittsbezogener Ergebnisse der Massenbilanzierung. Die Werte in Klammern beziehen sich nicht auf den Gesamtabschnitt IIb sondern auf den Bereich Fkm 71 bis 68. Im zweiten Block „aufsummierte Volumen“ müßten die Werte der Spalte 1992-1981/86 und 1992-1961/67 weitgehend identisch sein. Da die Profilabstände der Aufnahmeserie 1981/86 z.T größer die von 1961/66 sind, sind die Abweichungen z.T. aber groß. Die grau hinterlegte Gesamtbilanz 1992-1961/67 enthält das zuverlässigere Datenmaterial.

5.10.2.5 Weitere Aussagen

Für die Salzach zwischen Salzachöfen und Saalachmündung wurde erstmals eine Massenbilanzierung erstellt, die auf WRS-internen Zwischenberichten des LfW [92] und WWA Traunstein [93], [94] aufbaut. Die Ergebnisse sind in Anlage 24.42 dargestellt. In erster Linie wird in 5.10.2 der Fragestellung nachgegangen, welche Geschiebefracht aus der Salzach oberhalb der Saalachmündung für die unterhalb gelegene Salzach erwartet werden kann, daher beschränkt sich der Text auf eine knappe Schilderung der Vorgehensweise und wesentlichen Ergebnisse. Eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse ist nur in Verbindung von Untergrundgeologie und Geschiebehaushalt der Zubringer sinnvoll und erfolgt deshalb in 5.12 und 5.13. Mit der Massenbilanzierung ist dort eine Präzisierung der bisherigen Frachtabschätzungen und Berechnungsergebnisse für die Salzach zwischen Salzachöfen und Saalachmündung möglich.

5.10.3 Salzach unterhalb der Saalachmündung

5.10.3.1 Bezugssysteme, Profilauswahl und Profileinpassung

Für die Salzach unterhalb der Saalachmündung existieren eine Vielzahl von Bezugssystemen:

- Im Zeitraum 1898 bis 1920 existierten eine Reihe unterschiedlicher Bezugssysteme, die näherungsweise vereinheitlicht wurden und als Veränderung der mittleren Sohllage gegenüber dem Stand der Ausgangsjahre 1898 bzw. 1905 dargestellt wurden.
- Für die im Maßstab 1:1000/100 gezeichneten Profile 1919, 1920, 1922/23 sind mittlere Sohllagen angegeben, über die Lage des verwendeten Bezugssystems finden sich aber keine Eintragungen.
- Für die im Maßstab 1:500/50 gezeichneten „alten“ Profile von 1939/41 bis 1963/64 finden sich detaillierte Eintragungen. Auf dieses älteste nachvollziehbare Bezugssystem wurden alle anderen Aufnahmen (soweit auf EDV erfaßt) umgerechnet.
- Für die im Maßstab 1:500/50 gezeichneten „neuen“ Profile von 1953 (Einpassungsgrundlage zu den „alten“ Profilen) und für 1967 bis 1977 finden sich ebenfalls detaillierte Eintragungen. Das Bezugssystem wurde gegenüber den „alten“ Profilen i.d.R. geändert.
- Seit 1981/82 werden die Salzachprofile nicht mehr gezeichnet sondern ausschließlich auf EDV auf der Datenbank Wasserwirtschaft (DBWas) erfaßt. Das Bezugssystem ist z.T. mit dem der „neuen“ Profile identisch, z.T. wurden aber wiederum Änderungen vorgenommen.
- Querschnittsauswertungen von UniBW, IWB und WWA Traunstein zeigten, daß Böschungsanlandungen eine Sohleintiefung in einem nicht vernachlässigbaren Maß kompensieren können und daher eine sohlnahe Definition der Lotrechten erforderlich ist, s. 5.5. Die Lotrechten wurden zwischen der unteren Böschungshälfte und Böschungsfuß der Jahre 1995/98 gelegt. Als Konsequenz dieser Lotrechten-

definition werden böschungsnahe Teilbereiche der bewegten Sohle bei älteren Aufnahmen (insbesondere 50er Jahre und früher) nicht zwischen den Lotrechten erfaßt. Mit diesem „sohlnahen" Bezugssystem wurden nur einige repräsentative Aufnahmejahre ausgewertet.

Die Anlagen 24.43 bis 24.47 enthalten eine tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Bezugssysteme und zum Vergleich die bewegte Sohlbreite im Bereich der Böschungsfußpunkte aus der Profilaufnahme 1977. Während sich Flächenwerte mit unterschiedlichem Horizont aber gleicher Lage der Lotrechten relativ leicht (Lotrechtenabstand mal Differenz der Horizonte) ineinander umrechnen lassen, ist dies nicht mehr möglich, wenn die Lage der Lotrechten verändert wird.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die bisher veröffentlichten Werte z.T. auf uneinheitlichen Bezugssystemen beruhen. Der LfW-Informationsbericht vom Februar 1980 [6] verwendete ausschließlich Werte, die auf den „alten" Profilen beruhen, der Phase I Bericht der WRS [29] und vorangegangene Zwischenberichte verwendeten eine Mischung unterschiedlicher Bezugssysteme.

Neben den in 5.5 in Tab. 17 aufgeführten Profilaufnahmen ist noch die Aufnahme von 1991 zu erwähnen, die unterhalb von Fkm 12,0 durch die digitalisierte Aufnahme der ÖBK von 1989 ergänzt wurde. Diese Aufnahme wurde nicht in die Auswertungen einbezogen:

- Durch das Augusthochwasser 1991 sind Sohländerungen verursacht worden, die eine Kombination der Profilaufnahmen 1989 und 1991 als zeitlich einheitliche Aufnahme in Frage stellen.
- Die Profilaufnahme 1991 wurde ursprünglich wegen Unstimmigkeiten als Aufnahme 1992 wiederholt. Zwischen der Aufnahme 1991 und 1992 liegt das Weihnachtshochwasser von 1991, so daß die Profilaufnahme 1992 nicht als Plausibilitätskontrolle der Profilaufnahme 1991 geeignet ist.
- Im Phase I Bericht der WRS [29], Tabelle A2 wurden für den Bereich Fkm 59,3 bis 12,0 folgende Massenbewegungen publiziert: Bilanzzeitraum 1985/91: -413.311 m^3, Bilanzzeitraum 1985/92: -202.962 m^3. Daraus folgt, daß in einem Zeitraum von ca. 3 Monaten 210.349 m3 auf der Salzachstrecke zwischen Saalachmündung bis Burghausen angelandet wären (auf Jahresgeschiebefracht umgerechnet: 841.396 m^3/a). Wegen der unplausiblen Massenbilanz (ein mittleres Hochwasser kann nicht das ca. 10fache einer durchschnittlichen Jahresgeschiebefracht bzw. Vielfaches der bilanzierten Geschiebefracht des HW_{1959} bringen) wurde erwogen, die Profilaufnahme 1991 zu verwerfen. Zwischenzeitlich haben Nachprüfungen des WWA zu dem Ergebnis geführt, daß die Profilaufnahme 1991 vermessungstechnisch keinen offensichtlichen Fehler aufweist. Dieser Widerspruch kann derzeit nicht aufgelöst werden. Die Massensummenlinien 1985/91 und 1991/92 sind in 5.10.3.5 dargestellt (Massensummenlinien im Zeitraum 1981/98, Bezugssystem DBWas).

Die Profilaufnahme des WWA Traunstein von 1998 erfolgte bis Fkm 6,6 (Alzkanalmündung), diese Aufnahme könnte mit der Profilaufnahme der ÖBK von Fkm 1,4 bis 12,0 aus 1999 kombiniert werden, sofern die Profildaten auf DBWas eingespielt werden. Für die Auswertung der Profilaufnahme 1998 im Bezugssystem 1939/41 wurden die entsprechenden Werte mittels EXCEL-Auswertedatei ermittelt.

Die Grafiken von Anlage 22.1 bis 22.8 (nur Fkm 58) zeigen Grafiken dieser Auswertung in Verbindung mit älteren Profilaufnahmen. In Anlage 20 sind Auswertungen, welche die Profilaufnahme 1998 benötigen, nur bis Fkm 6,4 dargestellt (Ausnahme Anlage 20.6: Für den Zeitraum 1977/98 wurde für die Bilanz 1995/98 im Abschnitt 6,4 bis 1,4 die Annahme getroffen, daß keine Sohländerungen auftraten, d.h. die Massenbilanz dieses Abschnitts wurde mit 0 m^3 als ausgeglichen angenommen).

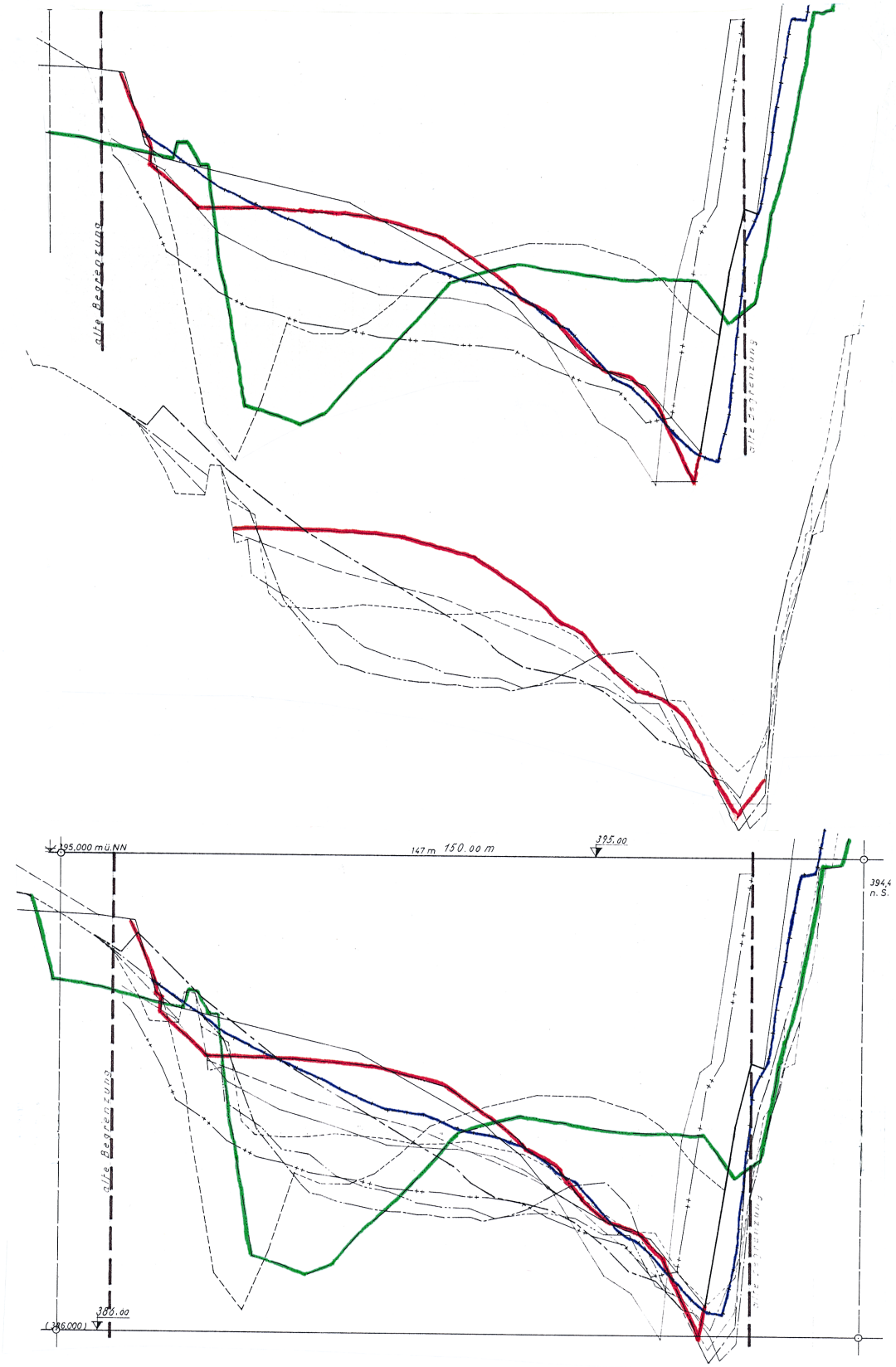


Abbildung 91: Gezeichnete Salzachprofile Fkm 48,2 im Zeitraum 1940/77

Die Einpassung einzelner Profilaufnahmen gestaltet sich mitunter sehr schwierig und zeitaufwendig. Liegen nur gezeichnete Profilaufnahmen vor, sind Strecken- und Höhenfehler nicht mehr rekonstruierbar. Veränderungen an den Ufern oder Veränderungen der Peilachse sind weitere mögliche Fehlerquellen bei

der Profileinpassung. Aber auch wenn die Profildatenerfassung von der Vermessung bis zur Datenbakabspeicherung EDV-gestützt erfolgte, können nicht alle Fehlerquellen ausgeschlossen werden. Die Einpassung von Profilaufnahmen kann oft nur noch näherungsweise erfolgen, hierzu drei Beispiele.

Abb. 91 zeigt die gezeichneten Salzachprofile bei Fkm 48,2. Der obere Teil zeigt zwei Lotrechtenvarianten der „alten“ Profile (fette gestrichelte Linie innerhalb der dünner gestrichelten Begrenzungslotrechten), der mittlere Teil zeigt die „neuen“ Profile und der untere Teil eine Überlagerung auf der Basis der Profilaufnahme 1953 (rote Linien) der oberen und mittleren Teilabbildung. Für Fkm 48,2 liegen somit drei Lotrechtendefinitionen vor (120 m und 150 m bei den „alten“ Profilen sowie lagemäßig identisch 147 m bei den „neuen“ Profilen und den Profilen auf DBWas). Auf der rechten (oberndorfer) Seite bildet der Hochwasserdamm eine feste Berandung, die abgesehen von etwas Bewuchs, sandigen Ablagerungen und Maßnahmen der Gehölzpflege unveränderlich ist. Die Mehrzahl der aufgenommenen Berandungen schwankt in einem Bereich von 5 m. Die Aufnahmen von 1957 und 1959 liegen aber ca. 10 m von den anderen Berandungen entfernt, was nur durch eine Veränderung der Peilachse erklärbar ist. Anhaltspunkt für diese Vermutung ist die ebenfalls verschobene Lage der Berme in halber Böschungshöhe. Möglicherweise hat es eine weitere Veränderung der Peilachse gegeben, alle Aufnahmen nach 1964 (grüne Linie) scheinen mehr rechts zu liegen als die Aufnahmen vor 1954 (blaue Linie).

Veränderungen der Peilachse lassen sich flußmorphologisch nur näherungsweise korrigieren. Meist wurde ein Festpunkt gefunden, der zweite dagegen nicht oder mit anderen Marken verwechselt. Abb. 92 zeigt das Beispiel von Fkm 47,8.

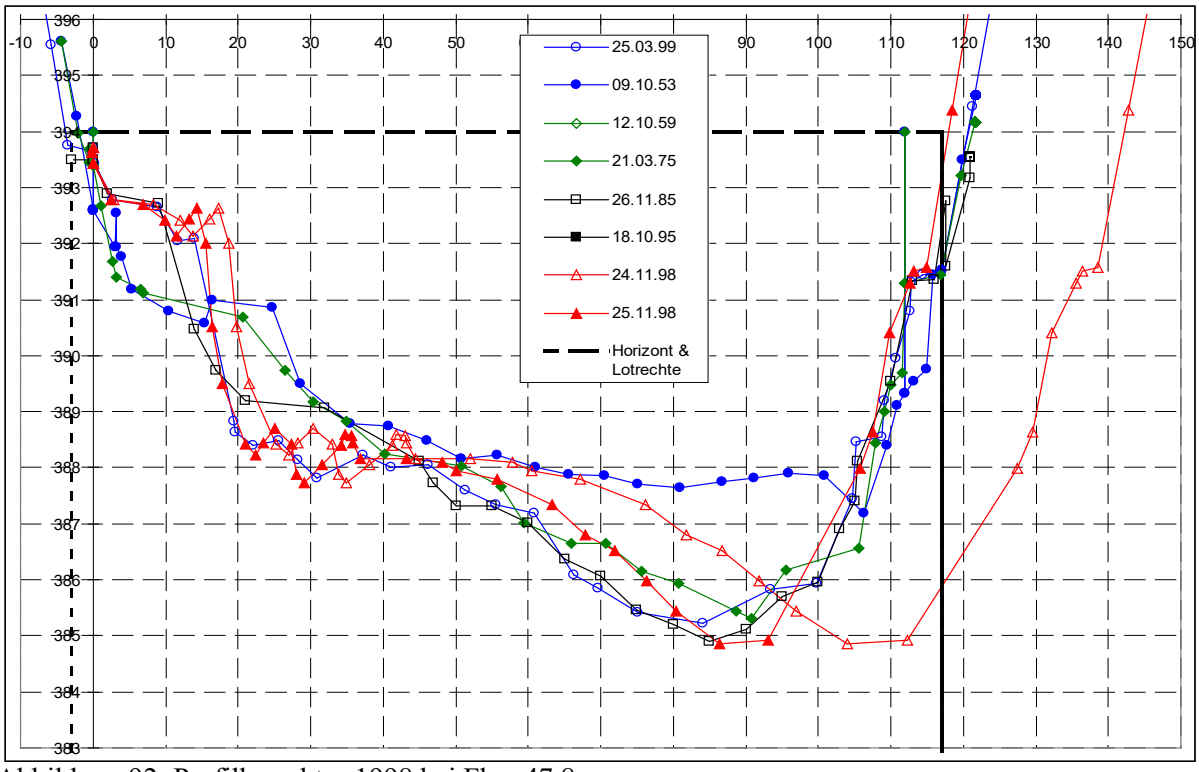


Abbildung 92: Profilkorrektur 1998 bei Fkm 47,8

Bei der Aufnahme vom 24.11.1998 wurde auf oberndorfer Seite versehentlich der falsche Festpunkt verwendet. Dadurch wurde das Profil „breiter“ als die Profile mit korrekter Peilachse. Dieses Profil wurde nun

gestaucht und ist mit Datum 25.11.1998 dargestellt (Einpassung: identische Stationierung 0,0 m). 4 Monate später (25.03.1999) erfolgte eine Neuaufnahme des Profils. Die rechte Böschung paßt besser zu den früheren Aufnahmen als das verzerrte Profil, aber die Sohlstruktur hat sich während der 4 Monate verändert. Der recht deutliche Flächenunterschied von 23 m^2 hat einen nicht vernachlässigbaren Einfluß auf die Massenbilanz (überschlägig: 23 m^2 mal 200 m Länge = 4.600 m^3). Unter Einbezug der Flächenänderung benachbarter Profile kann darauf geschlossen werden, welche Profilgestalt für die Massenbilanzierung realistischer erscheint. Die Verzerrung der „falschen" Profillage (Dehnung oder Stauchung ggf. zusätzlich eine abschnittsweise Kombination unterschiedlicher Profilaufnahmen) kann somit ebenso realistisch sein wie eine nachträglich zeitnah erfolgte Neuaufnahme des Profils. Wird der Fehler aber nicht zeitnah entdeckt, bleibt nur der Weg der Profilverschiebung und/oder der Profilverzerrung.

Erschwerend kam bei Fkm 48,2 die Besonderheit hinzu, daß die Flächen bis 1957 nur für den Lotrechtenabstand 120 m planimetriert wurden. Auf der Basis der Flächenwerte 1959 und 1964, die für beide Begrenzungslotrechten planimetriert wurden, konnte näherungsweise eine Umrechnung der Flächenwerte vor 1954 erfolgen.

Derart aufwendige Profilüberprüfungen waren auf Sonderfälle beschränkt. I.d.R. wurden die Werte aus dem Querschnittsverarbeitungsbuch [95] auf Plausibilität geprüft und für die Massenbilanzierung übernommen. Weitaus schwieriger zu entdecken und ggf. zu korrigieren sind fehlerhaft erfaßte Reflektorhöhen. Am Beispiel der Aufnahme 1992, Fkm 44,8 und Fkm 45,0 soll dies verdeutlicht werden. Bisher wurde vermutet, daß im Bereich Fkm 45,0 anläßlich des Weihnachtshochwassers 1991 eine Kiesbank „hängen geblieben" sei, der Sprung in der Massenbilanz erschien in seiner Größe jedoch nicht plausibel. Eine genauere Nachprüfung zeigte, daß die 1992 mit aufgenommenen Wasserspiegellagen im Vergleich zu benachbarten Profilen zu hoch lagen.

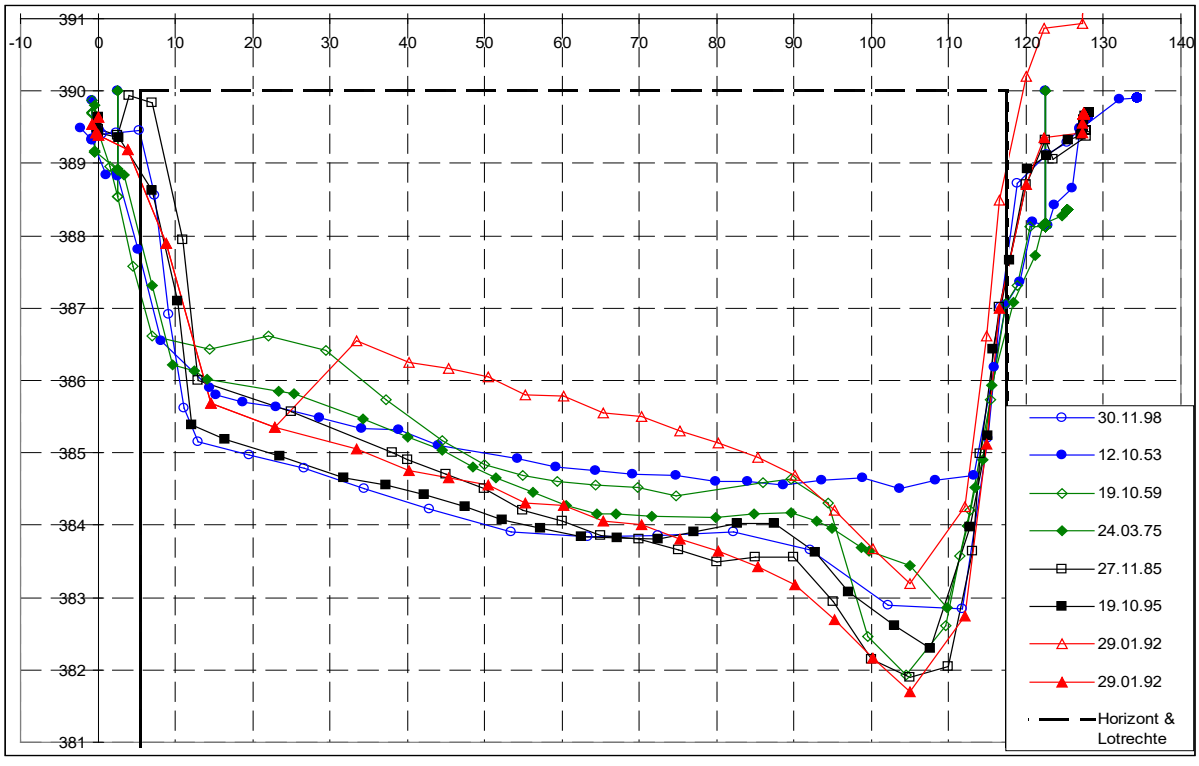


Abbildung 93: Profilkorrektur 1992 bei Fkm 44,8

Abb. 93 zeigt Fkm 44,8. Deutlich ist die nach oben versetzte Sohlgeometrie der nicht korrigierten Aufnahme vom 29.01.1992 (Line mit „leeren“ Dreiecken) zu erkennen. Da die rechte Böschung ebenfalls höhenversetzt ist, kann das Profil anhand der rechten Böschung eingepaßt werden (mögliche Höhenkorrektur 1,5 bis 1,6 m, gewählte Höhenkorrektur 1,5 m, siehe Linie mit „gefüllten“ Dreiecken).

Abb. 94 zeigt Fkm 45,0. Die nach oben versetzte Sohlgeometrie der Aufnahme vom 29.01.1992 tritt nur als „Haken“ im rechten Böschungsbereich in Erscheinung. Im linken Böschungsbereich ca. bei Stationierung 37 m liegen zwei Sohlpunkte unüblich dicht beisammen. Zwischen diesen beiden Punkten kann die Höhenlage der Linie mit den „leeren“ Dreiecken korrigiert werden. Anhand der Sohlgeometrie und der Böschungsfußpunkte der zeitlich nächstgelegenen Profilaufnahmen kann ein Höhenfehler im Bereich von 1,5 bis 2,0 m vermutet werden. Im vorliegenden Fall wurde die Höhenkorrektur auf 1,5 m festgesetzt, da sonst der Kolk der Aufnahme 1992 unplausibel tief geworden wäre (bei Fkm 45,2 lag der Kolk der Aufnahme 1992 gut 1 m unter dem Kolk von 1995).

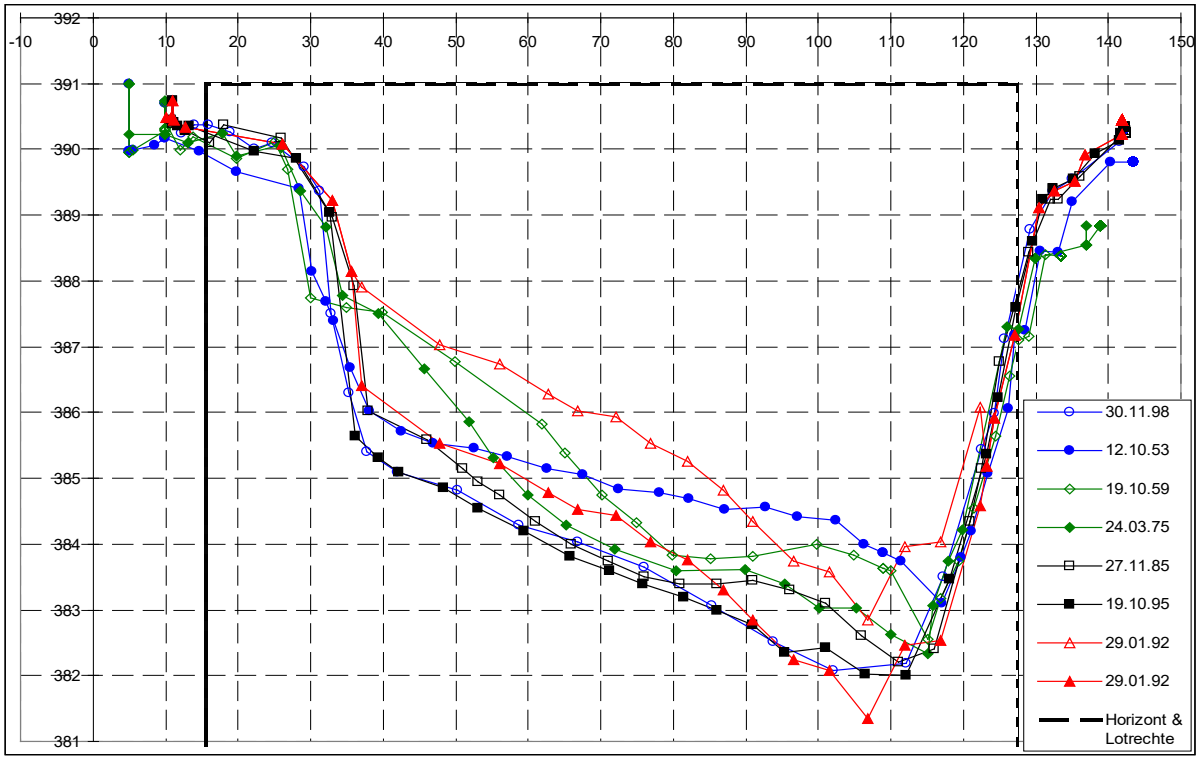


Abbildung 94: Profilkorrektur 1998 bei Fkm 45,0

Die Höhenkorrektur beider Profile bewirkte in der Massenbilanz eine Änderung von 52.490 m^3.

5.10.3.2 Jährliche Volumenänderungen

Die Anlagen 20.1, 20.2 und 24.7 bis 24.20 zeigen verschiedene Darstellungsarten (Bezugssystem 1939/41) von jährlichen Volumenänderungen, eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse erfolgt in 5.10.3.4.:

- Anlage 20.1: Jährliche Volumenänderung je Abschnitt. Diese Anlage vermittelt eine Übersicht der langfristigen Änderungen im Geschiebehaushalt der einzelnen Abschnitte mit vergleichbaren Randbedingungen (vgl. 3.7). Das bilanzierte Volumen eines Teilabschnitts wird über den Aufnahmezeitraum geteilt und als Balkendiagramm dargestellt.

- Anlage 24.7 bis 24.20: Statt der Abschnitte 1 bis 5 wurden Kilometerbereiche als Bilanzierungseinheit gewählt. Damit lassen sich lokale Veränderungen leichter feststellen. Die Auflösung der Abschnitte in km-Bereiche wurde Anfang 97 von der Expertengruppe Maßnahmenplanung angeregt.
- Anlage 20.2: Jährliche Volumenänderung je Abschnitt und Kilometer. Die in Anlage 20.1 dargestellten Volumenänderungen wurden durch die Abschnittslängen geteilt. Damit können die mengenmäßigen Zusammenhänge der einzelnen Abschnitte untereinander besser eingeschätzt werden.

5.10.3.3 Jährliche Sohländerungen, mittlere Sohllage

Die jährlichen Sohländerungen (Bezugssystem 1939/41) ergeben sich aus der jährlichen Volumenänderung geteilt durch die Abschnittslänge und Mittelwert der Breite im betrachteten Abschnitt. In 5.1.1 wurde mit Abb. 22 bereits ein Überblick über die Sohländerungen als Mittelwerte der Zeiträume 1953/64 und 1977/95 gegeben. Die Anlagen 20.3 und 24.21 bis 24.34 zeigen verschiedene Darstellungsarten von jährlichen Sohländerungen:

- Anlage 20.3: Jährliche Sohländerung je Abschnitt. Diese Anlage vermittelt eine Übersicht der langfristigen Sohländerungen in den einzelnen Abschnitten.
- Anlage 24.21 bis 24.34: Statt der Abschnitte 1 bis 5 wurden Kilometerbereiche als Abschnittseinheit gewählt. Damit lassen sich lokale Veränderungen leichter feststellen.

Anlage 15 zeigt die Veränderungen der mittleren Sohle gegenüber dem Stand der Ausgangsjahre 1898 (gemeinsame Grenzstrecke Bayern und Salzburg) und 1905 (gemeinsame Grenzstrecke Bayern und Oberösterreich). Wie in 5.5 dargelegt ist diese Darstellung nur eingeschränkt verwendbar, da die Änderung der mittleren Sohllage aus verschiedenen, uneinheitlichen Bezugssystemen ermittelt wurde. Immerhin sind für den Zeitraum1898/1920 einige markante Sohländerungen erkennbar: 1 m Eintiefung im Bereich Fkm 57 bis 56 und 43 bis 42 sowie eine Anlandungstendenz unterhalb der Nonnreiter Enge mit Spitzenwerten von ca. 0,5 m. Ein Bericht des Straßen- und Flußbauamtes Traunstein vom Juli 1921 [50] bewertet die in Anlage 15 dargestellte Auswertung wie fogt:

"Beilage IVa gibt im übrigen ein recht deutliches Bild von der Entwicklung der gesamten Flußlage seit 1898 bzw. 1905, die sich kennzeichnet in einer Eintiefung in der oberen und einer Aufhöhung in der unteren Flußstrecke, als im allgemeinen wenigstens der typischen Charakteristik eines korrigierten Flusses entspricht. ... (1855) war von einer systematischen Korrektion der Salzach jedenfalls noch nicht die Rede. Dieser Niederwasserspiegel zeigt bei Laufen eine muldenförmige Vertiefung. Dieser Zustand war damals wohl als Beharrungszustand anzusehen, weil er während 34 Jahren, 1826/60, nur geringfügigen Änderungen unterworfen war. Mangels anderer äußerer Ursachen muß die Störung dieses Beharrungszustandes auf die Durchführung der Korrektion zurückgeführt werden, durch die von oben her mehr Geschiebe abgetrieben wurde, das die Mulde in der Flußsohle bei Laufen allmählich auffüllte. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die Geschiebezurückhaltung bei Laufen, die um das Jahr 1860 begonnen haben dürfte und zwischen 1880 und 1890 besonders stark in Erscheinung tritt, auch die Flußlage in Tittmoning beeinflußt hat insofern, als die Hebung der Flußsohle dort sich relativ verlangsamt hat. ... Es sind von 1898 bis 1920 für alle 2 Jahre die Änderung der Höhenlage der mittleren Sohle ... gegenüber dem Stand der Ausgangsjahre 1898 und 1905 ... dargestellt. Die Baggerungen zwischen 1900 und 1908 treten als braune Eintiefung der mittleren Sohllage deutlich in Erscheinung. Korrektionsbedingte Eintiefung ist erstmals 1912 feststellbar. In diesem Jahr liegt die mittlere Sohle im Freilassinger Becken erstmals deutlich tiefer unter dem Stand von 1898."

Für Abbildungen 95 bis 97 wurde die mittlere Sohllage ausgewählter Aufnahmezeitpunkte (1920, 1953, 1975, 1989, 1995 und 1998) verwendet. Es wurde das „sohlnahe“ Bezugssystem gewählt. Für dieses Bezugssystem ist zu beachten, daß böschungsnahe Teilbereiche der bewegten Sohle nicht bei der Ermittlung der mittleren Sohle berücksichtigt werden konnten (gilt insbesondere für die Jahre 1920 und 1953).

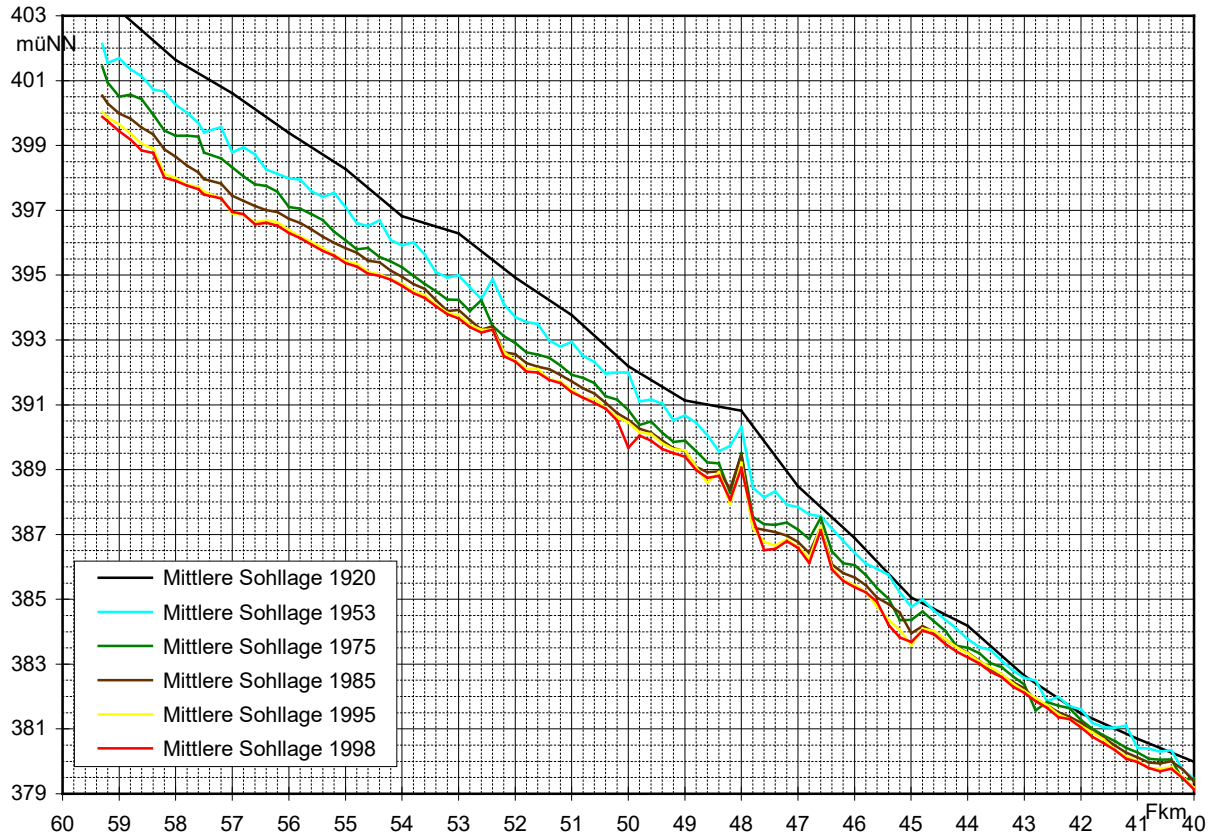


Abbildung 95: Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 60 bis 40

Abb. 95 zeigt besonders deutlich das keilartige Absinken der Mittleren Sohllage im Zeitraum 1920/98 zwischen Saalachmündung (ca. 4 m) und dem Ende der Laufener Enge (ca. 1 m). Die Spitze des Erosionskeils kann etwa im Bereich Fkm 45 bis 43 angesiedelt werden.

Abb. 96 zeigt das relativ gleichmäßige Absinken der mittleren Sohllage im Tittmoninger Becken in der Größenordnung von 1 m.

Abb. 97 zeigt, daß auch die Durchbruchsstrecke von Nonnreit von einer Sohleintiefung von rd. 1 m betroffen ist. Besonders markant treten die Eintiefungsspitzen von Fkm 19,6, 17,2 und 16,4 in Erscheinung. Die ersten beiden Eintiefungsspitzen sind auf die hohe hydraulische Beanspruchung der Sohle im Bereich von Flußkrümmungen zurückzuführen, letztere liegt am Ende einer ca. 600 m langen geraden Strecke ohne Kiesüberdeckung (s. Anlage 3).

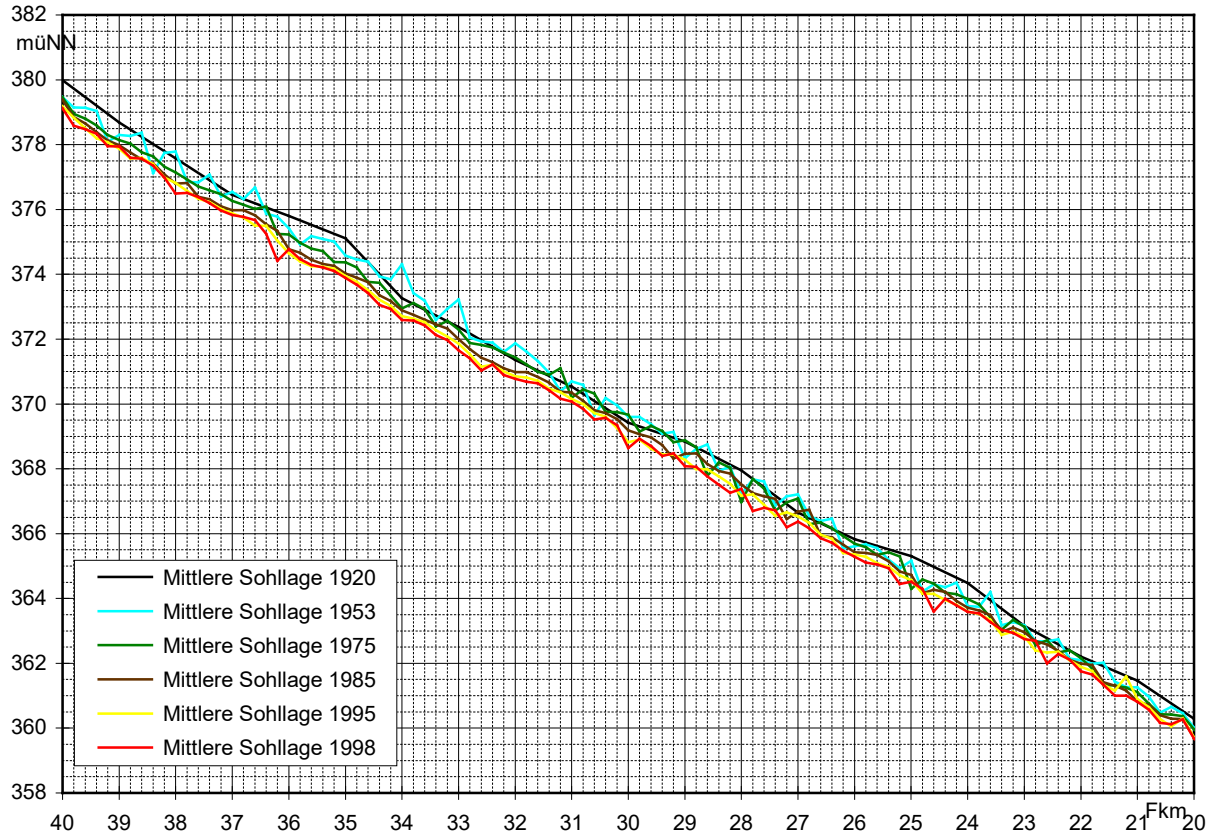


Abbildung 96: Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 40 bis 20

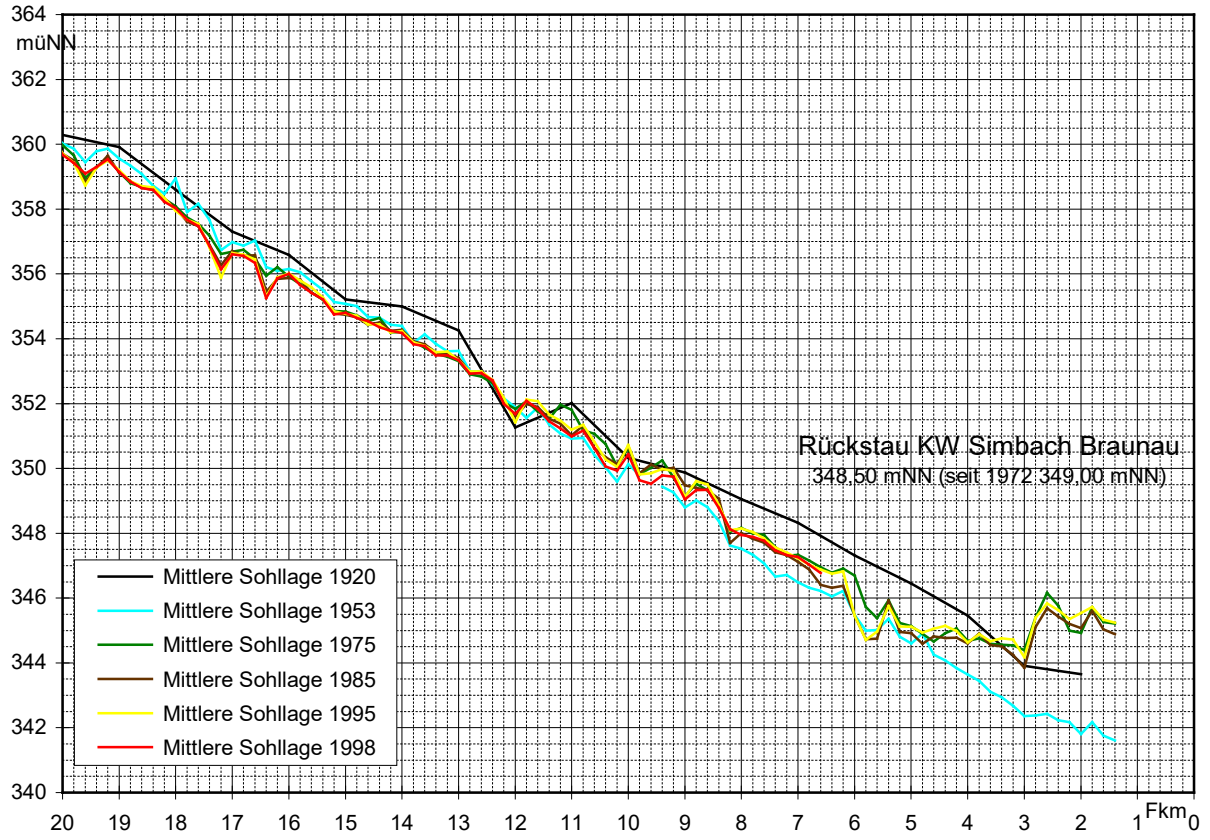


Abbildung 97: Mittlere Sohllagen im Zeitraum 1920/98, Fkm 20 bis 0

5.10.3.4 Massenbilanzierung und Massensummenlinien

Anlage 20.4 (Bezugssystem 1939/41) zeigt die Massensummenlinien aller verwendeten Profilaufnahmen im Zeitraum 1919 bis 1998. Die ältesten 3 Massenbilanzen erfolgten im Kilometerabstand, die Massenbilanz 1940/49 im 200 m - Abstand, im Bereich Fkm 27,0 bis 12,0 z.T. im 400 m - Abstand. Alle späteren Massenbilanzen erfolgten durchgehend im 200 m - Abstand. Im Zeitraum 1954 bis 64 mußten die Werte von Fkm 3,0 bis 1,6 interpoliert werden, da für die Jahre 1957, 1959 und 1964 keine Profilaufnahmen vorlagen. Die Anlagen 24.48 bis 24.51 enthalten eine tabellarische Zusammenfassung von abschnittsbezogenen Ergebnissen der Massenbilanzierung.

Alle Massenbilanzen liegen im negativen Bereich (Massenabtrag), lediglich die Bilanzen 1919/20, 1953/54 und 1957/59 sind positiv. Grund hierfür sind die Hochwässer von 1920 und 1959 mit großen Abflußspitzen sowie das Hochwasserereignis von 1954 mit einer großen Abflußfülle. Durch diese drei Ereignisse wurden mehr Feststoffe in die Salzach unterhalb der Saalachmündung eingetragen als weitertransportiert werden konnten. In den Folgejahren wurde dieser Überschuß jedoch schnell abgetragen (Bilanzen 1920/22, 1954/57 und 1959/64).

Die Summenlinie 1920/22 pendelt von der Saalachmündung bis zum Tittmoninger Becken um die Null-Linie (näherungsweise ausgeglichene Massenbilanz). In Verbindung mit Anlage 15 kann daraus gefolgert werden, daß bis zum Abschluß der Korrektionsarbeiten in den 20er Jahren die Salzach noch die Fähigkeit einer gewissen Selbstregulierung des Feststoffhaushaltes hatte, einerseits durch erhöhten Feststoffeintrag aus oberstromigen Korrektionsabschnitten mit erhöhtem Feststofftransport - diese Korrektionsfolgen waren jedoch bereits im Abklingen befindlich - andererseits durch Vergröberung der Kornzusammensetzung und Transport feinerer Fraktionen.

Die Summenlinie 1922/40 fällt mit dem hohen Gesamtverlust etwas aus dem Rahmen, dies ist aber mit dem langen Bilanzzeitraum erklärbar. Die mittlere Massensummenlinie (Anlage 20.7) liegt in der Schwankungsbreite anderer Bilanzierungszeiträume.

Die Massenbilanzen von 1922 bis 1953 weisen vom Inn her bis in den Raum Burghausen eine negative Bilanz auf, die Bilanzierung von 1919/20 ist dagegen noch annähernd ausgeglichen. Neben einer rückschreitenden Erosionstendenz vom Inn her kommt als Ursache vor allem die geschiebefreie Einleitung des Alzkanals mit 70 m^3/s seit Ende 1922 in Betracht. Von 1922 bis 1953 ist deutlich das Wandern der rückschreitenden Erosion von der Alzkanalmündung über Burghausen in Richtung Nonnreit zu erkennen. Seit dem Einstau durch das KW Simbach-Braunau, dessen Stauwurzel etwa bei Fkm 7,0 bis 8,0 liegt, ist diese Erscheinung behoben und die hohen Massenverluste im Zeitraum 1922/53 überwiegend sind ausgeglichen. Seit der Profilaufnahme 1953 erfolgten die Profilaufnahmen im 200 m Abstand und i.d.R. innerhalb kurzer Aufnahmezeiten (2 Monate).

Profiländerungen vor und nach dem Hochwasser 1959 lassen wie beim Hochwasser von 1920 auf eine hohe Dynamik der Bettbildung schließen. Mitte der 50er bis Mitte der 70er Jahre erleidet die Salzach die bisher größten Massenverluste, einen besonders hohen Massenverlust bewirkten die nassen Jahre 1965, 1966 und 1970. Das Hochwasser von 1959 bildet eine Ausnahme. Während das Freilassinger Becken nur geringfügig Masse verlor, landete die Sohle unterhalb der Laufener Enge kontinuierlich auf. Vermutlich sättigte der Sohldurchschlag im Bereich Salzburg-Hallein und der Geschiebeeintrag aus der Unteren

Saalach die Transportkapazität des Freilassinger Beckens weitgehend ab, ansonsten wäre eine starke Ausräumung des Freilassinger Beckens zu erwarten gewesen. Seit der Bilanz 1964 bis 69 ist im Bereich der Geschiebeentnahme bei Fkm 6,5-6,3 ein deutlich ausgeprägter Knick in der Massenbilanz zu sehen. Dies ist auf die Geschiebeentnahme der GKW zurückzuführen, die zur Einhaltung der Vertragssohle durchgeführt wird. Seit Ende der 70er Jahre haben sich die Massenverluste verringert - in erster Linie als Folge der geringeren Abflußsummen. Im Freilassinger Becken bleibt die Erosion annähernd konstant, lediglich im Bilanzzeitraum 1992/95 ist auf den ersten zwei Kilometern der Massenverlust besonders groß.

Im Bereich Fkm 6,5 bis 6,2 sind die Auswirkungen der Geschiebeentnahme deutlich nachzuvollziehen. Unterhalb der Geschiebeentnahme sind bis auf den Bilanzzeitraum 1981/85 Anlandungstendenzen zu beobachten, die im wesentlichen auf feinere Fraktionen zurückzuführen sind. Im Bilanzzeitraum 1977/81 wurde überdurchschnittlich viel Geschiebe entnommen was sich als Erosion im Abschnitt unterhalb Fkm 11,4 bis ca. Fkm 6,5 bemerkbar machte. Im Zeitraum 1981/85 erfolgten geringere Geschiebeentnahmen, wodurch im selben Abschnitt gut 20.000 m^3 anlandeten. Im Zeitraum 1985/92 waren die Geschiebeentnahmen etwas höher, die Massenbilanz zeigt einen relativ ausgeglichenen Verlauf. Im Bilanzzeitraum 1992/95 ist eine Anlandung von rd. 40.000 m^3 erkennbar. Dies kann als direkte Folge der geringen Entnahme im Jahr 1995 verstanden werden, wo nur 27.000 m^3 entnommen wurden. Seit Mitte der 70er Jahre verringerten sich die Geschiebeentnahmen, s. 5.12.

Zur Beurteilung der langfristigen Vorgänge wurden die Einzelbilanzzeiträume zu größeren Zeiträumen zusammengefaßt, s. Anlage 20.6 (Bezugssystem 1939/41). Für die Massenbilanzen wurden wegen der Vergleichbarkeit einheitlich 1000 m Abstände gewählt. Für die Bilanz 1995/98 im Abschnitt 6,4 bis 1,4 wurde die Annahme einer ausgeglichenen Massenbilanz mit 0 m^3 getroffen. Zeiträume der Einzelbilanzen:

- Bilanzversuch Gesamtzeitraum 1855/1919 (ca. 64 Jahre)
- Gesamtzeitraum 1919/54 (ca. 35 Jahre)
- Gesamtzeitraum 1954/77 (ca. 23 Jahre)
- Gesamtzeitraum 1977/98 (ca. 21 Jahre)

Der Zustand 1855 kann nur als "Momentaufnahme" während der ersten Korrektionsphase angesehen werden. Besonders das Freilassinger Becken war vom hohen Geschiebeeintrag der Unwetterschäden vergangener Jahrzehnte (vgl. 5.7) und Auswirkungen oberhalb liegender Korrektionsstrecken geprägt. 1855 hatte die Salzach keine eindeutige Lage (verzweigter Gewässerlauf) und eine größere Lauflänge. Z.B. floß die Salzach im noch nicht korrigierten mittleren Abschnitt des Freilassinger Beckens entlang der tiefergelegenen österreichischen Auwaldgrenze. Beides wird im überschlägigen Bilanzierungsversuch ignoriert, in welchem Profillage und Bilanzierungsbreite der Querschnittsaufnahme 1939/41 verwendet wurden. Von einer Massenbilanzierung im eigentlichen Sinn kann daher nicht gesprochen werden, bei den berechneten Ergebnissen handelt es sich lediglich um Größenordnungen. Der Rekonstruktionsversuch erfolgte in vier Teilschritten auf der Basis von NW-Spiegelfestlegungen:

- Differenz aus der NW-Spiegelfestlegung 1978 - NW-Spiegelfestlegung 1855
- Differenz aus der NW-Spiegelfestlegung 1978 - mittlere Sohllage (mS) 1977
- mS 1977 - mS 1855 = (NW 1978 - NW 1855) - (NW 1978 - mS 1977)
- Massenbilanz (1855/1919) = Massenbilanz (1919/77) - Massenbilanz (mS 1977 - mS 1855)

Aus dieser Vorgangsweise wird die Problematik dieses Rekonstruktionsversuches bereits sichtbar. Im Verleich der Anlagen 20.6 (Massensummenlinien von Gesamtzeiträumen), 15 (Entwicklung der mittleren

Sohllagen) und 17.1 (Ganglinie der Jahresmittelwasserstände von Salzachpegeln) fallen Widersprüche auf:

- In Anlage 20.6 tieft sich die Sohle unterhalb der Saalachmündung bis etwa Fkm 54 ein, um sich anschließend wieder bis fast zum Ausgangsniveau zu heben, welches etwa im Bereich Fkm 47 bis 45 erreicht wird. Nach Anlage 15 wäre dieser Bereich eher bei Fkm 40 zu vermuten. Nach Anlage 17.1 dürfte bei Fkm 48 im Gesamtzeitraum 1855/1919 keine Eintiefungstendenz vorliegen, sondern eine Anlandung (die Jahresmittelwasserstände stiegen um knapp 1 m). Im Zeitraum 1898/1919 senkten sich die Jahresmittelwasserstände um knapp 0,5 m, die mittlere Sohle blieb jedoch annähernd gleich.
- Im Bereich Pegel Tittmoning (Fkm 27) zeigt die Massensummenlinie 1855/1919 eine geringe Sohlerosion, die Jahresmittelwasserstände kletterten im gleichen Zeitraum jedoch um ca. 0,8 m. Im Zeitraum 1905/1919 fielen die Jahresmittelwasserstände um ca. 0,2 m, die mittlere Sohllage in Anlage 15 blieb in etwa konstant.
- Nach Anlage 20.6 reichte die rückschreitende Erosion vom Inn bis oberhalb Burghausen (Bereich Fkm 19 bis 16). Im Bereich Pegel Burghausen war jedoch eine leichte Hebung der Jahresmittelwasserstände zu verzeichnen. Im Zeitraum 1905/19 betrug die Hebung 1 bis 2 Dezimeter, ein Wert, der mit den mittleren Sohllagen von Anlage 15 am ehesten in Einklang gebracht werden kann.

Hinsichtlich der Plausibilität der verwendeten Unterlagen ist eindeutig den Jahresmittelwasserständen von Salzachpegeln (Anlage 17.1) der Vorzug zu geben. Diese Meßdaten liegen zwar nur an drei Punkten der Strecke vor, sind aber ausreichend genau dokumentiert. Anlage 15 liegen uneinheitliche Bezugssysteme zugrunde. Die zahlreichen Annahmen und Hilfskonstruktionen der Massensummenlinie 1855/1919 schränken deren Verwertbarkeit sehr stark ein. Immerhin legt die jährliche Massensummenlinie 1855/1919 in Anlage 20.6 den Schluß nahe, daß der Massenaustrag in den Inn geringer war als in den folgenden Jahrzehnten.

Im Zeitraum 1919/54 nimmt der jährliche Massenabtrag im Freilassinger Becken zu, im oberen Tittmoninger Becken dagegen nur ein geringer Massenabtrag und unterhalb Fkm 33 bis zur Nonnreiter Enge eine Anlandung der Sohle. Vom Inn her ist die rückschreitende Erosion deutlich ausgeprägt, sie erreicht ca. Fkm 15. Im darauffolgenden Zeitraum 1954/77 setzt sich der hohe Massenabtrag des oberen Freilassinger Beckens (ca. 4000 $m^3/km*a$) bis zur Laufener Enge fort, der Massenabtrag reduziert sich im Tittmoninger Becken, um unterhalb Fkm 15 in eine Anlandungstendenz überzugehen (Inbetriebnahme des KW Simbach-Braunau am 30.10.1953, Umkehrung der Verhältnisse im Bilanzzeitraum 1919/54). Im Zeitraum 1977/98 wird der hohe Massenabtrag unterhalb Fkm 57 moderater, nimmt jedoch unterhalb Fkm 34 wieder zu um ab Fkm 24 wieder abzunehmen. Ab der Nonnreiter Enge ist die Massenbilanz in etwa ausgeglichen.

Als wesentliches Ergebnis ist festzuhalten, daß in den vergangenen Jahrzehnten die Geschiebereserven des Freilassinger Beckens stark zurückgegangen sind und die Salzach nun verstärkt auf die Geschiebereserven der Flußsohle im Tittmoninger Becken zurückgreift.

In Anlage 20.7 wurden drei der vier Zeiträume von Anlage 20.6 in kleineren Zeiträumen als mittlere jährliche Massensummenlinie auf der Basis eines Kalenderjahres dargestellt. Im Zeitraum 1940/95 wurde versucht als Bilanzierungszeiträume in etwa 10 Jahre zu wählen. Im Zeitraum 1922/40 existiert kein weiterer Profildatensatz, die kürzeren Zeiträume 1919/22 und 1995/98 wurden als Beginn bzw. Ende der jahrzehntelangen Entwicklung aufgenommen.

Zur Verdeutlichung von Zusammenhängen sind in Anlage 20.7 noch zwei strichlierte Linien aufgenom-

men, die Erosionsraten von 2000 und 4000 $m^3/km*a$ unterhalb der Saalachmündung zeigen. Im Zeitraum 1919/22 ist keine bestimmte Tendenz, aber eine hohe Sohldynamik erkennbar. Bis 1940 ist die Erosionsrate hoch (4000 $m^3/km*a$), nähert sich im Zeitraum 1953/60 der 2000 $m^3/km*a$ Linie an um sich in der abflußreichen Periode 1964/75 wieder der hohen Erosionsrate anzunähern. In den folgenden Zeiträumen ist ein Übergang von einer hohen zu einer mäßigen Erosionsrate festzustellen, die sich in Richtung Saalachmündung verläuft. Im Zeitraum 1995/98 pendelt die Erosionsrate schließlich um die Linie der mäßigen Erosionsrate (2000 $m^3/km*a$).

Im Bilanzzeitraum 1919/22 wechseln Bereiche mit ausgeprägter Anlandungs- und Erosionstendenz (hohe Sohldynamik). Im Bilanzzeitraum 1922/40 wird zwischen Laufen und Tittmoning abgelagertes Material wieder abtransportiert. Im Bereich der Nonnreiter Enge verbleibt die Sohle im Zeitraum 1922/53 i.M. im Beharrungszustand. Der Bilanzzeitraum 1940/53 kann als Phase der Vergleichmäßigung des Sohlabtrags beschrieben werden, es bilden sich große Abschnitte mit Beharrung oder Erosion. Zwischen 1919 und 1953 kann eine rückschreitende Erosion vom Inn her beobachtet werden, welche Ende 1922 bis Ende 1953 durch die geschiebefreie Alzkanaleinleitung verstärkt wird. Die Inbetriebnahme der Innstufe Simbach-Braunau Ende 1953 hat eine Trendumkehr und einen neuen Beharrungszustand bewirkt. Im Bilanzzeitraum 1953/64 überwiegt bis auf das Freilassinger Becken Anlandungstendenz. Das Hochwasser von 1959 setzte einen Geschiebestoß frei, der das Freilassinger Becken bis 1964 weitgehend passiert hat. Die darauf folgende nasse Dekade bis 1975 bewirkt eine außerordentlich starke Ausräumung des Sohlspeichers. Die bisher auf das Freilassinger Becken beschränkten hohen Massenverluste setzten sich bis ca. Fkm 35 fort. Ab der Nonnreiter Enge kam die Erosion zum Stillstand, inwieweit der Zeitraum 1995/98 den Beginn einer neuen Entwicklung (Ausräumung der Durchbruchsstrecke Nonnreit bis Alzkanalmündung) markiert oder nur eine kurzzeitige Erscheinung war, bleibt abzuwarten.

In 5.9 wurden die nicht unerheblichen Anlandungsvolumina von Feinteilen im Böschungsbereich bereits erwähnt und dargestellt, vgl. Abb. 80. In Anlage 20.9 wurden die Massensummenlinien von gleichen Bilanzierungszeiträumen mit unterschiedlichen Bezugssystemen dargestellt:

- Durchgezogene Linien: Sohlnahes Bezugssystem ohne Böschungsbereiche.
- Kreise und schwarze Linie mit Kreisen: Bezugssystem 1939/41.

Gegenüber dem Datenbestand auf DBWas wurden bei einigen Profilen weitere Korrekturen der Profillage vorgenommen, so daß sich die Massensummenlinien im Bezugssystem 1939/41 bei Anlage 20.9 geringfügig von anderen Darstellungen mit gleichem Bezugssystem unterscheidet:

- Fkm 48,2: Aufnahmen 1975, 1985, 1995 und 1998 6 m nach links, 1959 3 m nach rechts,
- Fkm 48,0: Aufnahme 1959 3 m nach rechts,
- Fkm 22,8: Aufnahmen 1995, 1998 5 m nach links,
- Fkm 17,2: Aufnahmen 1953, 1959 3 m nach rechts,
- Fkm 16,2: Aufnahmen 1953, 1959 3 m nach rechts,
- Fkm 8,0: Aufnahme 1920 4 m nach links,
- Fkm 7,4: Aufnahme 1975 1 m nach links und
- Fkm 7,2: Aufnahme 1953, 1959 4 m nach links.

Das „sohlnahe“ Bezugssystem orientiert sich an der Lage des Böschungsfußes im Zeitraum 1995/98. Demzufolge werden Teile der Sohle früherer Profile in den Randbereichen abgeschnitten bzw. gehen nicht in die Massenbilanzierung ein. In Anlage 22.1 und 22.2 sind einige Profile der Aufnahme 1920 in noch nicht

korrigierten Teilstrecken dargestellt, die breiter sind als die Profile späterer Aufnahmen. Besonders der Zeitraum 1920/53 ist davon betroffen, spätere Aufnahmen nur geringfügig. In Abb. 80 wurde daher auf die Darstellung der Massendifferenz im Zeitraum 1920/53 aus der Böschungsanlandung verzichtet.

Anlage 20.9 zeigt deutlich, daß sich die Massenbilanzierungsergebnisse bzw. Massensummenlinien beider Bezugssysteme im Ergebniss als Massensummenlinie erheblich unterscheiden. In Kombination mit Abb. 80 sind auch Zeiträume mit stärkerer (1975/85) und geringerer Anlandungstendenz im Böschungsbereich (1953/75 und seit 1985) erkennbar. Treten Böschungsanlandungen auf, so liegt die Massensummenlinie des gleichen Zeitraums beim Bezugssystem 1939/41 höher als beim „sohlnahen" Bezugssystem. Nur im Bilanzzeitraum 1920/53 ist es wegen der abgeschnittenen Sohlbereiche, die nicht in die Massenbilanzierung eingehen, umgekehrt (dieser Effekt überwiegt das Ausmaß von Böschungsanlandungen im gleichen Zeitraum).

Wie in Anlage 20.7 wurden zwei strichlierte Linien eingetragen, die Erosionsraten von 2000 und 4000 $m^3/km*a$ unterhalb der Saalachmündung zeigen. Das Ausscheiden der Randbereiche mit Böschungsanlandungen vergrößert zum einen die Erosionsraten, zum anderen verflachen die Massensummenlinien erst weiter unterstrom, z.B. Zeitraum 1976/85 (güne Linie bzw. Kreise): die grüne Linie mit der alten Lotrechtendefinition (Bezugssystem 1939/41) schneidet die Erosionsraten 4000 $m^3/km*a$ ca. bei Fkm 53, die Kreise mit der neuen Lotrechtendefinition („sohlnahes" Bezugssystem) erst bei ca. Fkm 46. Für den Zeitraum 1977/95 wurde der Einfluß von Böschungsanlandungen näher untersucht. Es resultiert eine stärkere Erosionstendenz, die von der Saalachmündung bis zur Nonnreiter Enge als relativ gleichmäßiger Keil in Erscheinung tritt.

In 5.10.2 wurden bereits Hinweise gegeben, inwieweit die Massenbilanzen der Salzach oberhalb der Saalachmündung die gleiche Aussagefähigkeit haben wie die Saalach und Salzach unterhalb der Saalachmündung, bei der regelmäßig alle 3 bis 6 Jahre Profilaufnahmen im 200 m Abstand erfolgen. Der „Qualitätsstandard" der letztgenannten Strecken gilt für folgende Randbedingungen:

- Gezeichnete Profile im Maßstab 1:50/500 mit planimetrierten Querschnittsflächen im Zeitraum 1939/41 bis 1977. Die wesentlichen Kenndaten für die „alten" Profile wurden im „Querschnittverarbeitungsbuch der Salzach km 3,20 – 59,30" zusammengefaßt [95].
- Profildaten auf DBWas seit 1981/82 mit automatisierten Auswertungen (Fläche, mS und Talweg).

Im Zuge der WRS wurden Profilaufnahmen mit kurzem Aufnahmezeitraum digitalisiert. Die Profildigitalisierung ist mit Ungenauigkeiten behaftet, so daß bei der Auswertung digitalisierter Profile Einbußen bei der Aussagegenauigkeit hingenommen werden müssen. Weitere Abstriche bei der Aussagegenauigkeit sind bei größeren Profilabständen unumgänglich, so lagen die Aufnahmen 1919 bis 1923 nur im 1000 m Abstand vor, die Aufnahme 1939/41 teilweise im 400 m Abstand.

Die Anlagen 24.48 bis 24.51 enthalten tabellarische Zusammenfassungen von abschnittsbezogenen Ergebnissen der Massenbilanzierung (Bezugssystem 1939/41). In Anlage 24.48f sind die bilanzierten Volumina der Abschnitte einzeln und aufsummiert aufgelistet. Die grau gerasterten Felder zeigen an, daß die bilanzierten Werte auf unterschiedlichen Auswertungen beruhen (DBDigi: Flächenwerte aus digitalisierten Profilen, Q-Buch: Flächenwerte aus planimetrierten Querschnitten bzw. aus [95]) und somit Abstriche bei der Aussagegenauigkeit gemacht werden müssen. Die grau hinterlegten Felder in Anlage 24.49 und 24.51 unterhalb und rechts der Überschrift „Kontrolle" enthalten Bilanzierungsergebnisse, von gleichen Jahren

mit unterschiedlichen Auswertungen sowie die Bilanzen 1953/59 auf der Basis DBDigi und Q-Buch. Die letzte Spalte enthält die Differenzen der beiden vorhergehenden Spalten.

5.10.3.5 Weitere Aussagen

Für die Aussagegenauigkeit ist es von Bedeutung, in welcher Größenordnung der Fehler liegt, wenn für die Massenbilanzierung bzw. Massensummenlinie unterschiedliche Auswertungen herangezogen werden. Abb. 98 zeigt die in Anlage 24.49 und 24.51 unter der Spalte „Kontrolle“ aufgelisteten Werte der einzelnen Abschnitte als Summenlinie. Mit dieser „Scheinbilanz“ werden die möglichen Fehler

- beim Planimetrieren,
- bei der Übertragung der planimetrierten Werte in die gezeichneten Querschnitte, das Querschnittsverarbeitungsbuch und bei der Erfassung auf EDV,
- beim Digitalisieren und
- bei der Profileinpassung

in ihrer Auswirkung anhand der Profilaufnahmen 1953, 1954 und 1959 summarisch aufgezeigt. Der unregelmäßige Verlauf der Massensummenlinien läßt keine systematischen Fehler erkennen.

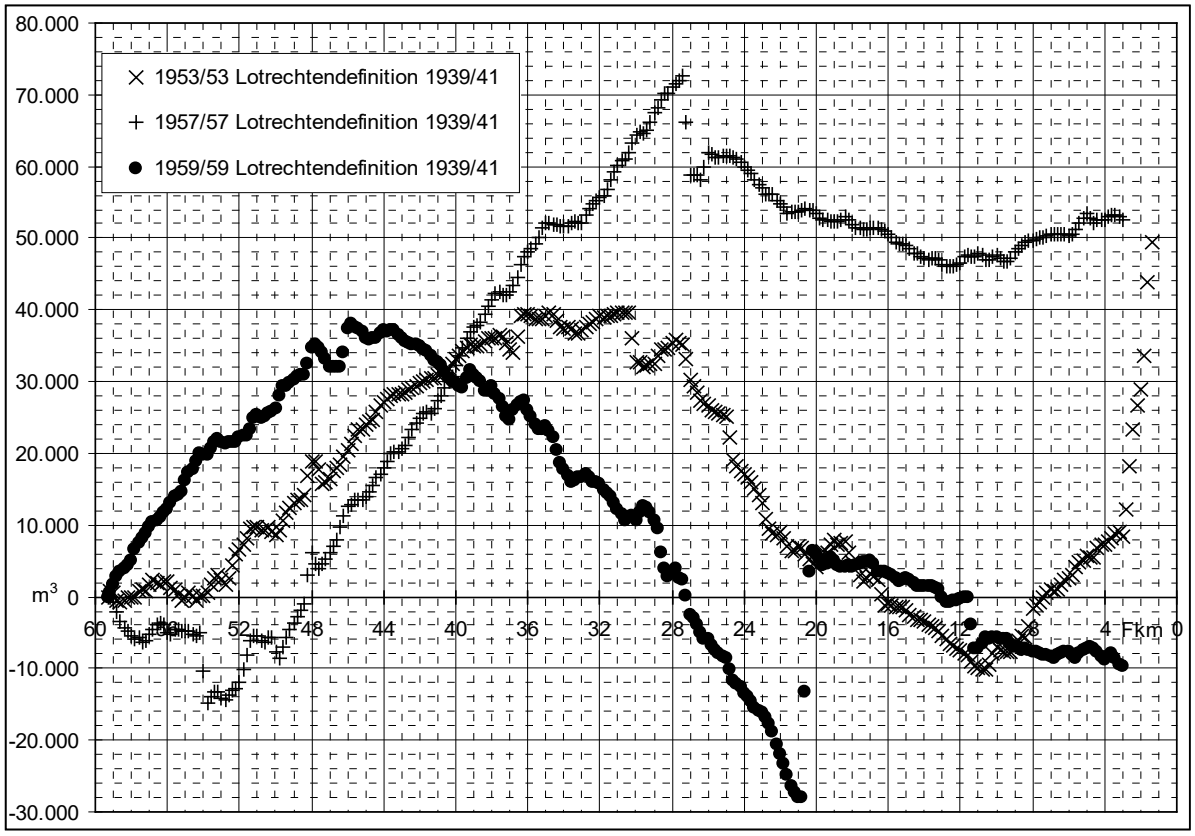


Abbildung 98: „Scheinbilanz“ gleicher Jahre mit unterschiedlichen Auswertungen

Eine steigende (positive) Summenlinie bedeutet, daß der Flächenwert im Querschnittsverarbeitungsbuch [95] größer ist als der Flächenwert der digitalisierten Profile (DBDigi). Eine größere Fläche im gleichen Bezugssystem bedeutet Eintiefung, so daß digitalisierten Profile 1953, 1957 und 1959 tendenziell eher etwas höher erfaßt wurden als die gezeichneten Originale.

Die absoluten Änderungen der mittleren Sohllage betragen in den „Scheinbilanzen“ 1953/53, 1957/57 und 1959/59 jeweils 3,78, 3,87 und 3,31 cm. Bezogen auf die Werte des Querschnittverarbeitungsbuches betrugen die absoluten Änderungen der mittleren Sohllage in den Bilanzzeiträumen 1953/54, 1954/57 und 1957/59 jeweils 20,51, 20,42 und 21,19 cm. Mittelt man beide Zahlenreihen so ergibt sich eine Größenordnung von 17,6 % (100 * 3,654 cm / 20,705) summarischer Fehler bei Verwendung unterschiedlicher Auswertungen. Diese Größenordnung erscheint zunächst nicht tolerabel, muß aber einerseits als Verkettung unterschiedlichster Fehlerquellen bewertet werden und andererseits im Verhältnis zur meßtechnischen Aufnahmegenauigkeit von Profilen gesehen werden, die je nach Punktdichte und Meßpunkt (auf oder zwischen Steinen der Geschiebesohle) auch im cm-Bereich anzusiedeln ist. Zudem legt Abb. 98 die Vermutung nahe, daß einige Ausreißer bisher noch nicht entdeckt wurden (Sprünge der „Scheinbilanzen“), so daß eine Reduzierung der mittleren Sohllage in den „Scheinbilanzen“ um ca. 1/4 möglich erscheint.

In 5.10.3.1 wurde bereits die nicht berücksichtigte Profilaufnahme 1991 angesprochen. Abb. 99 zeigt die auf DBWas verfügbaren, nicht digitalisierten Profile (Zeitraum 1981/98, Bezugssystem DBWas). Aus dem Bündel der Massensummenlinien stechen deutlich zwei Linien hervor, der Bilanzzeitraum 1985/91 (blaue Linie, rd. +406.000 m^3 bei Fkm 12) und der Bilanzzeitraum 1991/92 (grüne Linie, rd. -667.000 m^3 bei Fkm 12). Dagegen fügt sich die Massensummenlinie des Bilanzzeitraumes 1985/92 (braune Linie, rd. -261.000 m^3 bei Fkm 12), welche die Profilaufnahme 1991 nicht berücksichtigt, gut in den Verlauf der anderen Massensummenlinien ein.

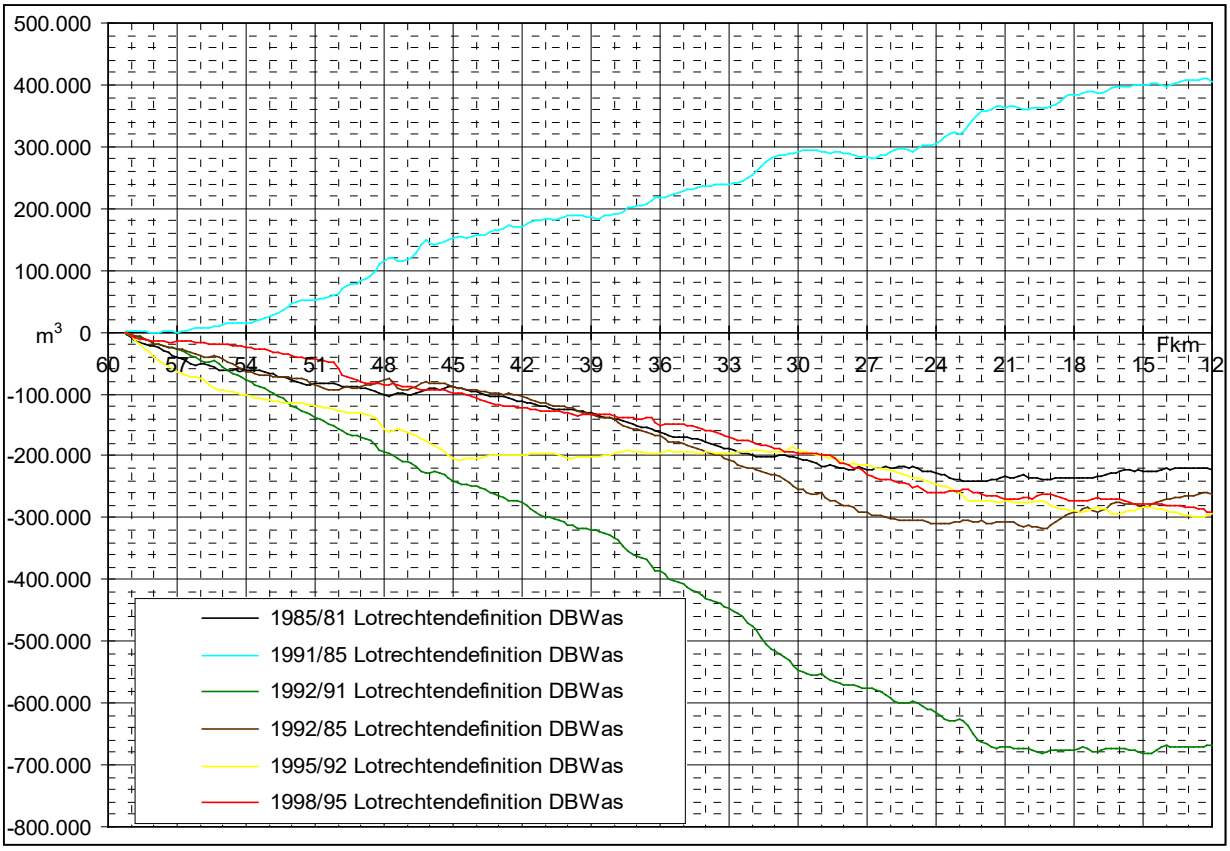


Abbildung 99: Massensummenlinien der Salzach im Zeitraum 1981/98, Bezugssystem DBWas

Die Abbildungen 100 und 101 zeigen summarisch die Eintiefung der mittleren Sohle in den Zeitabschritten von Anlage 20.9 (1920/53, 1953/75, 1975/85, 1985/95 und 1995/98) für unterschiedliche Bezugssysteme:

- Abb. 100: Alte Lotrechtendefinition = Bezugssystem 1939/41 und
- Abb. 101: Neue Lotrechtendefinition = sohlnahes Bezugssystem.

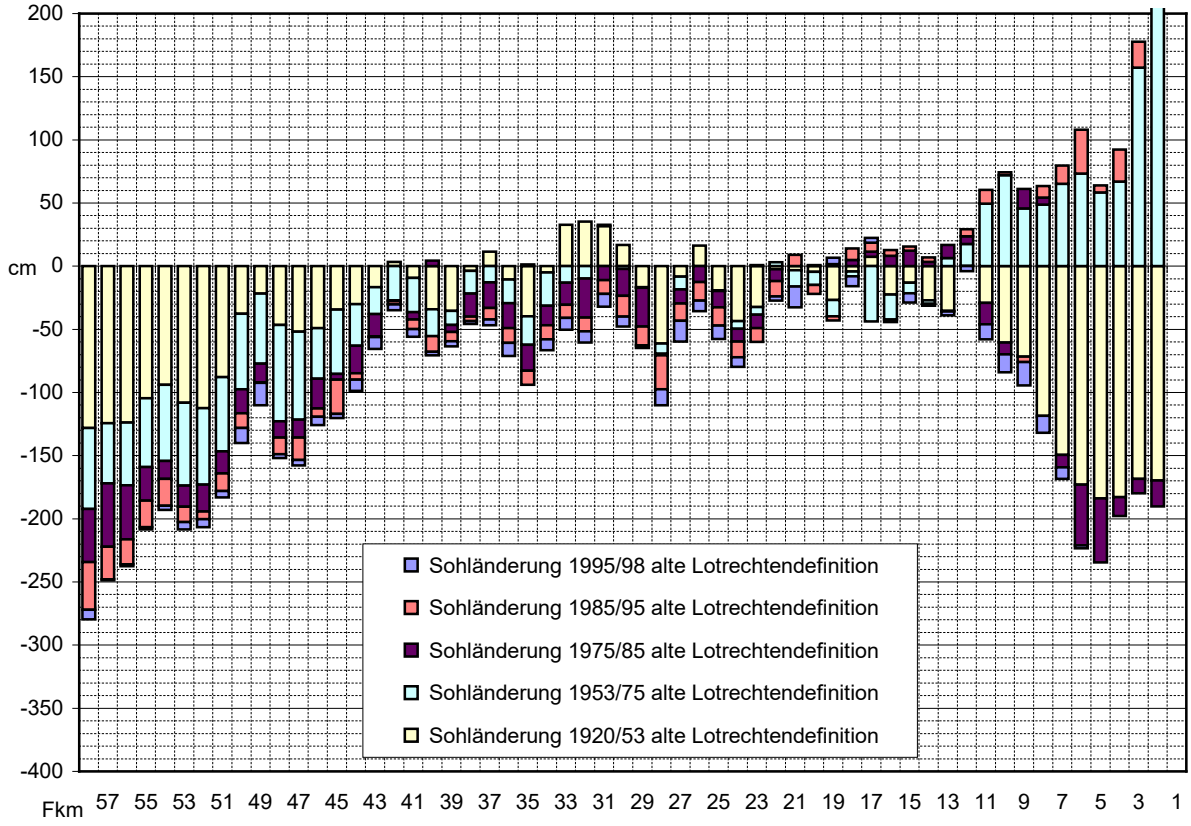


Abbildung 100: Eintiefung der mittleren Sohle im Zeitraum 1920/98, Bezugssystem 1939/41

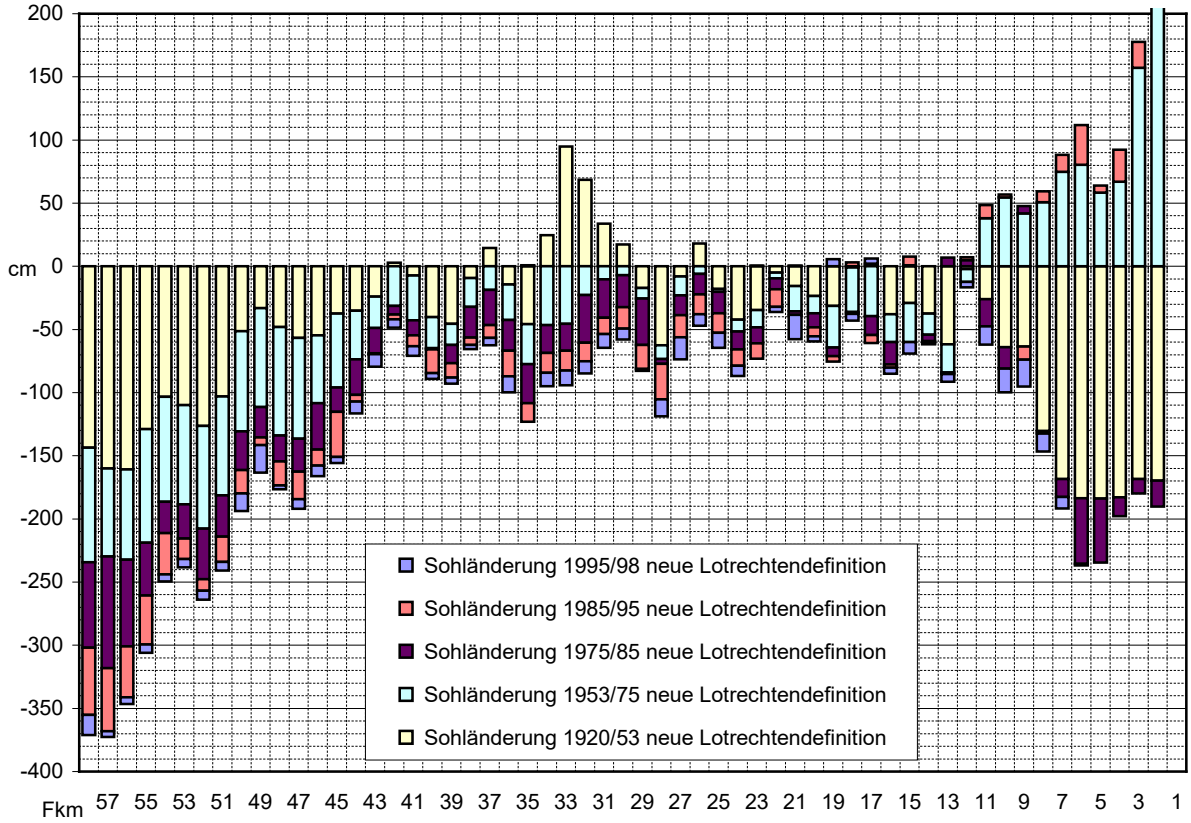


Abbildung 101: Eintiefung der mittleren Sohle im Zeitraum 1920/98, sohlnahes Bezugssystem

Das Erscheinungsbild der Gesamteintiefung ist in beiden Abbildungen ähnlich, die unterschiedliche Lotrechtendefinition in den Bezugssystemen hat aber Einfluß auf die Beurteilung der Eintiefung in den einzelnen Zeitabschnitten bzw. den Einfluß der Böschungsanlandungen, vgl. Ausführungen zu Anlage 20.9 in 5.10.3.4. Besonders deutlich wird dies im Bilanzierungszeitraum 1920/53: Das sohlnahe Bezugssystem hat engere Lotrechtenabstände wie das Bezugssystem 1939/41. Demzufolge sind die Flächenunterschiede beim sohlnahen Bezugssystem geringer als im Bezugssystem 1939/41. Der größere Breitenunterschied beider Bezugssysteme überwiegt aber den geringeren Flächenunterschied, so daß die Gesamteintiefungen der neuen Lotrechtendefinition (sohlnahes Bezugssystem) größer ausfallen als bei der alten Lotrechtendefinition (Bezugssystem 1939/41).Die Umkehrpunkte der Massensummenlinie lassen in der vergleichenden, längerfristigen Betrachtung Rückschlüsse auf das Wandern eines Erosionskeiles entlang einer Flußstrecke zu. Im LfW-Informationsbericht vom Februar 1980 [6] wird für den Fußpunkt dieses Erosionskeils der Begriff Erosionsbasis verwendet, der wegen seines temporären Charakters (im Längsschnitt veränderliche Lage) in dieser Untersuchung als „temporäre Erosionsbasis“ (zur Begriffsdefinition s. 5.13.2) bezeichnet wird. Flußbauliche Fixpunkte „sind Stellen der Flußsohle, deren Höhenlage sich im Laufe der Zeit nicht verändert“ [120], tatsächlich können aber Einflüsse aus der Geologie und des übergeordneten Geschiebehaushalts solchen Fixpunkten einen temporären Charakter zukommen lassen. Ein flußbaulicher Fixpunkt kann eine sohlmorphologisch wirksame Barriere natürlicher Art sein (Engstelle, Felsschwelle), anthropogen geschaffen sein (Rampe, Schwelle, Baggerstelle etc.) oder ein Mündungsbereich sein (Mündung eines Nebenflusses, Einmündung in einen See oder in das Meer).

In [6] wird nun die zeitliche Entwicklung der Erosionsbasis beschrieben: „Wegen des stark pendelnden Verlaufes des Talweges ist die Lage der Erosionsbasis (Beginn des Eintiefungskeils) nicht eindeutig erkennbar. Unter Zuhilfenahme der Massensummenlinie (Darstellung der Massenbewegung zwischen zwei Querschnittaufnahmen ...) erhält man die Lage der Erosionsbasis als jeweiligen Tiefpunkt. Diese liegt 1950 und 1954 noch bei km 51 und wandert bis 1969 zunächst langsam flußabwärts bis km 42 und erreicht 1973 bzw. 1975 km 28 ... Nach der Aufnahme 1977 liegt die Erosionsbasis derzeit bei km 15. ... Im Endzustand wird die Erosionsbasis die Stauwurzel Simbach-Braunau bei km 8,5 erreichen.“

Die prägnante Formulierung in [6] erweckt den Eindruck, einer kontinuierlich von der Saalachmündung zum Inn wandernden „Erosionsbasis“. Tatsächlich können mehrere Umkehrpunkte oder Terrassenpunkte in einer Massensummenlinie vorhanden sein. Je nach Ursache ist aber auch eine gegenläufige Entwicklungsrichtung (nach stromauf) möglich:

- Ob es sich um „temporäre“ (i.S. von im Rahmen der morphologischen Variabilität entstehende) Umkehrpunkte/Terrassenpunkte oder um eine längerfristige Entwicklung handelt, kann erst unter Einbezug einer längeren Reihe von Massensummenlinien entschieden werden.
- Bettverändernde Hochwässer können temporär oder dauernd die Lage bzw. die Entwicklungsrichtung einer „Erosionsbasis“ verändern, ebenso andere morphologische Inputgrößen, wie Geschiebeeintrag in die bilanzierte Strecke und dessen Kornzusammensetzung.
- Umkehrpunkte von Massensummenlinien können auch entgegen der Fließrichtung wandern (mögliche Ursachen: Änderungen im Geschiebehaushalt, Abflußregime und der Profilgeometrie).

Aus einer Beilage in [50] bzw. Anlage 15 läßt sich für den Bilanzzeitraum 1906/20 als „Erosionsbasis“ der Bereich Fkm 40 bis 30 eingrenzen. Die abflußreichen Jahre 1906, 1910 und 1912 (s. 5.2, Abb. 28) bewirkten ein Wandern der „Erosionsbasis“ nach stromab. Wegen der großen 1000 m Profilabstände sind solche Deutungsversuche aber sehr unsicher.

In Anlage 20.4 kann in den Jahren 1922 bis 1953 eine von der Salzachmündung stromauf in den Bereich Burghausen wandernde Erosion beobachtet werden, die in [6] nicht beschrieben wurde. Die Sohlerosion hat im Zeitraum 1922/40 einen markanten Knick im Bereich der Alzkanalmündung, die „Erosionsbasis“ liegt etwa bei Fkm 18. Im Zeitraum 1940/49 wandert der Knick stromauf bis auf Höhe Kreuzfelsen in den Bereich Burghausen, die Erosionsbasis bleibt in etwa gleich. 1949/53 erreicht der markante Knick den Pegel Burghausen. Dieser Knick fällt nun mit der „Erosionsbasis“ zusammen. Seit dem Einstau durch die Inn-Stufe Simbach-Braunau awar anfangs eine Trendumkehr zur Anlandung festzustellen, die inzwischen in eine Art Beharrungszustand (je nach Bilanzzeitraum steigende oder fallende Massensummenlinien) übergegangen ist.

Infolge des nachlassenden Geschiebeeintrags in die Salzach unterhalb der Saalachmündung kann eine interessante Entwicklung von Umkehrpunkten und Terrassenpunkten in den Massensummenlinien von Anlage 20.4 beobachtet werden. Im Bilanzzeitraum 1922/40 kann eine zweifache Erosionsbasis beobachtet werden, die sich salzachabwärts bewegt. Die erste „Erosionsbasis“ liegt ca. bei Fkm 51 und kann der seinerzeit noch stärker vorhandenen rückstauenden Wirkung der Laufener Enge zugeschrieben werden, die zweite Erosionsbasis liegt im oberen Tittmoninger Becken ca. bei Fkm 40. Von Fkm 32 bis 26 steigt die Massensummenlinie deutlich an. Diese dritte, nur wenig ausgeprägte Erosionsbasis (Knick in der Massensummenlinie) kann auf die Nonnreiter Enge zurückgeführt werden.

In den darauffolgenden Massensummenlinien mit kürzeren Bilanzzeiträumen sind die als Erosionsbasen wirkenden Durchbruchsstrecken von Laufen und Nonnreit erkennbar. Das Hochwasser 1959 hat die Laufener Erosionsbasis vermutlich durchschnitten, alle späteren Bilanzen weisen jedenfalls keinen im Bereich der Laufener Enge gelegenen Knick oder Terrassenpunkt mehr auf.

Die in [6] beschriebene „Erosionsbasis“ tritt bis Mitte der 60er Jahre in den Massensummenlinien nur undeutlich in Erscheinung und pendelt zwischen Fkm 45 bis 40, seit Beginn der 70er Jahre wandert sie von Bilanzzeitraum zu Bilanzzeitraum stromab und überwindet letztlich die Nonnreiter Enge (1959/64 Fkm 45, 1964/69 ca. Fkm 40, 1969/73 ca. Fkm 28, 1981/85 ca. Fkm 23, 1992/95 ca. Fkm 16). Erstmals tritt in der Massensummenlinie 1995/98 bei Fkm 12 wieder ein markanter Knick auf, der sich vor Inbetriebnahme der Innstufe Simbach Braunau im Bereich Alzkanalmündung bis Burghausen bewegte.

Im Lauf der Jahrzehnte hat sich die in [6] beschriebene übergeordnete Entwicklung ergeben: Die temporär wirkenden Erosionsbasen von Laufen und Nonnreit wurden durchschnitten bzw. wirken nur noch bei hohem Geschiebeeintrag rückhaltend (hydraulischer Rückstau). Zeitlich gesehen ist nach [6] die Endlage der Erosionsbasis i.S. eines flußbaulichen Fixpunktes nun in greifbare Nähe gerückt: "Im Endzustand wird die Erosionsbasis die Stauwurzel Simbach/Braunau ... erreichen."

5.11 Grenzwertbetrachtungen, Transportkapazität, Vorprüfungsverfahren

5.11.1 Allgemeines

Zur Abschätzung der Stabilität von Flußsohlen mit weit abgestuften Sieblinien existieren zahlreiche Berechnungsansätze, die überwiegend auf Labordaten basieren. DITTRICH [96] hat eine Auswahl dieser Ansätze sorgfältig recherchiert und zusammengestellt (vgl. Anlage 24.52, eine Kurzfassung bietet [97])

und eine Einteilung in vier Gruppen vorgenommen:

- Flußsohlen, die aus lockerem Material bestehen und keine Deckschichten bilden,
- Flußsohlen, bei denen sich das Material in einem Zwischenzustand der Deckschichtbildung befindet,
- Flußsohlen, mit Deckschichten maximaler Bettstabilität und
- Flußsohlen mit einer mobilen Deckschicht.

In den flußmorphologischen Untersuchungen des LfW wurde in den letzten Jahrzehnten die Geschiebeformel von MEYER-PETER und MÜLLER (MP/M) verwendet und für verschiedene Parameter wie maßgebender Korndurchmesser, Gefälle und Abflußdauerlinie Grenzwertbetrachtungen angestellt.

Die WRS hat zur Abschätzung des Geschiebetriebbeginns und der Grenzbelastung einer Deckschicht einen Ansatz gewählt [98], den JÄGGI in der VAW-Mitteilung 119 „Sedimenthaushalt und Stabilität von Flußbauten“ [99] vorskizziert hatte. Für den Bewegungsbeginn ohne Deckschicht wird die kritische Korn-Froudezahl Fr^*_c (oder SHIELDS-Faktor θ) mit 0,047 angenommen und für die Grenzbelastung der Deckschicht gemäß dem Ansatz von GÜNTER mit $(d_{mD}/d_m)^{2/3}$ multipliziert.

Die vom IWB Anfang 1996 erarbeitete Konzeption zur Abschätzung von Fließtiefen, Bewegungsbeginn, Grenzbelastung einer Deckschicht sowie minimaler und maximaler Geschiebetransportkapazität (GTK) [98] deckten sich mit Überlegeungen des LfW, die fast zeitgleich ausgearbeitet wurden. In einer „Zusammenstellung zur Geschiebeberechnung“ [100] wurde ein umfangreicher Vergleich von Geschiebetransportformeln erarbeitet und die Vorgangsweise bei Parameterwahl, Berechnungsannahmen und Eichung erläutert. Dieser Formelvergleich ging über die IWB-Konzeption hinaus, nach der minimale und maximale GTK nur nach einer Formel (VAW-Formel in der Fassung von JÄGGI [99]) berechnet werden sollte. In einer weiteren Tischvorlage des LfW vom Februar 1996 [101] wurde die Konzeption des IWB aufgegriffen und in Bemessungsdiagramme umgesetzt, die große Bedeutung für den Planungsprozess haben (Entwurfserstellung und Vorprüfung der Planungsvarianten).

5.11.2 Bewegungsbeginn

Zum Bewegungsbeginn liegen folgende Untersuchungsergebnisse vor:

BÖSS gab 1952 den Beginn der Geschiebeführung der Salzach mit 256 m^3/s an. Er verwendete die Geschiebeformel von SCHOKLITSCH (1943): $G = 2500 * (Q-Q_B) * I^{3/2}$ mit den Berechnungsannahmen d_{40} = 13 mm, mittleres Gefälle 1 ‰ und eine Geschiebeführung von 150 d/a (Jahresreihe 1901-40 Pegel Burghausen) [102].

MAYRHOFER gab 1962 den Beginn der Geschiebeführung der Salzach mit 40 m^3/s an. Er verwendete die Geschiebeformel MP/M mit den Berechnungsannahmen d_m = 22,5 mm, mittleres Gefälle rd. 1 ‰, k_s/k_r = 32/43 = 0,744 und ρ_S = 2720 kg/m^3. Seine Berechnungen erfolgten mit symmetrischen Musterprofilen, deren Sohlenlage aus einem Dreieck und drei Trapezprofilen besteht. Das schmale Dreieck in der Mitte (Breite 2,4 m) erreichte bereits bei kleinen Abflüssen transportwirksame Wassertiefen. Die Höhenlage der ausgeglichenen Sohle (2,95 m über dem Tiefstpunkt des Musterprofils) mit einem Abfluß von rd. 45 m^3/s fällt in etwa mit dem Beginn der Geschiebebewegung zusammen. Aus Profilen mit alternierenden Bänken in den Musterstrecken Fkm 39,810 bis 38,678 „kann man die gleichmäßige Flußbreite und auch die vollkommene Regelmäßigkeit in der Ausbildung der Sohlenform erkennen“ [30]. Nach MAYRHOFER be-

ginnt der Geschiebetransport in der knapp 3 m tiefen schmalen Rinne des maßgebenden Profils bei rd. 40 m^3/s. Da 40 m^3/s Salzachabfluß so gut wie nie unterschritten werden (NQ Pegel Laufen/Burghausen = 39,4/41,5 m^3/s) wäre demnach ganzjährig in Abschnitten mit alternierenden Bänken Geschiebetransport anzunehmen.

KERSCHBAUMER gab 1968 die Grenzwassermenge zu Niedrigwasserzeiten, bei deren Überschreitung Geschiebetrieb einsetzt, mit 150 m^3/s an [34] s.a. Abb. 61 in 5.6.6. Dieser Wert wurde aus Geschiebetriebmessungen im Bereich der Salzburger Landesgrenze zu Oberösterreich (Fkm 37,542) ermittelt.

Anläßlich von Geschiebetriebmessungen an der Seilkrananlage des Pegels Laufen bei Fkm 47,07 in den Jahren 1992/93 konnte bei den durchgeführten Messungen ein Bewegungsbeginn in der Größenordnung von 210 bis 240 m^3/s festgestellt werden. Die ermittelten charakteristischen Korndurchmesser lagen zwischen Deckschicht und Kiesbankinneren des Abschnitts 2, s. Tab. 20 in 5.6.6.

Von der WRS wurde der Beginn der Geschiebeführung bei Tagesmittelwerten mit $Q > 300$ m^3/s am Pegel Laufen in Ansatz gebracht [29]. Diese Einschätzung geht u.a. auf gleichlautende Aussagen der LfG in den 30er Jahren zurück bzw. basiert auf dem Erfahrungswert für den Beginn der Geschiebebewegung bei Flüssen im südbayerischen Raum bei 1-1,5 * MQ.

Die Geschiebeführung der Salzach kann auch bei Plättenfahrten bereits ab halbem MQ als ein leises, aber deutliches Klicken bzw. feines Rasseln wahrgenommen werden. Häufigkeit und Intensität der akustischen Phänomene sind von der Wasserführung abhängig.

In der Literatur werden eine Reihe von theoretischen Ansätzen genannt, die häufig als Bezugsgrößen für den Bewegungsbeginn herangezogen werden:

- SHIELDS-Faktor 0,01 als Grenze für den partiellen Geschiebetrieb exponierter Einzelkörner.
- SHIELDS-Faktor 0,03 als Grenze für die absolute Ruhe der Sohle, s. z.B. [103], Seite 38: „MEYER-PETER und MÜLLER stellten fest, daß die Geschiebebewegung an sich etwas früher einsetzt, als durch den extrapolierten Wert gegeben (0,03 statt 0,047).“
- SHIELDS-Faktor 0,04 nach ZANKE [83], Gleichung 4.2.2.2.1-8a für die hydraulisch rauhe Sohle,
- SHIELDS-Faktor 0,047 als Mittelwert für beginnenden und ausgeprägten Geschiebetrieb (vgl. z.B. Geschiebetransportformel MP/M)
- SHIELDS-Faktor 0,055 bzw. 0,06 je nach Interpolation der SHIELDS-Kurve für den Bewegungsbeginn bei voll ausgebildeter Turbulenz.
- Bei den Geschiebetriebformeln mit Differenzterm (von ZANKE als Formeln mit „harter Schwelle“ bezeichnet) kann der Bewegungsbeginn auch direkt aus dem Differenzterm berechnet werden.
- Nach ZANKE [104], [105] wird der Beginn der Sedimentbewegung von der Zufallsverteilung der Turbulenz und der momentanen Lagestabilität der Körner an der Oberfläche bestimmt. ZANKE hat hierfür das Risiko R für ein Korn bewegt zu werden definiert. Der Verlauf der SHIELDS-Kurve stellt nach seinen Untersuchungen einen Referenzwert dar, für den das Bewegungsrisiko etwa 10 % beträgt.

Für die Interpolation der SHIELDS-Kurve sind zwei Methoden gebräuchlich:

- Die abschnittsweise Interpolation nach van RIJN und UNSÖLD (1984), zu finden z.B. in [114] und
- die geschlossene Berechnung nach SCHRÖDER (1985), zu finden z.B. in [108].

Zu beachten ist, daß sich beide Kurven ab Re*>200 (entspricht ca. d > 7 mm) unterscheiden: Während die abschnittsweise interpolierte Kurve nicht den von SHIELDS angegebenen Grenzwert von 0,06 erreicht, sondern nur den Wert 0,055, erreicht die geschlossene Berechnung nach SCHRÖDER den Wert 0,060. Auch im Grenzfall θ_C = 0,055 bzw. 0,06 ist der Shieldsparameter nicht konstant sondern gewissen Schwankungen unterworfen. Stellt man sich z.B. den SHIELDS-Faktor als Mittelwert von Roll-, Gleit- und Haftreibung vor, so können bei steigenden und fallenden Wasserständen unterschiedliche θ_C auftreten: wird sedimentiertes Geschiebe in Bewegung gebracht, muß die Haftreibung überwunden werden, solange Geschiebe in Bewegung ist, muß weniger Energie aufgewendet werden, um die Roll- und Gleitreibung zu überwinden. D.h. bei ansteigender Welle ist θ_C größer, bei abfallender Welle kleiner.

Löst man die Korn-Froudezahl Fr* (bzw. SHIELDS-Faktor θ) = $h * I / (\rho' * d_m)$ z.B nach den SHIELDS-Faktoren 0,03; 0,047 und 0,06 auf, so erhält man Anhaltswerte für den Bewegungsbeginn in der Salzach. I.M. liegen die Abflüsse für den SHIELDS-Faktor θ = 0,030 in der Größenordnung 140 m³/s, für θ = 0,047 bei rd. 300 m³/s und für θ = 0,060 bei rd. 450 m³/s. Tab. 24 enthält eine Zusammenstellung o.g. SHIELDS-Faktor für die Salzachabschnitte unterhalb der Saalachmündung. Zur Berechnung wurden die gleichen Berechnungsannahmen verwendet wie in 5.11.3.2.

Bewegungsbeginn der Salzachabschnitte für die SHIELDS-Faktoren 0,03, 0,047 und 0,06								Tabelle 24
	1a	1b	2	3a	3b	3c	4a	4b+5a
θ = 0,030	143 m³/s	157 m³/s	137 m³/s	140 m³/s	96 m³/s	113 m³/s	186 m³/s	145 m³/s
θ = 0,047	304 m³/s	332 m³/s	290 m³/s	298 m³/s	203 m³/s	239 m³/s	394 m³/s	308 m³/s
θ = 0,060	458 m³/s	500 m³/s	437 m³/s	449 m³/s	306 m³/s	359 m³/s	594 m³/s	464 m³/s

5.11.3 Berechnungsannahmen und Eichung der Geschiebetransportformeln

5.11.3.1 Allgemeines

Die Konzeption des IWB vom 04.02.1996 [98] sah die Verwendung der VAW-Formel in der Fassung von JÄGGI [99], Gleichung (2) vor. Die hydraulischen Parameter werden mit Trapezprofilen variabler Sohlbreite und Sohlgefälle ermittelt. Die Auenüberflutung wird vernachlässigt bzw. durch Schätzung des Abflußanteils im Fluß berücksichtigt. Die Deckschichtbildung wird mit dem rechnerisch einfachen Ansatz von GÜNTER berücksichtigt. Der Effizienzfaktor β repräsentiert nach JÄGGI [99] den Einfluß der Gerinnegeometrie bzw. Transporteffizienz und kann in der Fassung von Gleichung (3) auch als Berücksichtigung des Wandeinflusses verstanden werden. Die Berechnung der Geschiebefracht geschieht nach Gleichung (10) zwischen den Inte-grationsgrenzen Maximalabfluß und Bewegungsbeginn mit/ohne Berücksichtigung der Deckschichtbildung. In den Tischvorlagen des LfW [100], [101] (Stand Februar 1996) wurde die Konzeption des IWB umgesetzt und z.T. erweitert. Im Verlauf der Bearbeitung wurden neuere Ansätze aufgegriffen, wie z.B. die Modifikation der MP/M-Formel durch HUNZIKER [74].

5.11.3.2 Hydraulische Parameter und Profilgeometrie

Für eine vereinfachende hydraulische Berechung der mittleren Fließtiefe wurde ein Trapezprofil mit stationär gleichförmig Strömung ($I_{Sohle} = I_{Wasserspiegel} = I_{Energielinie}$) gewählt. Der Abfluß wurde mit der Fließformel von MANNING und STRICKLER berechnet: v_Q = Fließgeschwindigkeit aus Kontinuitätsbedingung = Q / F = v_R = Fließgeschwindigkeit aus Reibung = $k_{St} * R^{2/3} * I^{1/2}$. Diese vereinfachende hydraulische Berech-

nung wurde für alle Abschnitte unterhalb der Saalachmündung, s. Tab. 4 in 3.7, separat durchgeführt. Für jeden Abschnitt wurden Mittelwerte bei Gefälle und Sohlbreite gebildet. Die Böschungsneigung wurde nach einer Sichtung der Querprofildaten in allen Abschnitten mit m = 2 gewählt. Anlage 24.53 enthält eine Zusammenstellung der verwendeten Werte.

Zwischen k_{St} und der äquivalenten Sandrauheit k_S besteht für natürliche Flußsohlen der Zusammenhang $21{,}1/d_{90}^{1/6}$. Auf die Präferenzen anderer Autoren bezüglich d_{50}, d_m und d_{84} für k_{St} wird hier nicht eingegangen. 1D-Nachrechnungen von NW-Wasserspiegelfestlegungen ergaben k_S-Werte, die dem 3 bis 5fachen von $d_{90,I}$ bzw. 2,5 bis 4fachen von $d_{90,D}$ entsprachen. Damit liegen die Ergebnisse bereits im oberen Bereich der in der Literatur angegebenen Streuung (2,5 bis 3,5 * d_{90}). Im Hochwasserfall streuten die k_{St}-Werte je nach Berechnungsmodell und Fragestellung zwischen 27 und 35. Aufbauend auf diesen Berechnungsergebnissen wurde eine abflußabhängige Staffelung der k_{St}-Werte vorgenommen, die in Anlage 24.55 dargestellt ist.

Die vereinfachende hydraulische Berechnung erfolgte mit einem kompakten Trapezprofil, die Vorlandüberflutung in den Beckenabschnitten wurde dabei vernachlässigt. Insbesondere in den Abschnitten 3b und 3c sind die Fließtiefen bei mittleren und größeren Hochwässern tendenziell zu groß.

5.11.3.3 Profilgeometrie für den Geschiebetransport

Die Untersuchungsergebnisse zum Bewegungsbeginn zeigen bereits, daß die Wahl der Profilgeometrie entscheidenden Einfluß auf die Berechnungsergebnisse hat. Aus diesem Grund ist es wichtig, sich ein vereinfachendes Berechnungskonzept zurechtzulegen, dessen Bestandteile im ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen und Eichmöglichkeiten, soweit vorhanden, genutzt werden.

Für die Bestimmung der GTK in Flüssen mit Bänken wurde in den 30er Jahren die Methode des maßgebenden Profils für eine Musterstrecke und die Anwendung der Streifenmethode in Kombination mit der Geschiebetransportformel MP/M entwickelt. Ausführlich beschrieben ist dieses Verfahren in der Publikation „Altes und Neues über den Flußbau“ von MEYER-PETER und LICHTENHAHN [150] aus dem Jahre 1963. Das Verfahren erfreut sich bis heute hoher Akzeptanz und weiter Verbreitung.

In [78], Seite 112ff sind aufschlußreiche Beispiele der Alpenrheinregulierung aufgezeigt. Zugleich wird hier der Hinweis gegeben, daß auch mit einer ebenen Sohle plausible Ergebnisse erzielt werden können, ferner, daß stark unterschiedliche Berechnungsergebnisse bei der Geschiebefracht in erster Linie mit dem unterschiedlichen Transportbeginn zusammenhängen: „Die Frage, ob bei ausgeprägten alternierenden Bänken mit dem maßgebenden Profil und der Streifenmethode oder mit der Berechnungsart der ebenen Sohle der Transportbeginn zutreffender bestimmt wird, kann noch nicht definitiv beantwortet werden. Beobachtungen über den Geschiebetransport im Alpenrhein lassen vermuten, daß mit dem maßgebenden Profil und der Streifenmethode ein Geschiebetransportbeginn bei zu kleinen Abflüssen vorausgesagt wird ... Die Vereinfachungen, welche mit der Berechnungsart mit der ebenen Sohle gemacht wurden, führen bei Sohlenformen ebenfalls zu Fehlern bei der Bestimmung von Geschiebefrachten. Die Resultate dürften aber eher der Wirklichkeit entsprechen als diejenigen, welche mit dem maßgebenden Profil und der Streifenmethode ermittelt werden.“

In [71], Seiten 45ff, 115ff und 175ff wird ebenfalls ein kritischer Vergleich beider Berechnungsarten gebo-

ten. Nach ZARN traten die systematischen Abweichungen besonders bei Ganglinienversuchen deutlich in Erscheinung: „Mit dem maßgebenden Profil und der Streifenmethode wird der Transportbeginn für zu kleine Abflüsse prognostiziert und mit der Methode der ebenen Sohle für zu große Abflüsse." Aber auch [71], Abb. 62 zeigt deutlich die gegensätzlichen Ergebnisse beider Berechnungsmethoden, für die die Geschiebetransportformel MP/M in der Variation von HUNZIKER verwendet wurde. ZARN zieht daraus den Schluß: „Mit der Methode der ebenen Sohle werden also bei Flüssen mit Bänken die Transportraten unterschätzt respektive die Gleichgewichtsgefälle überschätzt."

Für die vereinfachende Berechnung der GTK wurde die einfacher zu handhabende Methode der ebenen Sohle gewählt mit den gleichen geometrischen Berechnungsannahmen wie bei der vereinfachenden hydraulischen Berechnung. Der tendenziellen Unterschätzung von der GTK bzw. Überschätzung von Gleichgewichtsgefällen wurde durch eine Reihe von gegenläufigen Annahmen begegnet:

- Insbesondere im Tittmoninger Becken wird die mittlere Fließtiefe infolge Ausuferung in Vorlandbereiche geringer als bei einem kompakten Trapezprofil ohne Berücksichtigung der Vorländer. Die Reduktion der mittleren Fließtiefe infolge Ausuferung wurde vernachlässigt, bzw. je nach Aufgabenstellung durch Kappung der Abflußdauerlinie bei Extremereignissen angenähert.
- In die Abflußdauerlinie wurden seltenere Abflüsse als 1 d/a einbezogen. Die Kappung von Extremereignissen wurde je nach Aufgabenstellung differenziert behandelt.
- Bei der Eichung von Geschiebetransportformeln (5.11.3.8) wurde versucht den Bewegungsbeginn in eine „realistische" Salzach-Größenordnung von 250 bis 300 m^3/s zu legen.

5.11.3.4 Wandeinfluß

Für die Berücksichtigung des Wandeinflusses existieren eine Reihe von Näherungslösungen, s. z.B. [114], Seite 17 ff. Gewählt wurde der Ansatz Q_S / Q = auf die bewegte Sohle wirkender Abfluß / Gesamtabfluß nach MEYER-PETER und MÜLLER. Für die vereinfachende hydraulische Berechnung erfolgte keine k_{St}-Differenzierung nach Sohle und Böschung, sondern k_{St} wurde als Gesamtrauheit angenommen. Damit konnte eine etwas aufwendigere Berechnung eines kompakten Gerinnes mit unterschiedlichen Rauheiten vermieden werden, der Wandeinfluß konnte direkt als Verhältniswert von Flächen (im Trapez einbeschriebenes Rechteck / Trapez) bzw. als Umfang-Verhältniswert berechnet werden. Für den Wandeinflußfaktor = Effizienzfaktor β gilt: B_S / U mit $U = (B_S + m * h)$. Mit zunehmender Wassertiefe nimmt β ab, d.h. der Wandeinfluß (Abminderung des Gesamtabflusses) nimmt zu. Bei den untersuchten Salzachabschnitten liegt β im Bereich MW bei rd. 0,97 und nimmt bis HQ_{100} auf rd. 0,86 ab.

Nach Jäggi kann der Effizienzfaktor bei verzweigten Flüssen im Bereich 0,1 bis 0,2 liegen. Für die Vorbemessung der WRS-Varianten waren Faktoren von 0,7 bei alternierenden Bänken mit Verbreiterung der Sohle und 0,5 bei kontrolliertem Uferrückbau mit gewundenem Lauf angedacht worden [98]. ZARN [71] bemerkt zum Effizienzfaktor: „Der β-Wert eines verzweigten Flusses dürfte ... über dem von Jäggi geschätzten Bereich von 0,1 bis 0,2 liegen. Bei der Anwendung der Effizienzmethode ist auch noch zu berücksichtigen, daß erst bei einem sehr großen Verhältnis von Flußbettbreite zu Abflußtiefe das Flußbett zu migrieren beginnt. Und erst dann dürfte der Geschiebetransport und damit der β-Wert unabhängig von der Flußbettbreite sein."

Der Wandeinfluß wird nicht bei allen Schreibweisen von Geschiebeformeln explizit berücksichtigt. Es muß deshalb sehr sorgfältig bei der zitierten Literatur recherchiert werden, welche Berechnungsgrößen und

-annahmen der jeweiligen Geschiebetransportformel zugrunde gelegt werden.

5.11.3.5 Kornzusammensetzung, charakteristische Korndurchmesser, Deckschichtbildung

Für die vereinfachende Berechnung der GTK wurden Kiesbankproben der Salzach herangezogen:

- Für die Grenzwertbetrachtungen in flußmorphologischen Untersuchungen des LfW wurden i.d.R. Kiesbankproben verwendet.
- Erste Ergebnisse der Geschiebetransportmodelle lagen zwar Anfang 1996 bereits vor, die auf eine feinere Kornzusammensetzung als die Geschiebeproben der Kiesbänke hindeuteten,
- aber eine Interpretation der Kiesbankproben im Vergleich zu den erbohrten Proben und wandernder Geschiebezusammensetzung in den Geschiebetransportmodellen war noch nicht abschließend möglich, da einerseits die Probennahmen noch nicht abgeschlossen waren, andererseits weitere Modellrechungen zur Bestätigung der erster Ergebnisse noch ausstanden.

Testrechnungen zeigten, daß die Größe der charakteristischen Korndurchmesser einen entscheidenden Einfluß auf die GTK hat. Deshalb wurden zu jeder Berechnung eine Bandbreite der Kornzusammensetzung untersucht, für die folgende Annahmen getroffen wurden:

- Minimalwerte feine Sieblinie: d_{30} – 0,5 mm, d_{50} und $d_{m,I}$ – 1 mm, $d_{m,D}$ – 2 mm, $d_{90,I}$ und $d_{90,D}$ – 3 mm,
- Maximalwerte grobe Sieblinie: d_{30} + 0,5 mm, d_{50} und $d_{m,I}$ + 1 mm, $d_{m,D}$ + 2 mm, $d_{90,I}$ und $d_{90,D}$ + 3 mm.

Die Anfang 1996 verwendeten charakteristischen Korngrößen sind in Anlage 24.53 zusammengestellt. Im Mai 1997 wurde der Salzachabschnitt oberhalb der Saalachmündung untersucht und im Mai 1998 erstmals die Saalach von der Mündung bis KW Rott/Freilassing. Für diese beiden Abschnitte wurden mehrere Bandbreitenszenarien für die Kornzusammensetzung untersucht, vgl. Anlage 24.54. Ebenfalls im Mai 1997 wurden die Bemessungsdiagramme für das Vorprüfungsverfahren mit den nun ausgewerteten Kiesproben aus Schürfgruben ergänzt, [116]. Die Bandbreite der charakteristischen Korngrößen wurde vergrößert d_{30} +/– 2 mm, d_m +/– 5 mm und d_{90} +/– 10 mm.

Die maximale GTK wurde mit den Werten aus dem Kiesbankinneren berechnet. Zur Abschätzung der minimalen GTK wurde der Ansatz von GÜNTER gewählt, nach dem die maximale „Reife“ einer Deckschicht durch Multiplikation von θ_C mit $(d_{m,D}/d_{m,I})^{2/3}$ berücksichtigt werden kann. Sofern $d_{m,D}$ nicht bekannt war, wurde der Wert d_{90} des Kiesbankinneren verwendet.

5.11.3.6 Abflußdauerlinien

In 5.2 wurden bereits die von der WRS ermittelten Dauerlinien für das Vorprüfungsverfahren vorgestellt (Basis: Tagesmittelwerte des Pegels Burghausen). Um den Einfluß der Abflußdauerlinie aufzuzeigen wurde eine minimale und maximale Abflußdauerlinie gebildet, die sich an den Hüllkurven des Pegels Burghausen orientiert. Um den Einfluß der Abflußaufteilung Fluß/Vorland zu berücksichtigen, wurde bei dieser Grenzbetrachtung die minimale Dauerlinie bei 1500 m^3/s gekappt und die maximale Dauerlinie bei 2000 m^3/s. In Anlage 24.55 sind die verwendeten Stützstellen der Abflußdauerlinien dargestellt.

Abb. 102 zeigt die Ermittlung der Stützstellen (Kreise) für die verwendeten Abflußdauerlinien. Der Kurvenverlauf wurde an die Dauerlinien aus dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch und der Tagesmit-

telwertstatistik des Pegels Burghausen angeglichen, s. Abb. 30. Für Abflüsse die seltener als 1 Tag auftreten wurde zunächst als grober Näherungswert die empirische Beziehung: Dauer in Tagen = 1 / Jährlichkeit in Jahren angesetzt, deren Verlauf dann an Einzelereignisse (hier maximale Abflußdauerlinie, Hochwasserereignis 1959) oder die Tagesmittelwertstatistik des Pegels Burghausen (durchschnittliche Abflußdauerlinie) „harmonisch“ angepaßt wurde. Bei der minimalen Abflußdauerlinie wurde von der Annahme ausgegangen, daß in trockenen Jahren keine Abflüsse größer 1500 m^3/s auftreten.

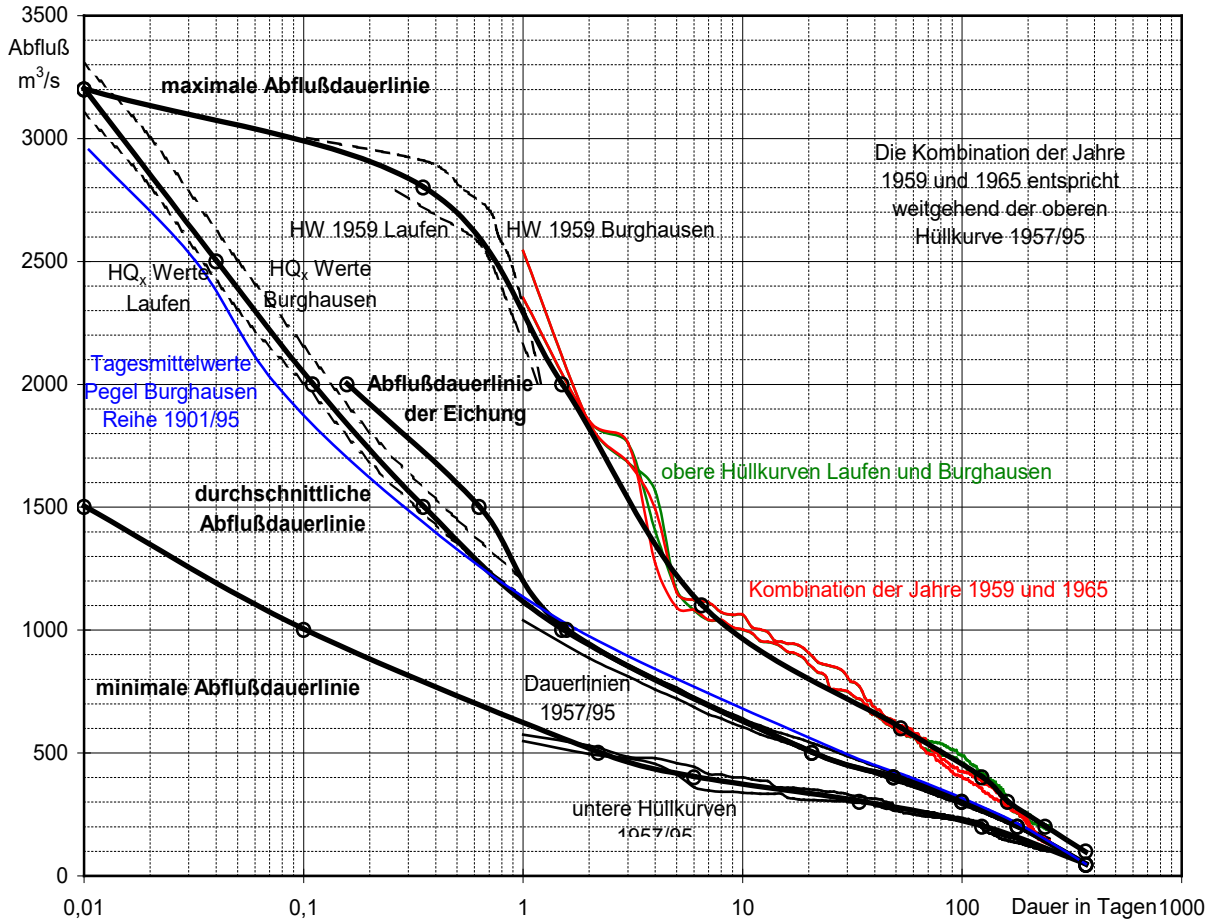


Abbildung 102: Grundlagen für die Ermittlung von WRS-Abflußdauerlinie

Im Fall der Salzach oberhalb der Saalachmündung (Pegel Salzburg) und Saalach von der Mündung bis KW Rott/Freilassing wurde mangels verfügbarer Abflußstatistiken im Bereich kleiner 1 Tag auf die o.g. grobe Annäherung zurückgegriffen (Dauer HQ_1 = 1 Tag, Dauer HQ_{30} = 1/30 Tag und Dauer HQ_{100} = 1/100 Tag). Bei der verwendeten Extrapolation von Abflüssen seltener als 1 Tag sollte nicht vergessen werden, daß diese Extrapolation nur als Abschätzung für „bettbildende Abflüsse“ im langjährigen Mittel zu verstehen ist, die auf die GTK einen nicht vernachlässigbaren Einfluß haben. Immerhin kann mit dieser Hilfskonstruktion die sonst übliche Vernachlässigung von seltenen Abflußspitzen kleiner 1 Tag im langjährigen Mittel vermieden werden.

5.11.3.7 Aufbau der tabellarischen Berechnnung

Die vereinfachende Berechnung mittels EXCEL-Tabellenblätter wurde jeweils separat für die minimale und maximale GTK vorgenommen und gliederte sich in 5 Blöcke:

- Vorbelegte Werte.
- Profilgeometrie und hydraulische Vorberechnung für 8 Abflüsse.
- Berechnung der GTK und Schleppspannungen für 8 Abflüsse und drei Varianten der charakteristischen Korndurchmesser (s. 5.11.3.5).
- Grafische Darstellung der Differenz aus wirksamer und kritischer Schleppspannung (Grafik 1), Geschiebemengen/Tag und Abflußdauerlinie (Grafik 2) sowie Anteil der einzelnen Abflüsse an der Geschiebefracht (Grafik 3).
- Besondere Eingaben für Grafiken, Eichfaktor und geschiebeformelspezifische Berechnungen.

Die verwendeten Formelzeichen für die tabellarische Geschiebeberechnung sind in Anlage 24.56 zusammengestellt und orientieren sich an [114]. Bei der Umrechung zwischen Masse und Volumen wird anders als in [114], Seite 44 auf den ersten Index (Unterscheidung zwischen Feststoffen, Schwebstoffen und Geschiebe) verzichtet. Da in der tabellarischen Berechung die Werte von m und q bereits mit der Sohlbreite B_S multipliziert sind werden die entsprechenden Großbuchstaben M und Q verwendet. Für den Geschiebetrieb, der über die Abflußdauerlinie integriert wurde, wird die Bezeichung GTK für Geschiebetransportkapazität mit den entsprechenden Indizes verwendet.

Je nach Formelaufbau war für den SHIELDS-Faktor ein fester Wert oder eine Berechnung vorgesehen, die dann im Block „besondere Eingaben“ vorgenommen wurde. Der Abfluß Q_B für den Bewegungsbeginn wurde gesondert ermittelt, sofern es sich um Formeln mit Differenzterm („harte“ Schwelle) handelte. Aus den Stützstellen der Abflußdauerlinie wurden die beiden Wertepaare ermittelt, zwischen denen Q_B liegt und anschließend die Überschreitungstage zwischen beiden Stützstellen linear interpoliert. Die Integration der Geschiebemengen je Tag über die Abflußdauerlinie wird an einem Rechenbeispiel verdeutlicht:

- Geschiebetransportkapazität des Abflußsegmentes 400 bis 500 m^3/s,
- Berechnungszeitraum 1 Jahr mit 365 Tagen,
- für 400 m^3/s: Q_{VW} = 33,8 m^3/d, 400 m^3/s werden an 48,5 Tagen im Jahr überschritten,
- für 500 m^3/s: Q_{VW} = 228,0 m^3/d, 500 m^3/s werden an 20,6 Tagen im Jahr überschritten,
- Berechnung nach der Trapezformel: Fläche = Grundlinie $*$ $(h_1 + h_2) / 2$ = Überschreitungstage des Abflußsegmentes $*$ $(Q_{VW1} + Q_{VW2}) / 2$ = (48,5-20,6) $*$ (33,8+228,0) / 2 = 3652,1 m^3/a,
- Summe der Geschiebetransportkapazitäten aus allen Abflußsegmenten zwischen Q_B und Q_{max}: GTK_{VW} = 91919,5 m^3/a (vgl. Eichzeitraum im Eichabschnitt: Eichgröße = 91915 m^3/a).

5.11.3.8 Eichung der Geschiebetransportformeln

Die bisher vorgestellten Berechnungsmethoden für die Geschiebetransportkapazität eignen sich, um rasch einen qualitativen Überblick über Streckenabschnitte zu erhalten. Die errechneten Absolutwerte der Geschiebetransportkapazität weichen aber i.d.R. mehr oder weniger deutlich von der tatsächlichen Geschiebefracht ab. Sofern geeignete Beobachtungen oder Daten vorliegen, sollte daher versucht werden, die verwendeten Formeln an die tatsächlichen Verhältnisse „anzueichen“.

Für eine Eichung bietet sich der Bereich Burghausen (Abschnitt 4a: Fkm 14,0 bis 8,0) und weiter bis zur Einmündung des Alzkanals (Abschnitt 5a: Fkm 8,0 bis 6,6) an. Unterhalb des Alzkanals enden die Baggerungen durch die GKW, die zur Einhaltung der Vertragssohle im Stauraum KW Simbach-Braunau durchgeführt werden. Aus beiden Abschnitten wurde eine 7,4 km lange „Eichstrecke“gebildet.

Die nachfolgenden Ansätze basieren auf dem Kenntnisstand Anfang 1996, zwischenzeitlich liegen z.T. vollständigere Daten vor, deren Einbeziehung zu einer weiteren Verbesserung führen würde. Da das gewählte Berechnungskonzept aber lediglich als Orientierung für die Maßnahmenplanung bzw. mathematische Modellierung des Geschiebetransportes gedacht war, lohnte der hohe Aufwand einer kontinuierlichen Fortschreibung der Eichung nicht.

Als Eichzeitraum wurden der Zeitraum zwischen den Profilaufnahmen von 1985 (17.09 bis 29.11, i.M. 01.10) und 1992 (23.01 bis 18.02, i.M. 01.02) gewählt, die vollständig während abflußarmer Zeiten erfolgten. Im Bezugssystem DBWas landeten in diesem Zeitraum 27.947 m^3 bzw. rd. 4.400 m^3/a an. In [100] wurde der Einfluß des Abriebs abgeschätzt und analog [6] der Abriebverlust ermittelt. Als Transportlänge wurde Fkm 59,3 bis 22,0 mit einem mittleren Abriebweg von 18,65 km angesetzt. Je nach Wahl des STERNBERG-Koeffizienten c ergaben sich für die Strecke oberhalb Fkm 22,0 Abriebverluste zwischen 2.256 m^3/a (c = 0,003) und 6.017 m^3/a (c = 0,008) im Eichzeitraum. Bei diesen Überlegungen wurde gemäß PUTZINGER der Abrieb über ein reduziertes Sohlgefälle ermittelt, das sich unterhalb Fkm 22,0 aber nicht änderte. Folglich war unterhalb Fkm 22,0 auch kein Abrieb zu berücksichtigen. Da im Eichabschnitt das Ergebnis der Massenbilanzierung in der Größenordnung der Abriebverluste lag und beide Werte relativ gering waren, wurden beide für die Eichung vernachlässigt und die Annahme getroffen: Geschiebeeintrag bei Fkm 14,0 = Geschiebefracht bei Fkm 6,6 = Baggermengen bei Fkm 6,6.

Im Zeitraum 1986 bis 1991 wurden unterhalb Fkm 6,6 rd. 556.390 m^3 Geschiebe gebaggert, die Menge der Jahre 1985 und 1992 wurde nach den anteiligen Monaten des Eichzeitraums berücksichtigt:

- Jahr 1985: 68.280 m^3, hiervon Monate Oktober bis Dezember = 3/12 vom Jahr 17.070 m^3
- Jahr 1992: 114.732 m^3, hiervon Monat Januar = 1/12 vom Jahr 8.667 m^3
- Summe vom 01.10.1985 bis 01.02.1992 = 582.127 m^3
- mittlere Entnahmemenge in 6 $^1/_3$ Jahren: = 91.915 m^3/a (gerundet 92.000 m^3/a)

Bei den Korngrößen wurde 1996 auf die Sieblinien der Kiesbankproben von 1952, 1966 und 1976 zurückgegriffen. Die daraus resultierenden charakteristischen Korngrößen sind in Anlage 24.53 enthalten. Die 1997 mittels Eimerkettenbagger entnommenen Geschiebeproben zwischen Fkm 6,5 und 6,0 erbrachten gegenüber dem verwendeten d_m = 24,2 mm einen etwas geringeren Wert (23,1 mm). Korngrößen aus Bohrungen liegen im Eichabschnitt nur spärlich vor (B2/93 bei Fkm 12,6 und B1/93 bei Fkm 11,2), die beiden ermittelten d_m-Werte (10,5 mm und 12,3 mm) wurden als nicht repräsentativ angesehen.

Für den Eichzeitraum (2319 Tage) wurde auf der Basis von Tagesmittelwerten des Pegels Burghausen eine Abflußdauerlinie ermittelt, die in Abb. 102 auf Jahresbasis umgerechnet dargestellt ist. Die Stützstellen der Abflußdauerlinie sind in Anlage 24.55 enthalten.

Um die Absolutwerte der Geschiebetransportformeln an die Baggermengen unterhalb Fkm 6,6 anzueichen wurde ein Eichfaktor α eingeführt, mit dem die Transportintensität Φ multipliziert wurde. Bei Formeln mit Differenzterm wurde in einigen Fällen auch der Bewegungsbeginn verschoben durch Veränderung des SHIELD-Faktors. Eine genauere Beschreibung wird im 5.11.4.8 gegeben.

5.11.4 Formeln für Geschiebe- und Feststofftransport

5.11.4.1 Allgemeines

Allgemein lassen sich Transportformeln nach dem transportierten Material Geschiebe (bed-load), Schwebstoff oder Feststoff (= Geschiebe + Schwebstoff = total load) unterscheiden. Je nach Formelaufbau wird in der Literatur [110], [117] der Bewegungsbeginn als Unterscheidungskriterium angeführt:

- Formeln mit „harter Schwelle“, bei denen der Bewegungsbeginn deterministisch als Grenze zwischen Ruhe und Bewegung erfaßt ist,
- Formeln mit „weicher Schwelle“, bei denen der Bewegungsbeginn statistisch als empirisch simuliertes Bewegungsrisiko behandelt wird und
- Formeln, bei denen die Grenze zwischen Bewegung und Ruhe nicht explizit in der Formel berücksichtigt wird: „solche Formeln errechnen auch für sehr kleine Strömungsintensitäten noch – sehr kleine – Transportraten“ [110].

Wichtiger als theoretische Klassifizierungen sind jedoch die Anwendungsgrenzen und die Datenbasis, mit denen eine Formel entwickelt wurde. Hierzu enthalten [114] und [117] Hinweise. Anzumerken ist ferner, daß in den vergleichenden Formelbetrachtungen nicht alle Formeln aufgeführt sind. So schneiden z.B. die Formeln von MEYER-PETER und MÜLLER und ZANKE (1987) in den genannten Vergleichen gut ab, die VAW-Formel von 1983 fehlt jedoch in den Vergleichen. Folgt man jedoch den zahlreichen Hinweisen einiger VAW-Mitteilungen so sind mit der VAW-Formel tendenziell noch bessere Ergebnisse als mit der Formel von MEYER-PETER und MÜLLER zu erwarten. Erschwert wird eine vergleichende Anwendung der Formeln durch unterschiedliche Wahl bzw. fehlende Angaben zu Berechnungsannahmen und Verknüpfung mit speziellen Ansätzen (Profilwahl und -aufbereitung, Fließgesetz, etc.).

In jüngster Zeit wurden einige Formeln weiterentwickelt bzw. neu entwickelt, deren Anwendungsbereich erweitert wurde bzw. die weitere Einzelaspekte in den Formelaufbau einbeziehen:

- Formel von MEYER-PETER und MÜLLER in der Variation von HUNZIKER [74],
- Formel von ZARN [71] und
- Formel von ZANKE (1999) [118].

Die beiden letzten Formeln wurden erst nach Bearbeitungsschluß der Bemessungsdiagramme (Juni 1998) bekannt, die Formel von ZARN wurde aber fallweise zur Absicherung der Aussagegrenzen der Bemessungsdiagramme noch eingesetzt. Für die Formeln von ZARN und ZANKE (1999) existieren bisher nur wenig Erfahrungswerte bzw. Empfehlungen.

5.11.4.2 Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER (1948)

Zwischen 1930 und 1948 wurden an der schweizerischen Versuchsanstalt für Wasserbau 139 Einzelversuche zum Geschiebetransport durchgeführt, aus der die Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER hervorging. Die vollständigen Versuchsdaten wurden erst 1983 zusammen mit der VAW-Formel publiziert [103], bis dahin existierte lediglich ein interner Bericht von 1948. Die Gleichung von MEYER-PETER ist in Mitteleuropa am weitesten verbreitet und in ihrem Aufbau durch theoretische Überlegungen gut bestätigt. Der Gleichungsaufbau basiert auf einem Vergleich von Schub- oder Schleppspannungen: $\tau_W = \tau_C + \tau_G$ und ist gemäß ZANKE ein Formeltyp mit "harter Schwelle". Die einzelnen Schubspannungen sind wie folgt aufgebaut:

- $\tau_W = \rho_W * g * h * I * (Q_S/Q) * (k_S/k_R)^{3/2}$ = vorhandene wirksame (treibende) Schleppspannung. τ_W unterscheidet sich von der Sohlschubspannung $\tau_0 = \rho_W * g * h * I$ durch die Reduktionsfaktoren Q_S/Q = Einfluß der Wandreibung und $(k_S/k_R)^{3/2}$ = Einfluß der Formverluste bzw. Sohlenform. Das Verhältnis wird

häufig mit k_S = 21,1 $m^{1/3}/s$ (Mittelwert der Sohlrauheit, Gesamtwiderstand der Sohle nach STRICKLER) und k_R = 26,0 $m^{1/3}/s$ (Widerstand durch Kornreibung allein) angegeben.

- $\tau_C = A'' * (\rho_S-\rho_W) * g * d_m$ = kritische, zur Überwindung des Sohlwiderstandes erforderliche Schleppspannung. A" = 0,047 = Mittelwert für beginnenden und ausgebildeten Geschiebetrieb (sofern $\tau_G > 0$) aus Extrapolation der Korn-Reynoldszahl Fr*, wenn die Transportraten gegen Null tendieren, s. Bild 12 in [103].
- $\tau_G = B'' * \rho_W^{1/3} * g^{2/3} * m_{GW}^{2/3}$ = für den Geschiebetrieb nach Überwindung von τ_C verfügbare Schleppspannung. B" = 0,25 = Konstante. m_{GW} = Geschiebetrieb, Gewicht unter Auftrieb.

Unter Verwendung von dimensionslosen SHIELDS-Faktoren kann die Gleichung MEYER-PETER und MÜLLER auch in der Form $\Phi = 8 * (\theta' - \theta_C)^{1,5}$ geschrieben werden, wobei die Zahl 8 dem Wert $B''^{-3/2}$ entspricht, θ' der mit den Reduktionsfaktoren Q_S/Q und $(k_S/k_R)^{3/2}$ multiplizierte SHIELDS-Faktor ist und θ_C der kritische SHIELDS-Faktor ist. Die Formel von MEYER-PETER und MÜLLER gilt nur für gröberes Korn ($d_m > 1$ bis 2 mm) und im Gefällebereich 0,4 ‰ < I < 20 ‰, [103], sie berücksichtigt den Einfluß der Reynoldszahl Re* nicht [83].

Die Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER hat zahlreiche Modifikationen erfahren, nach HUNZIKER [74] ergibt sie „tendenziell zu hohe Transportraten". So schlug JÄGGI vor θ' um 15-20 % abzumindern und SCHÖBERL für die Kornreibung k_R den Wert 23,5 statt 26,0 $m^{1/3}/s$ zu verwenden, was einer Reduktion von rd. 18 % entspricht. Folgende Schreibweisen werden in den Formelvergleich einbezogen:

MP/M: Kürzel für die Original-Fassung der Geschiebetransportformel von MEYER-PETER und MÜLLER in der dimensionslosen Schreibweise: $\Phi = 8 * (\theta' - \theta_C)$ mit allen o.g. „Original"-Annahmen.

MP-h1: Diese Modifikation berücksichtigt bei θ' lediglich die Formverluste, nicht aber den Wandeinfluß, ferner wird für θ_C der Wert aus der SHIELDS-Kurve verwendet. Je nach Interpolation der SHIELDS-Kurve und $d_m > 7$ mm ergibt sich der Wert 0,055 oder 0,06. Diese Modifikation findet sich in einem Aufsatz von SCHRÖDER [108].

MP-r1: Hinter diesem Kürzel steckt eine Modifikation, die im Rahmen dieser Untersuchung aufgestellt wurde und mehrere Aspekte kombiniert:

- Bei der Methode der ebenen Sohle liegt der Bewegungsbeginn deutlich höher als bei kombinierter Anwendung von maßgebenden Profil und Streifenmethode.
- Es liegt daher nahe, den Bewegungsbeginn bzw. kritischen SHIELDS-Faktor tiefer anzusetzten. Eine Begründung liefert z.B. der bereits zitierte Hinweis von MEYER-PETER und MÜLLER, daß der Bewegungsbeginn an sich etwas früher (absolute Ruhe der Sohle bei 0,030) einsetzt, als beim extrapolierten Wert 0,047.
- Zahlreiche Autoren weisen darauf hin, daß auch im Bereich von $0,02 < \theta < 0,05$ Geschiebetransport („weak transport") stattfindet. Dies wird einerseits auf Schubspannungsschwankungen zurückgeführt, andererseits auf einen Umlagerungsprozeß labil gelagerter Einzelkörner. Die Formulierung „weak transport" deutet bereits an, daß es eine Art „Grauzone" gibt, die keine scharfe ja/nein-Grenze beim Geschiebetransport kennt.
- Die Definition eines Bewegungsrisikos R nach ZANKE bietet eine elegante Möglichkeit, die Probleme Bewegungsbeginn und „weak transport" etwas zu entschärfen.

Auf der Basis von **MP/M** wurde eine Geschiebetransportfunktion zusammengesetzt, die den Bewegungsbeginn der Salzach im Bereich „weak transport“ mit einer harte Schwelle bei 0,03 realisiert. Die häufig auftretenden Abflußsegmente im Bereich $0,03 < \theta < 0,06$ sollen aber gegenüber den Abflußsegmenten $\theta > 0,06$ nicht überbetont werden (Dämpfung dieser Abflußsegmente). Die Modifikation **MP-r1** ist wie folgt aufgebaut: $\Phi = 8 * R * (\theta' - \theta_C)$ mit Bewegungsrisiko R nach ZANKE in der Fassung von 1990 [104]: $R = (10 * (\theta/\theta_C)^{-9} + 1)^{-1}$, Ermittlung von θ' wie bei **MP/M** und $\theta_C = 0,03$ im Differenzterm $(\theta' - \theta_C)$. Bei der Berechnung von R wird für θ_C der interpolierte Wert der SHIELDS-Kurve verwendet.

MP-H: Diese Modifikation geht auf HUNZIKER [74] zurück, der die Schwächen der Original-MP/M-Formel eingehend analysierte und ein fundiertes Verbesserungskonzept dazu vorlegte. Seine Verbesserungen umfassen zwei Punkte:

- Modifikation von θ_C: HUNZIKER analysierte die Versuche mit Einheitskorn von MEYER-PETER und MÜLLER sowie SMART und JÄGGI im Bereich $\theta' < 0,4$ (θ' ohne Gefälleeinfluß) und stellte fest, daß die Regressionsgerade für $\Phi = 0$ den Wert $\theta_C = 0,054$ lieferte.: „Dieser Wert ist etwas größer als der von MEYER-PETER und MÜLLER vorgeschlagene Wert von $\theta_C = 0,047$, nähert sich aber dem von SHIELDS (1936) im vollturbulenten Bereich ursprünglich vorgeschlagenen Wert von $\theta_C = 0,06$. Für praktische Berechnungen kann aber weiterhin der bekannte Ansatz $\theta_C = 0,05$ verwendet werden.“
- Modifikation von $(k_S/k_R)^{3/2}$: Anstatt dieses Ansatzes empfahl HUNZIKER die Formverluste nach der Beziehung von YALIN und SCHEUERLEIN [109] zu berechnen. Mit dieser Beziehung ergeben sich kleinere Formverluste. Anstatt $(k_S/k_R)^{3/2}$ wird c_D in die MP/M-Formel eingesetzt. $c_D = (c/c_f)^2 = A_f / (A_f+A_d+A_r)$ mit $1/c^2 = A_f$ (Reibungsanteil) + A_d (Dünenanteil) + A_r (Riffelanteil) und $1/c_f^2 = A_f$.

5.11.4.3 Geschiebetransportformel von OGRIS (1974)

Die Geschiebetransportformel von OGRIS findet sich in einem Artikel der Österreichischen Ingenieur-Zeitschrift [113]. Sie wurde im Rahmen der GUS-Studie 1.2/2.1.1 [23] verwendet und deshalb in den Formelvergleich aufgenommen. OGRIS bezeichnet die Übereinstimmung seiner Formel und der MP/M-Formel als „recht befriedigend“. Zum Formelaufbau sind einige Anmerkungen veranlaßt:

- OGRIS leitet aus reibungstheoretischen Ansätzen einen Mittelwert für den Bewegungsbeginn ab, der fast exakt dem θ_C der MP/M-Formel entspricht (0,0465 = 0,047 nach MP/M).
- Die Differenzterme beider Formeln sind im Exponenten unterschiedlich aufgebaut, umgeformt nach θ ergibt sich für die OGRIS-Formel $\theta * (\theta^{0,5} - \theta_C^{0,5})$, hingegen bei der MP/M-Formel $(\theta' - \theta_C)^{1,5}$
- Ein weiterer Unterschied besteht bei der Anwendung von θ. Die MP/M-Formel verwendet einen θ'-Wert, bei dem θ um den Wandeinfluß und Formverluste reduziert wird, im Aufsatz von OGRIS sind jedoch keine entsprechenden Hinweise auf Reduktionsfaktoren enthalten. Da diese Reduktionsfaktoren fehlen, muß die Geschiebetransportformel von OGRIS deutlich größere Transportintensität Φ erbringen, als die MP/M-Formel, s. 5.11.3.8. Der rechnerische Beginn der Geschiebebewegung ändert sich dadurch.

In der dimensionslosen Schreibweise lautet die Geschiebetransportformel von OGRIS (Kurzbezeichnung **O**): $\Phi = \lambda * \theta * (\theta^{0,5} - \theta_C^{0,5}) / \mu$ mit Geschwindigkeitsbeiwert $\lambda = (0,8*21)/g^{0,5} * (h/d_m)^{1/6}$ (Wertebereich 9,4 bis 21,2; OGRIS empfiehlt „größenordnungsmäßig“ den Wert 10) und Reibwert $\mu = 0,8$.

5.11.4.4 Geschiebetransportformel von ZANKE (1987)

1987 veröffentlichte ZANKE im Anhang von [110] erstmals eine neue Geschiebeformel: $m_G = 0{,}04 * \rho_S * S * u_r * R$ mit S = mittlere Dicke der bewegten Sohlenschicht, u_r = mittlere Transportgeschwindigkeit der Körner der Schicht S ($S * u_r = v_0^* * d_{50} * (v_0^*/v_{0,C}^*)^3 * v/(g * h)^{1/2}$, Hinweis: $v/(g * h)^{1/2}$ entspricht dem SHIELDS-Faktor für einen Rechteckquerschnitt) und R = Risiko für die Körner, bewegt zu werden = $(10 * (v_{0,C}^*/v_0^*)^{14} + 1)^{-1}$. 1990 definierte ZANKE [104] das Risiko R, bewegt zu werden über den SHIELDS-Faktor: $R = (10 * (\theta/\theta_C)^{-9} + 1)^{-1}$. Diese Risiko-Definition erbringt ähnliche Werte mit geringfügig größerer GTK.

Für die Wahl eines d_{50} anstatt z.B. eines d_m gibt ZANKE keinen Hinweis, ebenso für den Faktor 0,04. Der Faktor 0,04 könnte aber gut aus der von ihm formulierten Gleichung 4.2.2.2.1-8a in [83] erklärt werden, mit der er die kritische Schubspannung bei hydraulisch rauher Sohle formuliert. Ab dieser „Grenze" beginnt gewissermaßen das Risiko der Körner bewegt zu werden, die Risikofunktion dämpft bzw. verstärkt durch Multiplikation diesen „Grenzwert" 0,04.

In Ergänzung zu ZANKES Ausführungen zum Bewegungsrisiko R sind die Ausführungen HUNZIKERS zum Einfluß der Schubspannungsschwankungen lesenswert. Er legte dar, „daß im Bereich sehr kleiner Schubspannungen der Geschiebetrieb von den Schubspannungsschwankungen als Folge der Turbulenz der Strömung beeinflußt wird. GÜNTER schlägt darum ... (Anm: unterhalb des extrapolierten Wertes von θ_C) eine Modifikation der Geschiebefunktion vor ... Er machte jedoch keine genaueren Angaben über deren Verlauf. ... Mögliche Ansätze könnten z.B. in der Arbeit von PAZIS und GRAF (1977) gefunden werden. PAZIS untersuchte speziell den Geschiebetransport (sogenannter „weak transport") bei sehr kleinen Schubspannungen. Er fand, daß im Bereich $0{,}02 < \theta < 0{,}05$ der Transportparameter Φ proportional zu θ^8 ist." Die ähnlichen Exponenten 8 bzw. 9 in der θ-Risikoformulierung von ZANKE deuten an, wie stark der Geschiebetransport im Bereich „weak transport" abnimmt.

Neben der Originalfassung der Geschiebetransportformel von ZANKE von 1987 (Kurzbezeichung **Z**) wurde eine Modifikation (Kurzbezeichung **Z§)** untersucht, bei der statt d_{50} der Wert d_m verwendet wurde.

5.11.4.5 Geschiebetransportformel von SMART und JÄGGI bzw. VAW-Formel (1983)

Von SMART und JÄGGI [103] wurde der Sedimenttransport in steilen Gerinnen untersucht, deren Ergebnisse letztlich in eine neue Geschiebeformel mündeten. Unter Einbezug der Versuchsdaten der MEYER-PETER-Formel zeigte sich, daß die neue VAW-Formel noch weniger Streuung zwischen den errechneten Werten und den Versuchsdaten aufwies als die MP/M-Formel. Als Anwendungsbereich der VAW-Formel werden 0,2 bis 20 % angegeben, wobei im Bereich $2\ \% < I < 5\ \%$ und $\theta > 0{,}1$ der Transportparameter Φ um etwas, für $\theta > 1$ um 50 bis 100 % unterschätzt wird. Im Bereich $\Phi < 0{,}02$ (grobes Material und große Gerinnebreite) besteht die Tendenz von etwas zu großen Φ-Werten. Diese Abweichungen sind aber kein Nachteil gegenüber z.B. der MP/M-Formel, im Gegenteil: Gegenüber anderen Transportformeln ist es von Vorteil zu wissen, wann der errechnete Wert vom realistischen Wert in welcher Größenordnung voraussichtlich abweicht.

[103] gibt verschiedene Schreibweisen zur VAW-Formel an, wobei die dimensionslose Schreibweise der Transportintensität (Gleichung 12.3) gewählt wurde: $\Phi = 4 * (d_{90}/d_{30})^{0,2} * I^{0,6} * c * \theta * (\theta - \theta_C)$ mit $\theta_C = 0{,}05$.

Sofern der Faktor $(d_{90}/d_{30})^{0,2}$ vernachlässigt werden soll, empfehlen beide Autoren den Wert 1,05 (Salzach: $(d_{90}/d_{30})^{0,2}$ = rd. 1,3 – Vernachlässigung nicht akzeptabel). In einem Aufsatz von JÄGGI im Schweizer Ingenieur und Architekt [111], wird lediglich die vereinfachte Gleichung 12.5 aus [103] als VAW-Formel vorgestellt. Im Gegensatz zu [103], Kapitel 15, letzter Absatz, wird in [111] der Wandeinfluß als zu berücksichtigende Größe dargestellt: „Es sei ferner daran erinnert, daß bei relativ engen Flußgerinnen, wie sie in der Schweiz häufig sind, die Wand- oder Uferreibung auf den Transportvorgang eine große Rolle spielt. Wie bei anderen Verfahren wird dies auch bei der neuen Formel dadurch berücksichtigt, daß nur derjenige Abflußanteil in die Formel eingesetzt wird, der durch eine ideelle auf die Sohle wirksame Teilfläche abfließt."
Ferner wird in [103] die VAW-Formel in Kombination mit einem Fließgesetz angegeben, welches JÄGGI [72] bei der Untersuchung von alternierenden Kiesbänken gefunden hatte (Gleichung 6.9 in [72]) und für steilere Gefälle modifiziert (Gleichung 14.7 in [103]), die Gleichung lautet: c' = Faktor, der den Kornreibungsanteil des Sohlenwiderstandes beschreibt = $v_m/(g * h * I')^{0,5} = 2,5 * \ln(12,27 * Z_{90} / \beta)$ mit $I'/I = 1 - \exp(-\alpha * Z_{90} / I^{0,5})$ und $Z_{90} = h/d_{90}$. Die Werte α und β sind Funktionen der Kornverteilung. Mit der Kombination $\alpha = 0,05$ und $\beta = 1,5$ wurden die besten Resultate in steilen Gerinnen erzielt (Seite 71 in [103]), mit der Kombination $\alpha = 0,02$ und $\beta = 2,0$ im normalen Gefällebereich (Seite 156f in [72]). In [111] wird auf die Vorstellung dieses Fließgesetztes verzichtet, so daß es durchaus legitim erscheint, auch andere Fließgesetzte (z.B. das einfach zu berechnende von MANNING und STRICKLER) zu verwenden. Das VAW-Fließgesetz wurde in der Zeitschrift Wasserwirtschaft ebenfalls publiziert [112]. Mit dem VAW-Fließgesetz wurden deutlich kleinere Wassertiefen als mit der Fließformel von MANNING und STRICKLER berechnet, z.B. bei 2000 m^3/s 5,22 m statt 6,14 m, die hydraulische Gesamtrauheit wurde mit dem VAW-Fließgesetz unterschätzt. Das Ergebnis überrascht nicht angesichts der relativ niedrigen k_{St}-Werte bzw. hohen k_S-Werte, die sich bei der Nachrechnung von WSP-festlegungen mit verschiedenen Abflußmodellen ergaben, s. 5.11.3.2.

In den Formelvergleich wurden zwei Varianten einbezogen: **VAW** verwendet die „Originalfassung" der Gleichung 12.3 und das in [103] enthaltene Fließgesetz. **VAW"** verwendet die Fließformel von MANNING und STRICKLER und einen modifizierten SHIELDS-Faktor (0,044 statt 0,05). Der Einfluß der Wandreibung wurde nicht berücksichtigt, da die Transportraten beider Varianten bei der Eichung tendenziell zu gering waren, s. 5.11.3.8.

5.11.4.6 Feststofftransportformel von ENGELUND und HANSEN (1967)

Die Gleichung von ENGELUND/HANSEN (Kurzbezeichnung **EH**) wurde in der Fassung von [83], Gleichung 5.2.9-1 verwendet. Umgeformt nach der Transportintensität ergibt sich: $\Phi = 0,05 * \theta^{2,5} * (v/v_{0,C})^2$. Der vollständige Berechnungsgang kann der DVWK-Schrift 87 [114] entnommen werden. Ähnlich wie bei der Geschiebetransportformel von ZANKE (1987) könnte der Wert 0,05 als „Grenze" i.S. eines SHIELDS-Faktors verstanden werden, der mit einer gegeigneten Funktion multipliziert wird und dadurch gedämpft bzw. verstärkt wird. In Abweichung zu [114] wurde:

- d_m statt des d_{50} verwendet,
- nicht das in [114], Seite 89, mit den Formeln (EH5) bis (EH10) angegebene Fließgesetz verwendet, sondern die Fließformel von MANNING und STRICKLER.

5.11.4.7 Feststofftransportformel von PERNECKER und VOLLMERS (1965)

PERNECKER und VOLLMERS [115] fanden beim Vergleich verschiedener Transportgleichungen in dimensionsloser Darstellung einen einfachen Ausdruck, von dem sie bescheiden feststellten : "Die lineare Abhängigkeit $G^* = 25 * Fr^* - 1$ wird als vereinfachte Darstellung vorgeschlagen, ohne jedoch Anspruch darauf zu erheben, eine neue Geschiebeformel zu sein." Nach ZANKE [110] wird ein Bewegungsbeginn nicht explizit durch diese Formel erfaßt. Die Beziehung : $\Phi = \theta^{1,5} * (25 * \theta - 1)$ läßt sich aber als Differenzterm auffassen, indem man auflöst nach $\theta = 1/25 = 0,04$ = Bewegungsbeginn nach ZANKE [83] für die hydraulisch rauhe Sohle.

In [115] werden keine Angaben über anzusetzende Formverluste, Wandreibung, Fließformel etc. gemacht, für die Geschiebetransportformel von PERNECKER und VOLLMERS (Kurzbezeichnug **PV**) wurden daher keine solchen Ansätze zur Modifikation von θ eingeführt, die Größenordnung der Transportintensität Φ läßt jedoch im Fall der Salzach den Rückschluß zu, daß diese Abminderungen zu noch besseren Ergebnissen als Geschiebetransportformel führen können, s. 5.11.3.8. Nach [115] berücksichtigten PERNECKER und VOLLMERS bei keiner der von ihnen untersuchten Transportgleichungen Formverluste oder Wandreibung, ebenso wurde keine Empfehlung bezüglich des zu verwendenden charakteristischen Korndurchmessers gegeben. In [114] wird d_{50} empfohlen, abweichend hierzu wurde aber d_m verwendet.

5.11.4.8 Auswahl von Formeln für Geschiebe- und Feststofftransport

Die Auswahl von geeigneten Geschiebe- und Feststofftransportformeln erfolgte für die maximale GTK (keine Deckschichtbildung) unter folgenden Aspekten:

- Liegt der Bewegungsbeginn in der für die ebene Sohle als sinnvoll erachteten Größenordnung von 250 bis 300 m^3/s?
- Liegen die Absolutwerte der Geschiebetransportkapazität in einer vertretbaren Abweichung zur größenordnungsmäßig bekannten Geschiebefracht?
- Ist die errechnete Geschiebetransportkapazität sinnvoll über die Abflußkurve verteilt?
- Wie empfindlich reagiert eine Formel auf eine Variation der charakteristischen Korndurchmesser?
- Bringt eine Formel in der Originalschreibweise bereits gute Ergebnisse oder sind Änderungen erforderlich (Modifikation im Differenzterm oder Veränderung der Transportintensität)?

Die Ergebnisse der tabellarischen Berechnung sind in Tab. 25 zusammengefaßt, die Verteilung der Geschiebetransportkapazität in den Abflußsegmenten der Eichdauerlinie in den Abbildungen 103 und 104.

Eichung der Geschiebe- und Feststofftransportformeln, Ergebnisse					Tabelle 25
Formel	Q_0 1)	$GTK_{absolut}$ 2)	Faktor α	$GTK_{absolut}$ 2)	Schreibweise der Formel
MP/M	638 m^3/s	158.465 m^3	3,6740	582.200 m^3	Original
MP-h1	678 m^3/s	214.386 m^3	2,7160	582.272 m^3	Modifikation SCHRÖDER (1985)
MP-r1	279 m^3/s	569.291 m^3	1,0226	582.157 m^3	$\theta_C = 0,030$; Dämpfung von Φ mit R
MP-H	399 m^3/s	479.471 m^3	1,2140	582.078 m^3	Original (nach HUNZIKER)
MP-H	356 m^3/s	609.530 m^3	0,9550	582.101 m^3	$\theta_C = 0,047$
O	308 m^3/s	2.855.229 m^3	0,2039	582.181 m^3	Original
Z	Entfällt	330.194 m^3	1,7630	582.133 m^3	Original
Z§	Entfällt	179.986 m^3	3,2350	582.255 m^3	d_m statt d_{50}
VAW	352 m^3/s	364.874 m^3	1,5955	582.157 m^3	Original

VAW“	276 m^3/s	506.341 m^3	1,1497	582.140 m^3	Fließgesetz k_{St} statt VAW; $\theta_C = 0{,}044$
EH	Entfällt	1.591.328 m^3	0,3658	582.108 m^3	Fließgesetz k_{St}; d_m statt d_{50}
PV	235 m^3/s	1.196.432 m^3	0,4866	582.184 m^3	Original (d_m statt d_{50})
[1)] Zielbereich für den Bewegungsbeginn Q_0 250 bis 300 m^3/s [2)] Zielgröße GTK für den Eichzeitraum 582.127 m^3					

Tab. 25 gibt bereits deutliche Hinweise, welche Formeln im Vergleich gut oder weniger befriedigend abschneiden. Zunächst soll eine Reihe von Geschiebeformeln begründet ausgeschieden werden, die nicht für weitere Berechnungen in Frage kommen:

- Die Formeln **MP/M** und **MP-h1** scheiden wegen des hohen Bewegungsbeginn (größer 600 m^3/s) aus, zudem sind die errechneten GTK-Werte zu gering.
- Die Formel **O** trifft den Bewegungsbeginn recht gut, errechnet aber GTK-Werte, die noch höher als die GTK-Werte der Feststoffformeln **EH** und **PV** liegen.
- Die Feststoffformeln **EH** und **PV** scheiden wegen der hohen GTK-Werte ebenfalls aus, wobei die Formel PV wegen des realistisch abgebildeten Bewegungsbeginns für die Salzach unterhalb der Saalachmündung durch Variation der Parameter „25“ und „1“ weiter optimiert werden könnte.
- Die Formeln **Z** und **Z§** bieten vom Aufbau her keine Aussage zum Bewegungsbeginn, die errechneten GTK-Werte sind tendenziell zu gering. Die Wahl von d_m statt d_{50} bringt eine Betonung des Abflußsegmentes $500 < Q < 1000$ m^3/s analog der MP- und VAW-Formeln, dafür muß eine Vergrößerung des Eichfaktors in Kauf genommen werden. In [119] wird ferner darauf hingewiesen, daß diese Formel relativ unabhängig von der transportwirksamen Breite ist und damit für die Entwicklung eines Bemessungsdiagrammes (5.11.5) weniger geeignet ist (Dieser Aspekt war Anfang 1996 bei der Formelauswahl noch nicht bekannt). Bei einem Formelvergleich sollten aber die beiden Schreibweisen **Z** und **Z§** hinzugezogen werden, da die Datenbasis der Formel groß ist und entsprechende Empfehlungen in der Literatur für die Verwendung dieser Formel vorliegen.

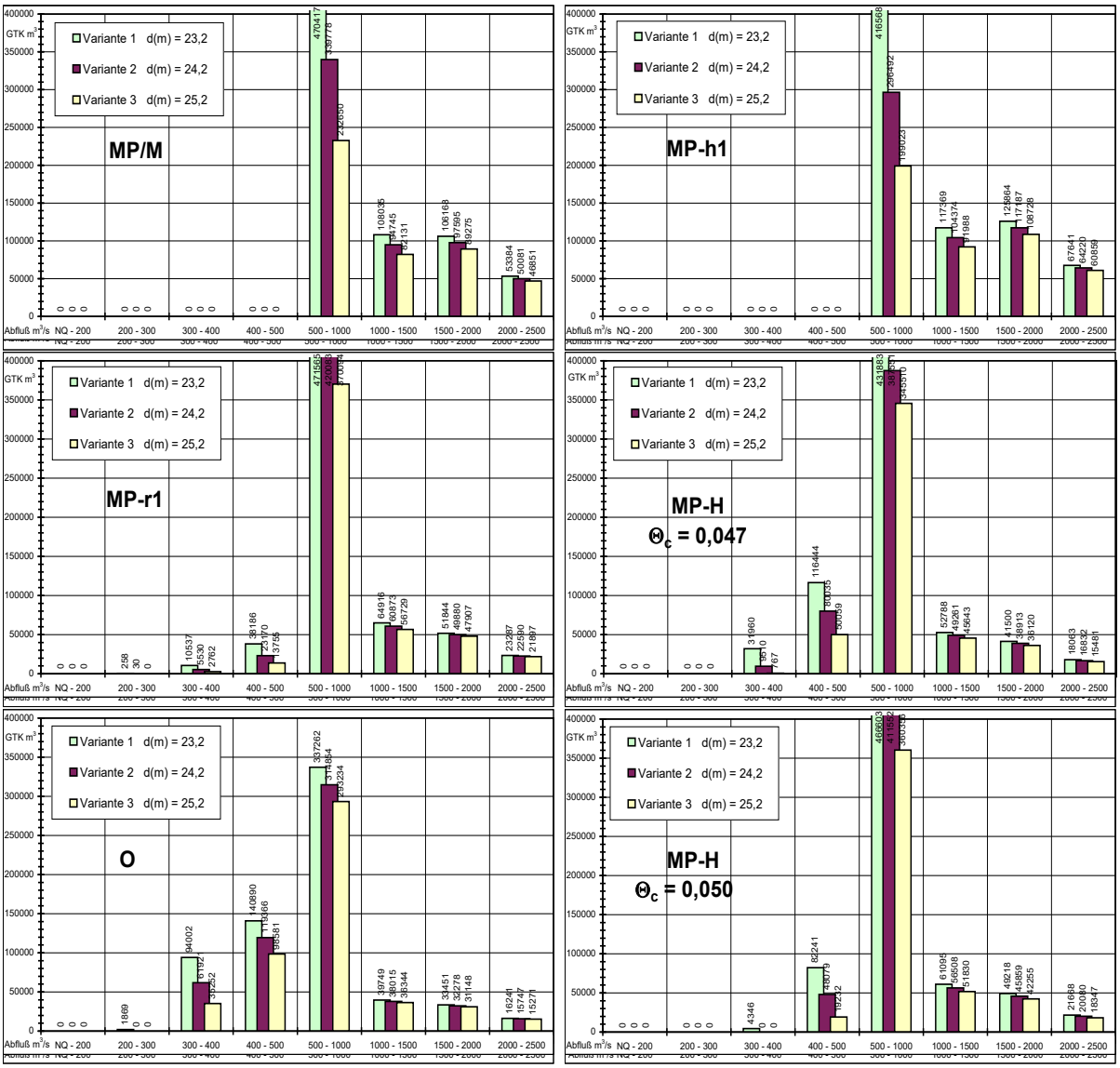


Abbildung 104: Geschiebetransportkapazität in Abflußsegmenten der Eichdauerlinie, Teil 2

In einem zweiten Schritt werden diejenigen Formeln ausgeschieden, deren Eichfaktor deutlich von 1 abweicht (Die Zielgröße der Eichung soll möglichst ohne Korrektur gut getroffen werden). Die verbliebenen Formeln werden auf eine sinnvolle Verteilung der Geschiebetransportkapazität in den Abflußsegmenten und ihre Empfindlichkeit gegenüber einer d_m-Variation untersucht.

Anhand von **MP-H** können die Auswirkungen einer θ_C-Änderung und Korrektur durch den Eichfaktor α sehr schön aufgezeigt werden. Mit $\theta_C = 0{,}047$ liegt der Transportanteil für Abflüsse < 500 m³/s bei rd. 80.000 m³, mit $\theta_C = 0{,}050$ dagegen nur noch bei knapp 38.000 m³. Bei Abflüssen > 1000 m³/s sind die Transportanteile dagegen ziemlich gleich verteilt (rd. 105.000 m³ bei $\theta_C = 0{,}047$ und gut 98.000 m³ bei $\theta_C = 0{,}050$).

Als Eigenheit der Feststofftransportformeln **EH** und **PV** fällt die starke Betonung des Transportanteils von Abflüssen < 500 m³/s auf. Eine Gegenposition hierzu beziehen die Geschiebetransportformeln **MP/M** und **MP-h1**, die dieses Abflußsegment nicht in Rechnung stellen, sondern die Transportwirksamkeit großer und seltener Abflüsse betonen. Realistischer erscheinen Berechnungsergebnisse, deren Transportcharakte-

ristik bezüglich der geschilderten Extreme eine mittlere Position einnehmen, wie z.B. **MP-r1**, **MP-H**, **Z**, **Z§**, **VAW** und **VAW“**. Auch die Formeln mit einer mittleren Position haben gegenläufige Trends: So betont die **VAW“** die Abflüsse < 500 m^3/s stark (rd. 295.190 m^3), **MP-r1** dagegen kaum (rd. 28.730 m^3), obwohl beide Formeln im Bewegungsbeginn fast identisch sind (276 bzw. 279 m^3/s). Diese beiden Formeln nehmen auch extreme Positionen bei der Berücksichtigung des Abflußsegmentes 500 < Q < 1000 m^3/s ein: Während **VAW“** mit 275.126 m^3 nur rd. 47 % Anteil an der gesamten GTK liefert, sind es bei **MP-r1** mit 420.083 m^3 rd. 72 %. Insgesamt kommt der GTK-Verlauf von **VAW“** dem GTK-Verlauf von **PV** nahe.

Auswirkung einer d_m- bzw. d_{50}-Variation auf die Geschiebetransportkapazität					Tabelle 26
Formel	d – 1mm, Abweichung[1)]		d + 1 mm, Abweichung[1)]		Schreibweise der Formel
MP-r1	660.593 m^3	+ 13,5 %	513.144 m^3	- 11,9 %	$\theta_C = 0{,}030$; Dämpfung von Φ mit R
MP-H	685.172 m^3	+ 17,7 %	492.020 m^3	- 15,5 %	Original (nach HUNZIKER)
MP-H	692.639 m^3	+ 19,0 %	493.580 m^3	- 15,2 %	$\theta_C = 0{,}047$
Z	671.900 m^3	+ 15,4 %	506.785 m^3	- 12,9 %	Original
Z§	653.083 m^3	+ 12,2 %	521.021 m^3	- 10,5 %	d_m statt d_{50}
VAW	667.052 m^3	+ 14,6 %	508.784 m^3	- 12,6 %	Original
VAW“	655.668 m^3	+ 12,6 %	516.333 m^3	- 11,3 %	Fließgesetz k_{St} statt VAW; $\theta_C = 0{,}044$
[1)] verwendet wurde die errechnete GTK, nicht die Zielgröße für den Eichzeitraum (582.127 m^3)					

Der d_m im Eichabschnitt 4b+5a beträgt 24,2 mm. Eine Vergrößerung oder Verkleinerung von 1 mm entspricht einer d_m-Änderung von gut 4 %. Da der Korndurchmesser in der 3. Potenz in θ eingeht, ist mit einer Abweichung von i.M. 12 bis 13 % zu rechnen. Tab. 26 verdeutlicht den Einfluß einer Korngrößenvariation auf die GTK der Geschiebetransportformeln. Die Formeln mit der geringsten Streuung sind MP-r1, Z und VAW“. In Abwägung der aufgezeigten Kriterien erscheinen die Formeln MP-r1, MP-H und VAW“ für die Salzach zwischen Saalachmündung und Inn besonders geeignet.

5.11.5 Bemessungsdiagramme

Für die Entwurfserstellung und Vorprüfung von Lösungsvarianten wurden Bemessungsdiagramme entwickelt, die eine vorgegebene GTK in Abhängigkeit von Gefälle und Flußbettbreite darstellen. Für die Quantifizierung von Einflußgrößen und die Entwurfserstellung genügen vereinfachende Annahmen und Ergebnisse, die später in der Entwurfsverbesserung durch numerische Geschiebetransportmodelle konkretisiert und verbessert werden.

Abb. 105 zeigt die generellen Zusammenhänge. Bei gleicher Breite hat ein Gerinne mit steilerem Gefälle eine größere Transportkapazität. Bei sehr schmalen Gerinnen werden die Schubspannungen größtenteils über die befestigte Uferböschung abgetragen und dem Geschiebetransport dadurch Energie entzogen. Bei breiten Gerinnen (B/h > 10) ist der Ufereinfluß gering, ab einem Verhältnis B/h > 30 ist der Ufereinfluß auf die GTK vernachlässigbar. Sofern die Transportkurve nicht in ihrem Scheitel liegt sind bei vorgegebener GTK zwei Breiten je Kurve möglich. Wenn bei konstanter GTK das unterschiedliche Gefälle von zwei Gewässerabschnitten über die Breite kompensiert werden soll (Bemessungsfall 1), können die 4 Breiten abgelesen werden, die grundsätzlich drei mögliche Kombinationen ergeben. Im Fall der Salzach ist aber nur eine Kombination relevant, die als Bemessungsfall 2 dargestellt ist. Im Bemessungsfall 2 spielt der Wandeinfluß keine Rolle (Verhältnis B/h groß).

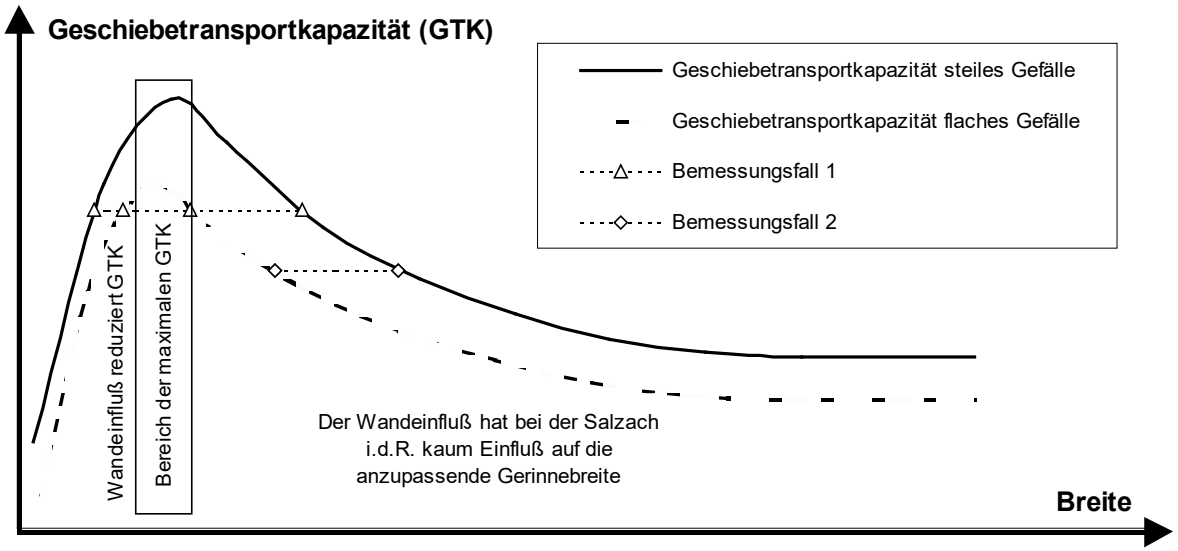


Abbildung 105: Geschiebetransportkapazität in Abhängigkeit von der Breite

Die Transportkurve in Abb. 105 nähert sich mit zunehmender Breite asymptotisch einem Grenzwert. Diese asymptotische Annäherung an ein Grenzgefälle fällt in etwa mit dem Übergangsbereich alternierende Bänke - verzweigter Fluß zusammen. Alle gängigen Formeln, mit Ausnahme der Geschiebetransportformel nach ZARN [71], verlieren mit zunehmender Breite ihre Gültigkeit, da sie den abnehmenden Einfluß des Gefälles bei zunehmender Breite nicht berücksichtigen und versuchstechnisch auf anderen Sohlmorphologien (ebene Sohle, z.T. auch alternierende Bänke) basieren.

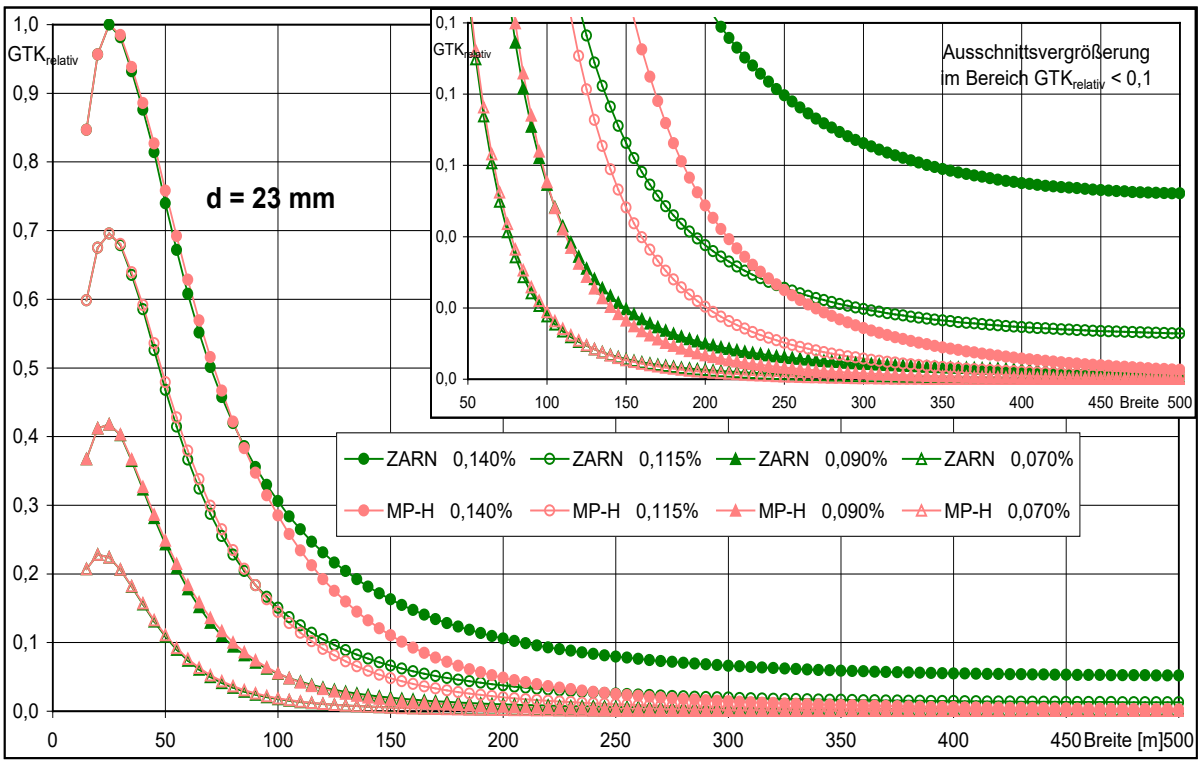


Abbildung 106: Relative Geschiebetransportkapazitäten ZARN und MP-H in Abhängigkeit von der Breite für d = 23 mm

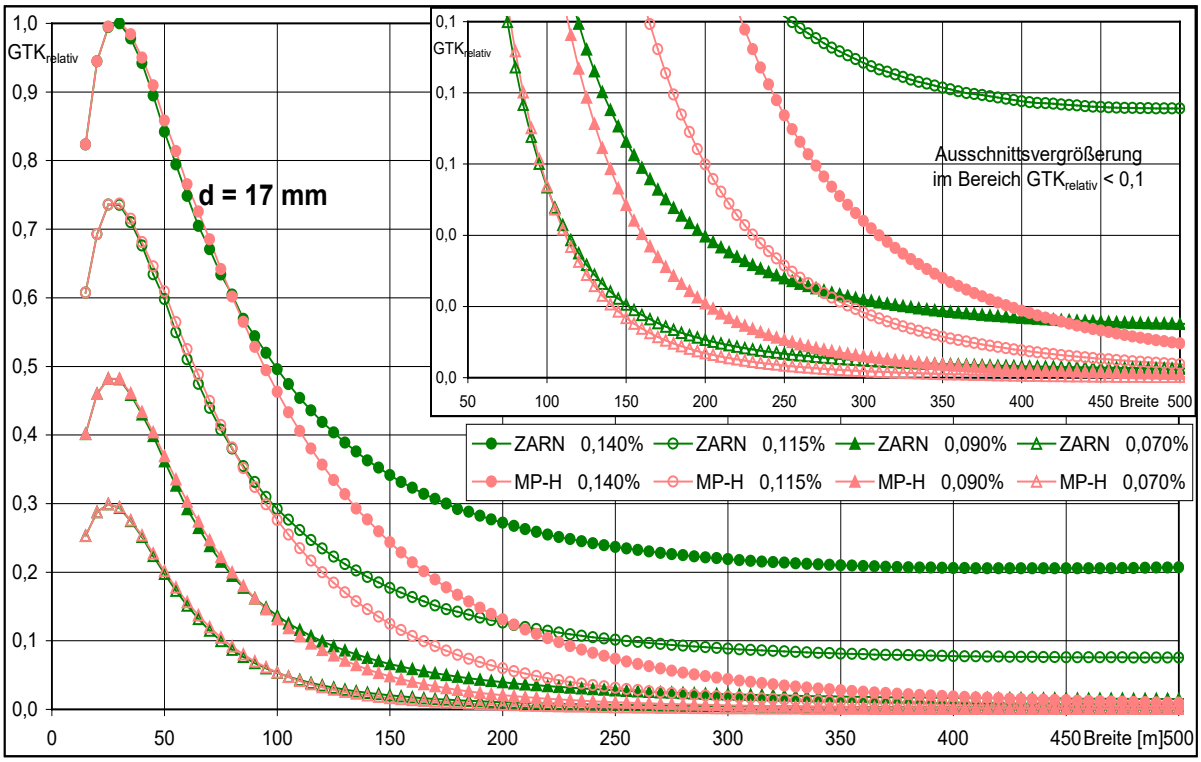


Abbildung 107: Relative Geschiebetransportkapazitäten ZARN und MP-H in Abhängigkeit von der Breite für d = 17 mm

Eine Parameterstudie von ZARN mit der Geschiebetransportformel von ZARN und **MP-H** [73] zeigt, daß ab ca. 250 m Breite die Geschiebetransportkapazität nur noch wenig abnimmt bzw. näherungsweise konstant bleibt. Da sowohl Saalach (ca. 600 m) und Salzach (1900-3800 m) zum Zeitpunkt 1817 deutlich über der 250 m Breite lagen, hat demnach das Gefälle einen dominanten Einfluß auf die GTK: Fällt das Gefälle, fällt auch die Geschiebetransportkapazität und das Geschiebe bleibt liegen. Anders herum gesagt: Je geringer das Gefälle desto schmäler muß die Gerinnebreite werden, damit noch Geschiebe transportiert wird. Die Abbildungen 106 und 107 verdeutlichen diesen Sachverhalt. Aus der erwähnten Parameterstudie wurden die maximale GTK für die Varianten d = 23 mm (Abb. 106) und d = 17 mm (Abb. 107) für die Geschiebetransportformel von ZARN (grüne Linien) bzw. **MP-H** (hellrote Linien) ausgewählt.

ZARN erstellte diese Parameterstudie nach Vorgaben des IWB. Es wurde eine Abflußdauerlinie des Pegels Laufen 1951/96 verwendet. Der Einfluss unterschiedlicher Rauheiten von Böschung und Sohle wurde nicht berücksichtigt, bzw. der Wandeinfluß für B < 90 m unterschätzt. Beide Abbildungen zeigen, daß für Breiten > 100 m und Gefälle > 0,9 ‰ die Absolutwerte beider Formeln erheblich differieren bzw. die Asymptote gegen stark voneinander abweichende Grenzwerte strebt. Für d = 17 mm ist dies bereits für Gefälle > 0,7 ‰ der Fall. Beide Abbildungen zeigen: je geringer das Gefälle, desto eher (d.h. bei geringerer Breite) strebt die GTK einem Grenzwert zu. Eine feinere Kornzusammensetzung (d = 17 mm statt 23 mm) bewirkt, daß die GTK erst später (d.h. bei größerer Breite) einem Grenzwert zustrebt.

Für eine flußbauliche Dimensionierung ist eine Darstellung von Kurven gleicher Geschiebetransportkapazität in Abhängigkeit von Gefälle und Breite besonders vorteilhaft. Entlang einer Transportkurve kann zu jedem Gefälle die zugehörige Breite abgelesen werden, s. Abb. 108.

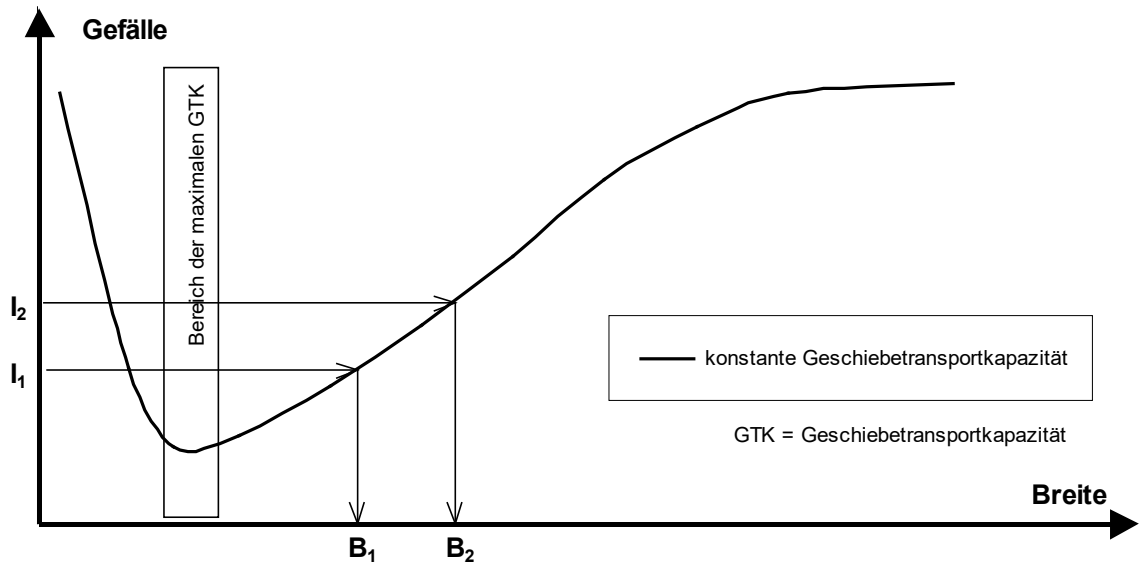


Abbildung 108: Konstante GTK in Abhängigkeit von Breite und Gefälle

Den Bemessungsdiagrammen lag der Mittelwert zweier angeeichter Geschiebetransportformeln (**MP-r1** und **VAW“**) zugrunde. Die Berechnung erfolgte mit abschnittsbezogenen Mittelwerten von Korngrößen, Gefälle und Breite (Werte in Anlage 24.53). Als Profilgeometrie wurde ein Trapez (ebene Sohle, Vernachlässigung von Bankstrukturen) verwendet, der Wandeinfluß wurde über das Verhältnis von Sohlbreite zu Gerinneumfang berücksichtigt. Für 8 Abflüsse wurde mit dem Fließgesetz von Manning-Strickler die Wassertiefe stationär-gleichförmig ermittelt. Der maximale Deckschichtbildungsprozeß wurde mit dem Ansatz von GÜNTER als zusätzliche Transportkurve berücksichtigt. Als Abflußdauerlinie wurde eine Auswertung von Tagesmittelwerten des Pegels Burghausen (Jahresreihe 1901/95) unter Einbezug von Extremereignissen (Hochwässer von 1899 und 1959) verwendet (s. Abb. 102). Die Abflußaufteilung zwischen Salzach und Vorland wurde pauschal mit der Kappung der Abflußdauerlinie bei 2500 m^3/s berücksichtigt (d.h. Abflußspitzen > 2500 m^3/s fließen nur über die Vorländer).

In den Bemessungsdiagrammen wurden die Bandbreiten der Geschiebeszenarien aus [29], Seite 83, durch 5 GTK (40.000, 60.000, 80.000, 100.000 und 150.000 m^3/a) berücksichtigt. Die dargestellte Bandbreite des Gefälles liegt zwischen 0,4 und 1,6 ‰, diejenige der Sohlbreiten zwischen 50 und 350 m. Damit ist der Planungsbereich der Varianten mit maximal 200 bis 250 m abgedeckt. Die fetten, durchgezogenen Linien zeigen die GTK für die Kornzusammensetzung der Grundschicht. Die Deckschichtbildung wurde für jede GTK zusätzlich als gestrichelte Linie dargestellt. Für die GTK 40.000 m^3/a wurden zudem noch Transportkurven für die Kornzusammensetzung im Bereich der Mäander (Kreise) und der Bandbreite dieser Kornzusammensetzung (Kreuze) dargestellt, jedoch ohne zusätzliche Linien für eine Deckschichtbildung. Zur besseren Ablesbarkeit wurde der Ist-Zustand und der Planungsbereich der WRS-Varianten 2/3 bzw. 2/4 eingerahmt, s. Abb. 109. Im Beispiel von Abb. 109 bewegt sich die GTK im Ist-Zustand zwischen minimal 60.000 m^3/a (vollentwickelte Deckschicht) und maximal 100.000 m^3/a (Grundschicht ohne Deckschichtbildung). Für das Geschiebeszenario A mit 40.000 m^3/a und 140 m Breite können ca. 0,94 ‰ Gefälle abgelesen werden. In diesem Beispiel fällt die Transportkurve 40.000 m^3/a mit der „groben“ Grenze der Kornzusammensetzung im Bereich der Mäander zusammen. Mit dem erwarteten Mittelwert der Kornzusammensetzung reduziert sich das Gefälle erheblich auf ca. 0,75 ‰. Für die Bemessung von Lö-

sungsvarianten wurde die Deckschichtbildung nicht angesetzt (Sicherheitsreserve der Planung).

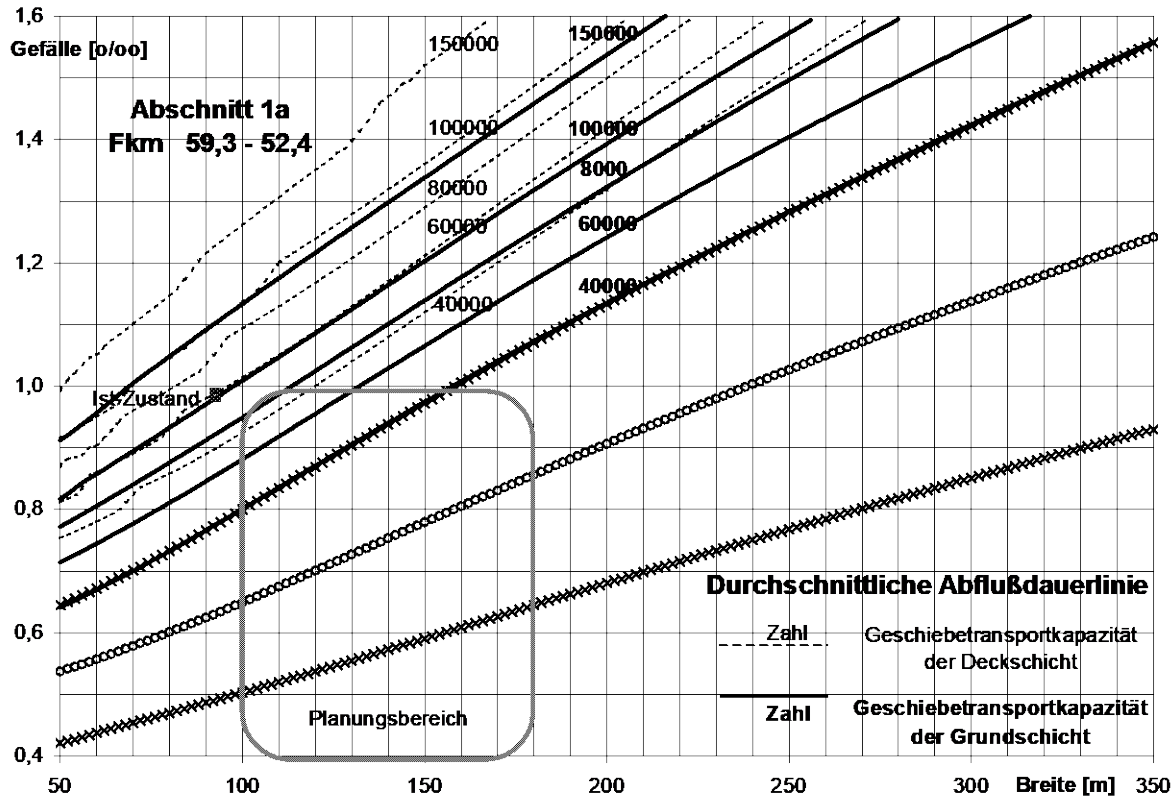


Abbildung 109: Beispiel eines Bemessungsdiagramms, durchschnittliche Abflußdauerlinie

Ein weiterer Parameter, der erhebliche Streubreiten bei der Berechnung der GTK verursacht, ist die Abflußdauerlinie. Hinsichtlich kritischer Zwischenzustände sind besonders nasse Abflußperioden von großer Bedeutung, weil hier zu erwarten ist, daß in den Zulaufstrecken nicht soviel Geschiebe mobilisiert werden kann, wie zur Absättigung der Transportleistung erforderlich ist. Als Bemessungsgrundlage der Variantenplanung hinsichtlich Gefälle und Sohlbreite ist die maximale Abflußdauerlinie aber nicht geeignet, da derartige Zwischenzustände primär durch den Sohlspeicher und/oder Seitenerosion abgepuffert werden.

Zur Abschätzung welche kurzzeitigen Geschiebedefizite entstehen könnten, wurden daher weitere Bemessungsdiagramme mit einer maximalen Abflußdauerlinie entwickelt. Als Abflußdauerlinie wurde eine Kombination der Abflußjahre 1959 (Hochwasserspitze im August) und 1965 (abflußreichstes Jahr) verwendet. Abb. 110 zeigt die 5 Geschiebeszenarien einschließlich der Deckschichtbildung. Auf die Darstellung der Kornzusammensetzung in den Mäanderstrecken für 40.000 m^3/a wurde verzichtet.

Im Beispiel von Abb. 110 sind die Linienbündel gegenüber Abb. 109 deutlich „nach unten“ verschoben. Für das Geschiebeszenario A mit 40.000 m^3/a und 140 m Breite können ca. 0,65 ‰ Gefälle abgelesen werden, also rd. 0,3 ‰ weniger als bei der durchschnittlichen Abflußdauerlinie. Um die bei durchschnittlichen Abflußverhältnissen entsprechenden 0,94 ‰ auch bei extremen Abflußverhältnissen zu halten, müßten ca. 180.000 m^3/a Geschiebeeintrag vorhanden sein oder minimal ca. 105.000 m^3/a bei einer voll entwickelten Deckschicht. Eine Deckschichtbildung wird aber während abflußreicher Perioden laufend zerstört und kann daher nicht angesetzt werden.

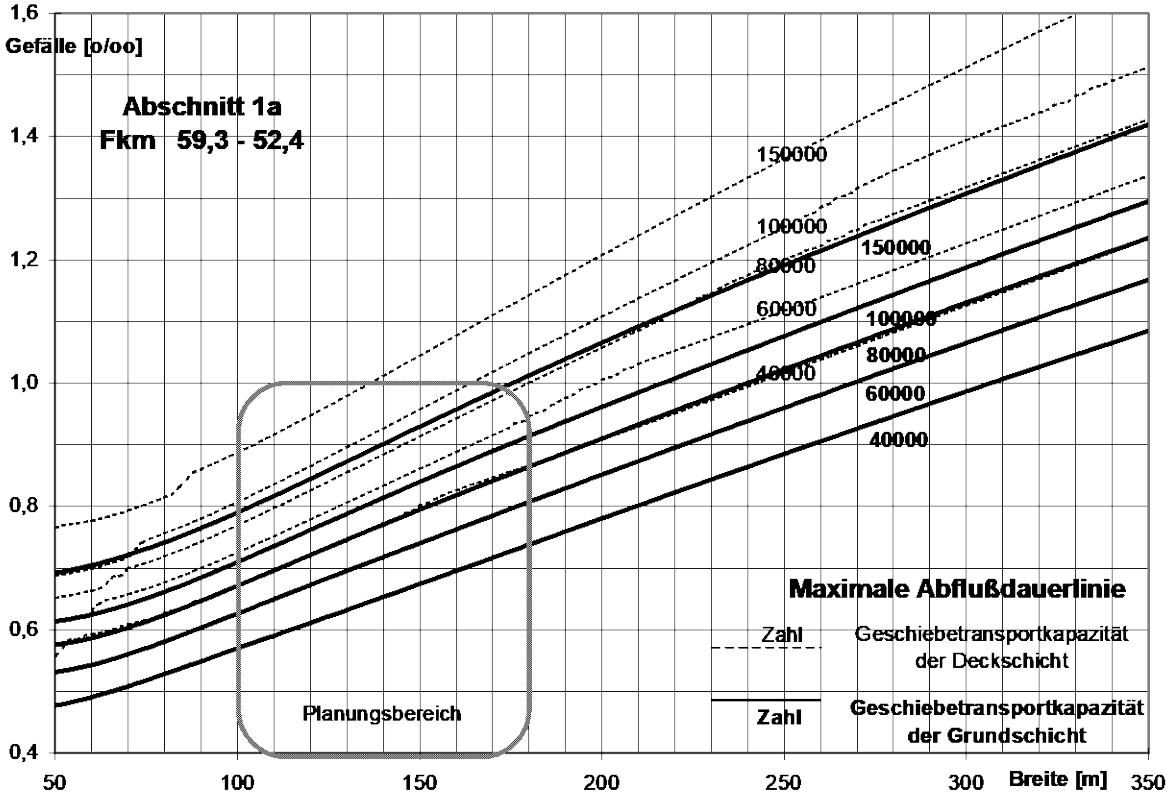


Abbildung 110: Beispiel eines Bemessungsdiagramms, maximale Abflußdauerlinie

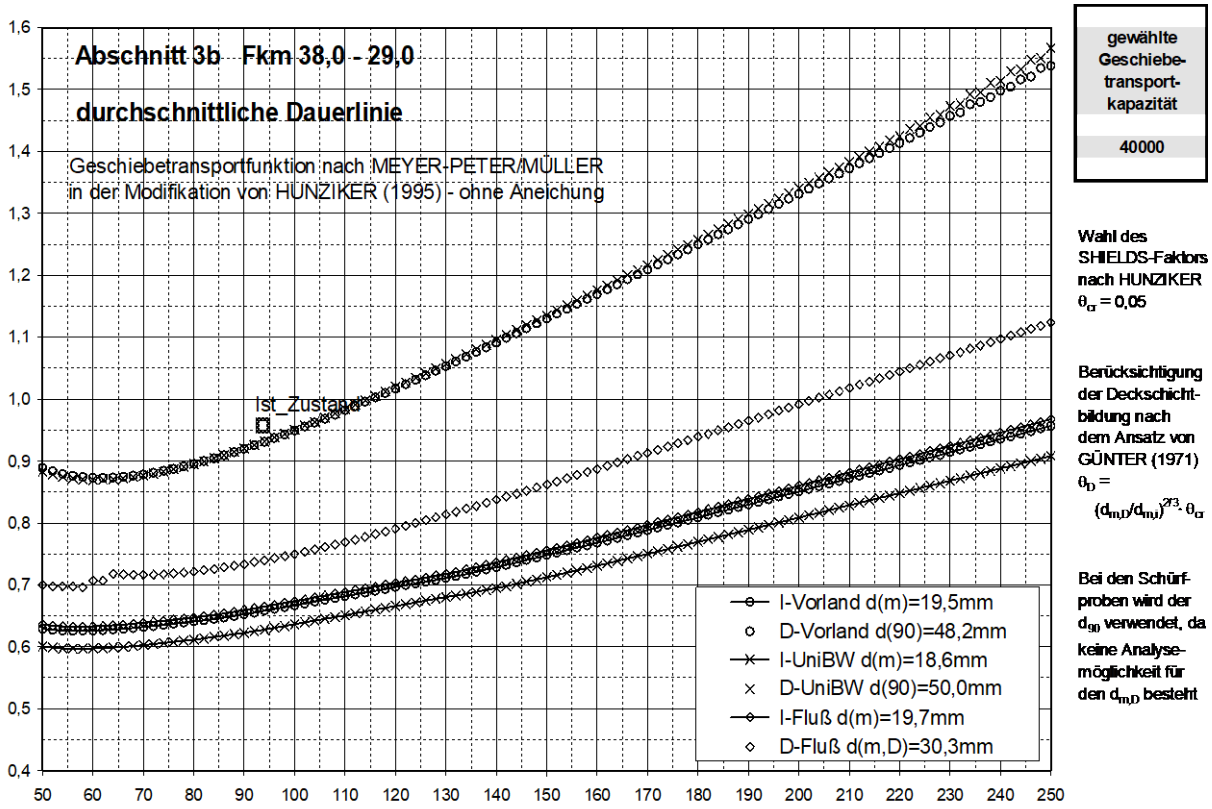


Abbildung 111: Bemessungsdiagramm für GTK = 40000 m³/a, durchschnittliche Abflußdauerlinie

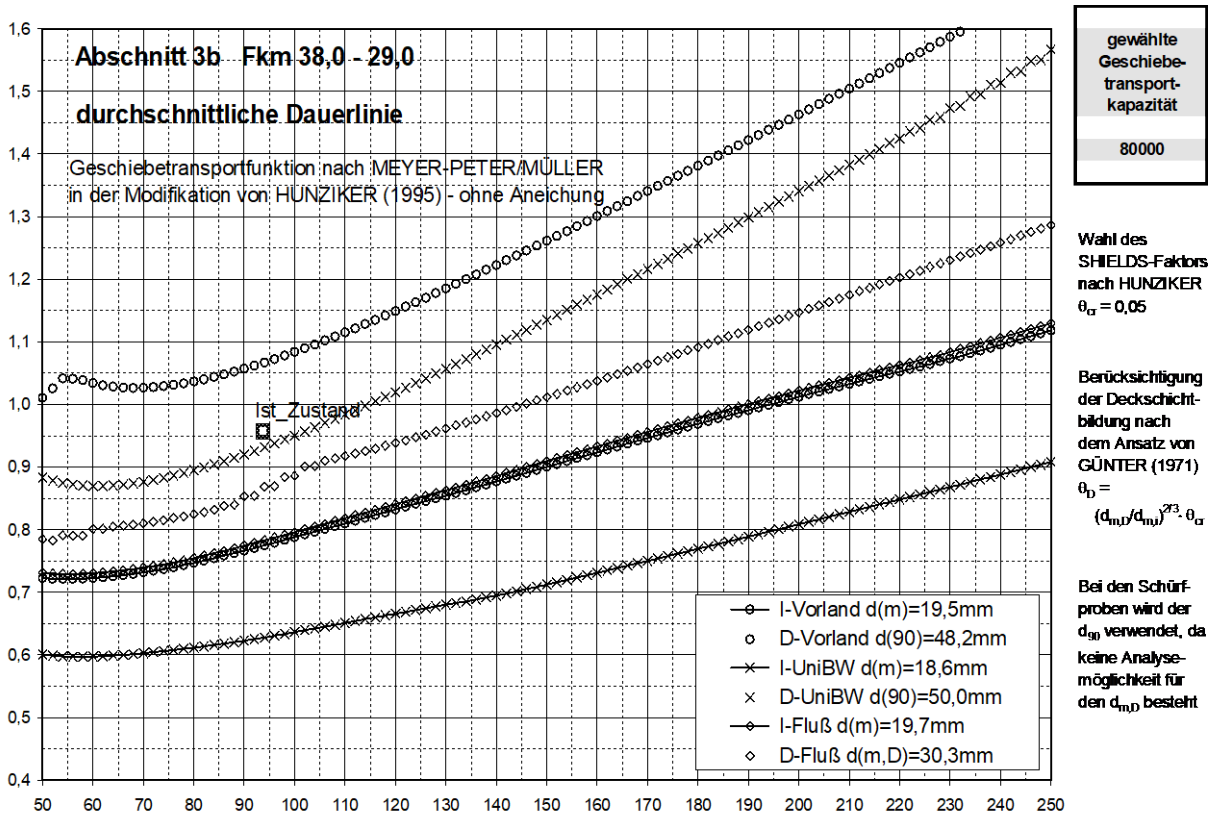


Abbildung 112: Bemessungsdiagramm für GTK = 80000 m³/a, durchschnittliche Abflußdauerlinie

Bei der Erstellung der Bemessungsdiagramme Anfang 1996 stand die Geschiebetransportformel **MP-H**

noch nicht zur Verfügung. Im Zuge der weiteren Bearbeitung wurde im Frühjahr 1998 vereinbart, diese Formel ohne Aneichung mit $\theta_C = 0{,}050$ zu verwenden. Es wurden nur für die durchschnittliche Dauerlinie Bemessungsdiagramme erstellt. Inzwischen hatten Ergebnisse der Geschiebetransportmodelle die Bandbreite der Geschiebeszenarien reduziert, dafür hatte sich die Unschärfe hinsichtlich der künftig zu erwartenden Kornzusammensetzung vergrößert.

Mit den Bemessungsdiagrammen wurde nun die Möglichkeit geschaffen, eine GTK vorzugeben und für diese GTK mehrere Kornverteilungen aus den berechneten „Werteteppichen" automatisch auszulesen. Abb. 111 zeigt beispielhaft, wie eng die minimalen Transportlinien in der d_m-Bandbreite 18,6 bis 19,7 mm beisammen liegen, gleiches gilt für die maximalen Transportlinien mit 48,2 und 50,0 mm. Abb. 112 zeigt die Transportlinien für die doppelt so große GTK (80.000 statt 40.000 m^3/a).

5.11.6 Ausblick

Das vorgestellte Konzept der Geschiebeberechnung hat sich als zielführend und in der angewandten Form (Bemessungsdiagramme für die Vorbemessung) als ausreichend erwiesen. Im Laufe von rd. 6 Jahren konnten jedoch Erfahrungen mit der vorgestellten tabellarischen Berechnung und der darauf aufbauenden Bemessungsdiagramme gesammelt werden, die weitere Verbesserungen wünschenswert erscheinen lassen. Nur in Ausnahmefällen stehen zwei Geschiebetransportmodelle zur Verfügung, welche die Ergebnisse einer einfachen Geschiebeberechnung und darauf aufbauender Vorbemessung ggf. korrigieren können.

Anlage 24.56 enthält einen Vergleich der Ergebnisse der Geschiebetransportmodelle SEDICOUP und MORMO aus der Kalibrierung, Kalenderjahre 1978/94, am oberen (Fkm 59,3) und unteren Modellrand (Fkm 6,5). Zwischen Abfluß und GTK ist ein eindeutiger Zusammenhang gegeben, zwischen d_m und Abfluß bzw. d_m und GTK dagegen nicht. Somit kann eine nicht zu umgehende Vereinfachung der Geschiebeberechnung (d_m über Abfluß und GTK konstant) näherungsweise als erfüllt angesehen werden.

Das Berechnungskonzept mit Annahme einer ebenen Sohle tendiert eher zu geringeren Transportraten, außerdem wird der Bewegungsbeginn i.d.R. bei zu großen Abflüssen angesetzt. Insofern war es gerechtfertigt, den Bewegungsbeginn zu modifizieren bzw. die Abflußdauerlinien für seltenere Abflüsse < 1 d/a genauer zu analysieren und zu berücksichtigen.

Die Berechnungsannahmen und -grundsätze sollten bei einem Formelvergleich einheitlich auf alle Formeln angewandt werden. Hierzu zählen die Berücksichtigung des Wandeinflusses (mehrere Näherungslösungen möglich, Berücksichtigung unterschiedlicher Wandrauheiten von Wand und Sohle) und die Auswirkung unterschiedlicher Fließformeln auf die Wassertiefe (wesentliche Eingangsgröße für die sedimentologische Berechnung).

Die Erfassung des Bewegungsbeginnes wäre mit dem maßgeblichen Profil und der Streifenmethode zutreffender möglich gewesen, ZARN weist jedoch darauf hin, daß mit dieser Berechnungsmethode die GTK eher überschätzt wird. Bei der Zugrundelegung eines charakteristischen Profils sollte daher eine Auswertemöglichkeit geschaffen werden, welche die Sohlformen nicht überbetont. Zudem sollte die Möglichkeit geschaffen werden, die Ablußaufteilung zwischen Fluß (Geschiebetransport) und Vorland (kein Geschiebetransport) zu berücksichtigen. Damit könnte den unterschiedlichen Gegebenheiten von Becken- und Durchbruchsstrecken wesentlich besser Rechnung getragen werden.

Die tabellarische Berechung iterierte aus einem gegebenen Abfluß den zugehörigen Wasserstand. Bei der Berechnung der „Werteteppiche“ für die Bemessungsdiagramme entstanden dadurch große Rechenzeiten. Seitdem leistungsfähige Pentium-PC zur Verfügung stehen, reduzierte sich die Rechenzeit je Werteteppich auf erträgliche 6 bis 8 Stunden. Ferner zeigte sich, daß nicht unbedingt der Abfluß vorgegeben werden muß, sondern auch die Wassertiefe vorgegeben werden kann und damit viel Rechenzeit eingespart werden könnte. Dazu müßte der tabellarische Berechnungsablauf aber weitgehend neu geschrieben werden.

Die Erfassung der minimalen GTK (Deckschicht im Grenzzustand) mit dem Ansatz von GÜNTER sollte mit weiteren Ansätzen bzw. für Deckschichten im Zwischenzustand erweitert werden (Ansätze vgl. Anlage 24.52). Ebenso sollten neuere Formeln in den Vergleich aufgenommen werden, ebenso einige bekannte Formeln, die in der Literatur empfohlen werden (z.B. Formel von EINSTEIN für Sand und Feinkies).

Die Abbildungen 109 bis 112 zeigen bei den Deckschicht-Transportlinien ein „Flattern“. Als Hauptursache kommt die Verwendung von zu wenigen Stützstellen bei der Überlagerung von Geschiebetrieb und Abflußdauerlinie in Betracht (2 bis 4 Abflüsse der 8 Stützstellen der Abflußberechnung fallen bei Berücksichtigung der Deckschichtbildung weg). Durch die angewandte lineare Interpolation bei der Überlagerung von Geschiebetrieb und Abflußdauerlinie und der ebenfalls linearen Interpolation von Transportlinien aus dem „Werteteppich“ kommt es zu dem erwähnten „Flattern“ des Kurvenverlaufes. Aus Zeitmangel konnte bisher kein systematischer Vergleich von tabellarischer Berechnung und Ergebnissen der Geschiebetransportsimulation durchgeführt werden. Evt. lassen sich bessere Kriterien für die Formelaneichung und Formelauswahl ableiten.

5.12 Geschiebeentnahmen, Geschiebezugaben und Frachten

In 5.12 wird der Geschiebehaushalt der Unteren Salzach nach den drei Hauptbereichen Saalach (5.12.1), Salzach oberhalb der Saalachmündung (5.12.2) und Salzach unterhalb der Saalachmündung (5.12.3) behandelt. Die Geschiebeentnahmen, -zugaben und die Ergebnisse von unterschiedlichen Berechnungsmethoden zur Geschiebefracht werden dargestellt (Übersichten zur Geschiebefacht vgl. Anlagen 24.60 bis 24.62).

5.12.1 Saalach

Eine Übersicht zu den ermittelten Geschiebefrachten der Saalach enthält Anlage 24.60

5.12.1.1 Natürliche Geschiebefracht oberhalb der Talsperre Kibling (Fkm 22,0)

Der natürliche Geschiebetransport der Saalach wird seit 1913 an der Stauwurzel der Talsperre Kibling unterbrochen. Die Talsperre verlandete in den ersten beiden Jahrzehnten rasch. Spülversuche konnten die Geschiebetrift nicht gewährleisten und belasteten die Gewässerökologie bei ungünstigen Abflußbedingungen erheblich. Um den Betrieb aufrecht erhalten zu können wurde ein geringfügiger Höherstau zugelassen und im Stauwurzelbereich eine Geschiebeentnahme des zulaufenden Materials eingerichtet, s. Abb. 113

Abbildung 113: Geschiebeentnahme oberhalb des Saalachsees bei Fkm 22,0

Aus den jährlichen Meldungen über die ständigen Kiesentnahmen des Baggerunternehmers bei Fkm 22,0 kann die mittlere jährliche Geschiebefracht der Saalach bestimmt werden. Aus der Entnahmestatistik für die Jahresreihe 1960/81 kann eine mittlere jährliche Kiesentnahme von rd. 102.000 m^3 errechnet werden.

Seit 1982 fällt in Abb. 114 ein starker Rückgang der Entnahmemenge auf. Das Mittel 1982/94 sinkt auf rd. 51.000 m³/a. Der Mittelwert im Erhebungszeitraum 1960/97 beträgt rd. 83.000 m³/a. Da in Zeiten der Hochkonjunktur aber offenbar mehr entnommen wurde als an Geschiebe zulief (Vorratsbaggerung), ist die mittlere jährliche Geschiebefracht niedriger anzusetzen, sie wird in der Größenordnung des Mittelwertes auf rd. 80.000 m³/a geschätzt. Dieses Ergebnis liegt in der gleichen Größenordnung wie die 1939 von ERTL [121] genannten Werte, die aus Querschnittsaufnahmen im Stauraum und Bohrungen gewonnen wurden. Er gab folgende mittlere Jahresfrachten an:

Mittlere Jahresgeschiebefrachten der Saalach, nach [121]			Tabelle 27
Jahresreihe	1914/27	1928/36	1914/36
Fracht	85.000 m³/a	63.000 m³/a	82.000 m³/a

5.12.1.2 Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling (Fkm 20,7)

Während man bei Beginn der Geschiebezugabe an der Saalach aufgrund der Entnahmestatistik von einer mittleren Jahresgeschiebefracht in Höhe von 80.000 bis 90.000 m³ ausging, ist diese seit Beginn der 80er Jahre niedriger anzusetzen in der Größenordnung von 50.000 m³/a [46]. Die Mittelwertbildung in Abb. 114 bezieht sich auf die Versuchsphase der Zugabe im Zeitraum 1985/98 (rd. 19.000 m³/a). Seit 1999 erfolgt eine Geschiebezugabe von 50.000 m³/a, die oberhalb der Schrapperanlage bei Fkm 23,1 entnommen wird, zuzüglich einer Stauraumspülung von 10.000 m³/a.

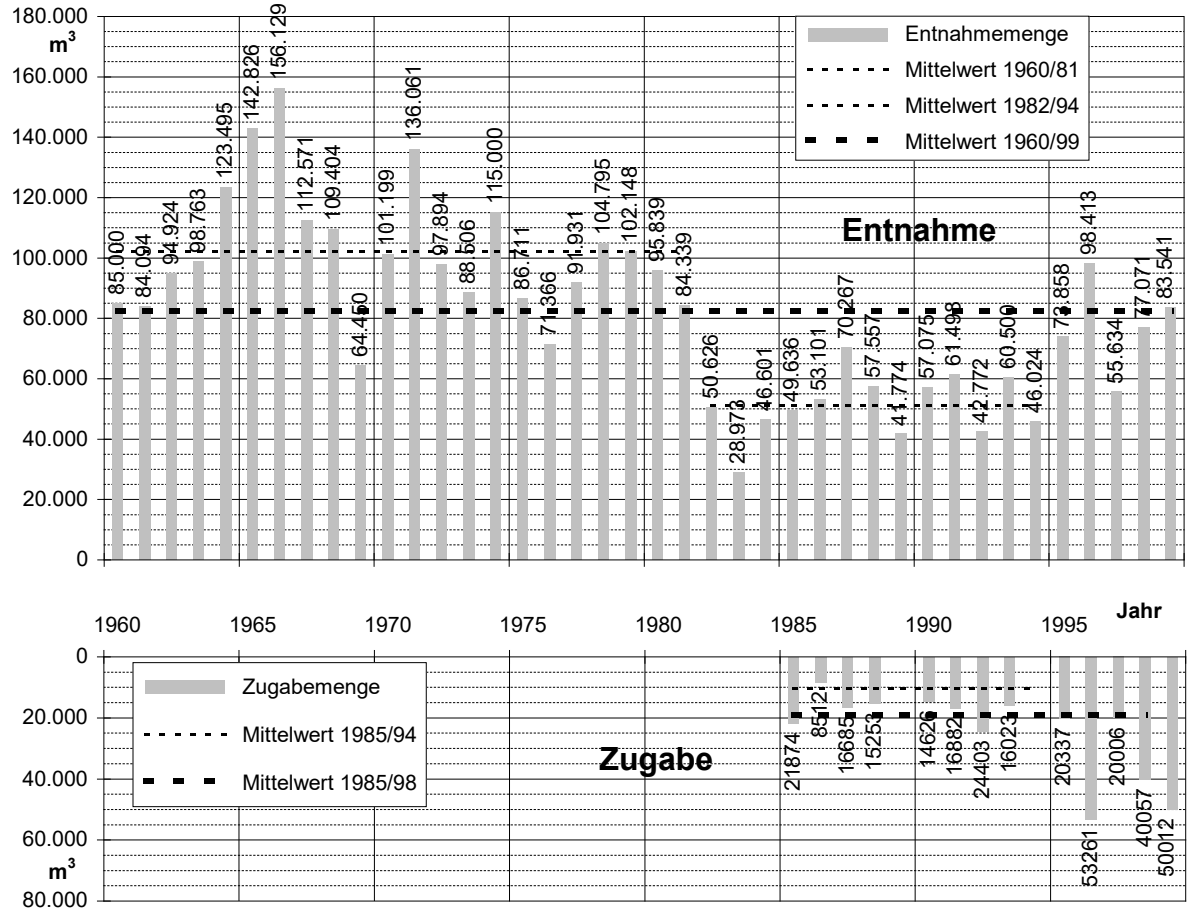


Abbildung 114: Jährliche Geschiebeentnahmen bei Fkm 22,0 und -zugaben bei Fkm 20,7

Seit 1985 wurden im Unterwasser der Talsperre zunächst punktuell im Bereich des Kolksees und dann linienförmig im Bereich des rechten Ufers die bei Fkm 22,0 gewonnenen Kiesmengen zugegeben, lediglich 1992 wurde Aushubmaterial zugegeben, das aus dem historischen Überflutungsbereich der Saalach stammte (Baugrubenaushub Krankenhaus Bad Reichenhall). Dieses Material erwies sich im nachhinein als weniger geeignet (feineres Material, z.T. verbacken).

In den ersten Jahren, als die Fragen der Dosierung, der Deponie und der Wiederaufnahme des Geschiebes, der Durchgängigkeit der Wehranlagen und der Transportweite noch nicht geklärt waren, ging man zunächst versuchsweise von einer Zugabemenge von 10.000 m^3/a aus, die allmählich auf 20.000 m^3/a gesteigert werden sollte. Mit Anordnung des Landratsamts Berchtesgaden-Land vom 06.06.1995, wurde die Deutsche Bahn Energie AG als Betreiberin der Talsperre Kibling verpflichtet, die Zugabemenge auf 60 000 m^3/a zu erhöhen. Es ist beabsichtigt, die seit 1999 einvernehmlich gefundene Lösung der Geschiebezugabe wasserrechtlich zu konkretisieren.

Im Zeitraum 1996/98 wurde nach großtechnisch sinnvollen und wirtschaftlich tragfähigen Umsetzungskonzepten dieser Anordnung gesucht. 1997 wurde erstmals ein Saugbagger eingesetzt, dessen Maximalkornförderung aber auf 60 mm beschränkt war, so daß erhebliche Teile des Grobkorngerüsts, die für eine Sohlstabilität ausschlaggebend sind, nicht eingebracht werden konnten. Nach Einschätzung des WWA Traunstein fehlen i.M. die gröbsten 30 % des dem Saalachsee zulaufenden Geschiebes. Geschiebeproben aus dem bei Fkm 22,0 gewonnenen Zugabematerial erbrachten i.M. einen Anteil von 20 % > 60 mm. Die vom Saugbagger geförderten Feststoffe waren nach Beobachtungen des WWA Traunstein überwiegend sandig und mußten daher als für den Geschiebehaushalt unwirksam angesehen werden. In der Zugabestatistik und Abb. 114 wurde daher das mit Saugbagger geförderte Material der Jahre 1997 (rd. 70.000 m^3) und 1998 (rd. 20.000 m^3) nicht berücksichtigt.

Anfang 1999 wurde zwischen Geschiebeentnahmestelle und Talsperrenbauwerk eine Baustraße geschüttet, auf der das Geschiebe auf das Sperrenbauwerk gefahren, von dort über Kopf abgekippt und der Kolksee weitgehend verfüllt wird. Durch die Stauraumspülung, welche i.d.R. nur Feinmaterial freisetzt, wird eine Weiterverfrachtung der Geschiebemassen in der Ausleitungsstrecke sichergestellt.

Abb. 115 zeigt die Verfüllung des Kolksees im Zeitraum 17.08 bis 29.11.1999 in den Stadien rd. 20.000 m^3 und rd. 50.000 m^3.

Vom 30.01 bis 01.02.2000 wurde die Hochwasserschleuse der Talsperre bei einem Abfluß von rd. 140 m^3/s am Pegel Unterjettenberg geöffnet. Begünstigt wurde die nahezu vollständige Mobilisierung des Geschiebeberges durch ein geringfügiges Überströmen der Staumauer in der Anfangsphase, so daß der Schüttkörper z.T. unter Auftrieb geriet und leicht zu mobilisieren war.

Nach Einschätzung des WWA Traunstein wurde rd. die Hälfte des eingebrachten Materials in der Ausleitungsstecke umgelagert, die andere Hälfte über die Ausleitungsstrecke hinaus weiterverfrachtet. Es ist vorgesehen, die qualitativen Beobachtungen vermessungstechnisch genauer zu erfassen.

Abbildung 115: Geschiebezugabe vom Herbst 1999 in den Stadien ca. 20.000 und 50.000 m^3, Aufnahmen vom 19.10 und 10.11.1999

5.12.1.3 Geschiebefracht zwischen der Talsperre Kibling und der Saalachmündung

Am Hammerauer Wehr, Fkm 9,25 und Zollhauswehr, Fkm 8,05 müssen von Zeit zu Zeit Anlandungen entfernt werden, die vollständig ins Unterwasser eingebracht werden. Das KW Rott/Freilassing hat alle seit Betriebsbeginn ankommenden Geschiebemengen durch Spülungen bewältigen können. Entlang der Saalach wurde in den letzten Jahrzehnten nur vereinzelt in geringen Mengen Geschiebe entnommen, ebenso an einigen der kleineren Seitenzubringer (überwiegend Wildbäche). Diese Entnahmen wurden in den letzten Jahren aber weitgehend eingestellt. I.M. der letzten 10 Jahre wird man von einer Gesamtentnahmemenge < 1.000 m^3/a ausgehen dürfen.

In einem unveröffentlichten Gutachten der früheren Landesstelle für Gewässerkunde (1931) wurde die mittlere jährliche Geschiebefracht (1873/1931) aus dem Abtrag in der Erosionsstrecke (Fkm 9,25-0) zu 22.700 m^3/a berechnet. In der flußmorphologischen Untersuchung der Salzach (Heft 2/80) [86] wurde die mittlere Fracht der Saalach 1913/60 mit 13.000 m^3/a angegeben. Von der WRS wurde 1995 [29] der Geschiebeeintrag der Saalach in die Salzach einschließlich der Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling mit 25.000 bis 30.000 m^3/a (i.M. 28.000 m^3/a) eingeschätzt.

Seit den 30er Jahren dürfte aber die mittlere jährliche Geschiebefracht bereits zurückgegangen sein, da die Kiessohle weitgehend abgetragen wurde und das erodierte Material nicht mehr kiesig ist, sondern der weichen Unterschicht (Sande und Seeton) entstammt und hauptsächlich als Schweb abtransportiert wird. BAUER [95] nennt die Saalach bei Hammerau (ca. Fkm 8,0) als typisches Beispiel für einen Sohldurchschlag, wo 1960 eine maximale Eintiefung von 4,5 m festgestellt wurde. Der gefährdete Bereich mit feinkörnigen Eisrandsedimenten und einer bereits zur Hälfte der Gesamtmächtigkeit durchschnittenen Seetonlinse reicht bis ca. Fkm 5,5. Die großen Hochwässer von 1920 und 1924 gaben Anlaß für eine Aufweitung der Normalbreite auf 50 m, nachdem die Saalach über vier Jahrzehnte hinweg mit viel zu geringer Normalbreite (33,25 m) eingespannt war. Unterhalb des KW Rott/Freilassing hat sich die Saalach ebenfalls fast vollständig in feinkörnige Eisrandsedimente eingetieft. [46], [122].

Die weitere Verfrachtung der Geschiebezugaben im UW der Talsperre Kibling wurde mit einem Tracerversuch (Luminophoren) seit 1985 untersucht, s. 5.6.4. Als Ergebnis ist festzuhalten, daß ein qualitativer Nachweis des Geschiebetransports für Einzelkörner bis zur Stauwurzel der Inn-Staustufe KW Simbach/Braunau, d.h. auf einer Transportlänge von rd. 60 km, gelungen ist. Aus dem massenhaften Fund von angefärbtem Kontrollmaterial nach Umsetzen von Geschiebeanlandungen aus dem Stauraum des Hammerauer Werkswehrs in das Unterwasser im Jahre 1995 und Wiederaufnahme durch ein größeres Hochwasserereignis ist zu schließen, daß das Zugabematerial in den Stauräumen der einzelnen Querbauwerke doch zumindest teilweise sedimentiert und die Salzach erst mit zeitlicher Verzögerung erreicht.

Die Saalach unterhalb des Zollhauswehres (Fkm 8,05) liefert aus Sohlerosion bestenfalls einen geringen Geschiebeeintrag in die Salzach. Aktuelle Ergebnisse der Geschiebetransportsimulation lassen ebenfalls den Schluß zu, daß der Geschiebeeintrag der Saalach in die Salzach mit ca. 10.000 bis 15.000 m^3/a vermutlich nur noch halb so groß ist wie in vergangenen Jahrzehnten.

5.12.2 Salzach oberhalb der Saalachmündung

Eine Übersicht zu den ermittelten Geschiebefrachten enthält Anlage 24.61

5.12.2.1 Geschiebefracht aus der Mittleren Salzach

Von Schwarzach bis Werfen wurden sieben Flußkraftwerke als Kraftwerkskette "Mittlere Salzach" errichtet, deren Konzeption und Betrieb so erfolgt, daß der Geschiebetransport durch die Staustufen weiterhin möglich ist. Ab Werfen überwiegen örtliche Verbauungsmaßnahmen.

Über die Geschiebefracht der Mittleren Salzach flußaufwärts der Salzachöfen liegen keine gesicherten Ergebnisse vor. Aus dem Bericht über die 8. Flußbautagung in Salzburg [34] ist zu entnehmen, daß nach dem Stand 1968 im Salzachabschnitt von Schwarzach (km 133) bis zu den Salzachöfen (km 97) Gleichgewicht bestand und nach Errichtung des Kraftwerks Schwarzach im Jahre 1958 (Ausleitung 65 m^3/s bei km 154,4, Rückgabe bei km 134,95) eine Eintiefungstendenz zu besorgen war, die jedoch bis 1968 nicht merklich eintrat.

Die richtige Konsequenz war seinerzeit eine Untersagung aller Kiesentnahmen im dortigen Bereich. Nach PARTL (1976) werden im Stauraum Schwarzach von der mittleren jährlichen Ablagerung in Höhe von 127.000 m^3 durch Stauraumspülung 120.000 m^3/a wieder abgebaut, so daß lediglich 7.000 m^3/a als bleibende Verlandung anzusetzen sind.

Über die Wehranlage des KW Bischofshofen bei Fkm 119,77 gelangen - zuzüglich Sohlerosion im Unterwasser - grob geschätzt 25.000 m^3/a in das Unterwasser. Der Geschiebeeintrag im folgenden Abschnitt ist gering. Ausnahmen bilden hier nur der Fritzbach bei Fkm 115,20 (geschätzter Geschiebeeintrag 10.000 m^3/a) und der Blühnbach (geschätzter Geschiebeeintrag 8.000 m^3/a). Zwischen Fkm 108 und 97 sind aus Murabgängen im langjährigen Mittel ca. 25.000 m^3/a zu erwarten (Schätzungen aus Flächenabtrag), tatsächlich geschiebeverfügbar für die Salzach dürfte jedoch nur ein kleiner Teil - ca. 10.000 m^3/a - sein [123], [124], [125].

Im Schlußbericht der GUS-Teiluntersuchung 1.2/2.1.1 Flußmorphologische Studie [23] wird im Kapitel 8.1 für den Abschnitt Bischofshofen-Salzachöfen im langjährigen Mittel 100.000 m^3/a als jährliche Geschiebefracht angegeben. Der Wert ist vermutlich zu hoch angesetzt. Aus den o.g. Schätzungen ergibt sich überschlägig rd. die Hälfte des langjährigen Mittels von [23] (rd. 48.000 bis 53.000 m^3/a, [125]).

Anläßlich einer gemeinsamen Bereisung von ASLR, IWB, LfW und WWA Traunstein am 08.07.1999 wurden die verschiedenen Angaben zu den Geschiebeeinträgen nochmals abwägend eingeschätzt mit dem Ergebnis, daß der Geschiebeeintrag aus der Mittleren Salzach eher noch geringer sein dürfte (rd. 33.000 bis 38.000 m^3/a, [126]).

5.12.2.2 Geschiebezugaben zwischen Salzachöfen und Saalachmündung

Geschiebezugaben sind nur in Ausnahmefällen zu verzeichnen.

Im Salzburger Stadtbereich wurden in den Kriegsjahren bis Februar 1944 durch Stollenbauten ca. 70.000 m^3 an Schutt und Gesteinsmassen aus den Bergen herausgesprengt. Ab Mitte 1944 wurden ca. 10.000 m^3 Stollenaushub aus dem Mönchsberg oberhalb der Nonntaler Brücke in die Salzach eingebracht. Weitere 2.000 m^3 wurden zwischen Müllner Steg und Lehener Brücke in in die Salzach geschüttet [127].

Im Stadtbereich Salzburg wurde fallweise geeignetes Überschußmaterial aus Tiefbaumaßnahmen eingebracht, s. Abb. 116. Basierend auf Erhebungen der Jahre 1994 bis 1997 [128] wurde der Kiesanteil mit rd. 8.300 m^3 abgeschätzt (i.M. rd. 2.000 m^3/a). In den letzten Jahren sind diese Einbringungen im Stadtbereich Salzburg zurückgegangen. Einschließlich des unregelmäßigen, i.M jedoch geringen Geschiebeeintrags aus dem Klausbach kann von einem vernachlässigbaren Geschiebeeintrag ausgegangen werden, eine Bandbreite bis rd. 1.500 m^3/a ist jedoch möglich.

Abbildung 116: Zugabe von Tiefbauaushub in die Salzach bei der Hellbrunner Brücke bei Fkm 70,8; Aufnahme vom 11.03.1998

Wie an einigen Querbauwerken der Saalach treten auch am KW Hallein Anlandungen auf, die von Zeit zu Zeit entfernt werden müssen. Seit 1994 wurde dreimal der Bereich des Kraftwerkszulaufes geräumt und das Material unterwasserseitig im rechten Böschungsbereich deponiert (1994, 1997 und 1998 jeweils rd. 12.000 m^3). Das Hochwasser vom Juni 1995 hat die Deponien der ersten Räumung weitgehend abgetragen. Abb. 117, obere Hälfte zeigt den Zustand vom 27.08.1995. 1997 erfolgte eine abermalige Räumung des Einlaufbereiches (vgl. Abb. 121) und Einbringung als Seitendeponie im Unterwasser (Abb. 117, untere Hälfte, Aufnahme vom 07.05.1997). Bis 1999 wurde die Deponie nahezu vollständig erodiert bzw. in die Salzach abgeschoben.

Zur Verbesserung der Geschiebedurchgängigkeit wurde von der SAFE ein Modellversuch an der TU Graz in Auftrag gegeben. Diverse Modifikationen im Einlaufbereich (Leitwerke, Buhnen, Spülöffnung) wurden empfohlen [172] und im Winter 1999/2000 realisiert. Derzeit wird die Wehrbetriebsordnung optimiert, um die Wirksamkeit der baulichen Maßnahmen noch zu steigern.

Abbildung 117: Geschiebedeponie im Unterwasser des KW Hallein; Aufnahmen vom 27.08.1995 und 07.05.1997

5.12.2.3 Geschiebeentnahmen zwischen Salzachöfen und Saalachmündung

Über die oberhalb der Saalachmündung entnommenen Kiesmengen sind nur wenige Daten vorhanden. Der Abschnitt von den Salzachöfen bis zum Wehr der Zellulosefabrik Hallein (km 82,9) befand sich 1968 ebenfalls im Gleichgewicht. Zu diesem Abschnitt liegen Angaben aus der 8. Flußbautagung 1968 [34] und des ASLR vom 27.12.1977 und 13.06.1995 vor. Demnach erfolgten an 3 Stellen größere Geschiebeentnahmen (Angaben in m^3/a), die in Abb. 120 zusammenfassend dargestellt sind:

Fkm 90,0: Anfang der 70er Jahre erfolgte eine Kiesentnahme "im Ausmaß einer Jahresgeschiebefracht" für den Bau der Tauernautobahn. In Abb. 120 wurde für 1969 die Jahresgeschiebefracht mit 80.000 m^3 angeschätzt.

Fkm 85,9:

1950/85	1985/89	1990/94	1995/98
(13.000 m^3/a)	20.000 m^3/a	10.000 m^3/a	8.000 m^3/a

Die Entnahmestelle liegt im Bereich 1,0-1,6 km oberhalb der Tauglmündung und wurde der Salzach mit dem Flußkilometer der Tauglmündung zugerechnet. Seit 1959 erfolgten Geschiebeentnahmen. Die mittleren Entnahmemengen im Zeitraum 1950/85 wurden auf der Basis von Schätzungen in [130] ermittelt und sind unsicher, sie belegen aber eine Größenordnung. Es wurde angenommen, daß im Zeitraum 1950/98 die Sohlerosion im Bereich km 0,97 und 3,35 ausschließlich von den Entnahmen verursacht ist (624.950 m^3), von dieser Kubatur wurden die Bescheidswerte im Zeitraum 1985/98 (182.000 m^3) abgezogen und durch den Zeitraum 35 Jahre geteilt (rd. 13.000 m^3/a). Seit 1999 ist die Entnahme eingestellt. Die Mengenangaben im Zeitraum 1985/98 sind wasserrechtliche Bescheidswerte.

Abb. 118 zeigt links bei der Absiebung liegengebliebenes Grobmaterial, dahinter ist eine Fahrspur zu sehen und ein seichter "Entnahmetümpel". Die Taugl fließt am rechten Außenufer entlang.

Abbildung 118: Kiesentnahme oberhalb der Tauglmündung; Aufnahme vom 24.09.1995

Fkm 85,1-84,7: ab 1960 1976/85 1986/89 1990 1991 1992 1993
ca. 50.000 m^3/a bis 45.000 m^3/a 35.000 m^3/a 28.000 m^3 20.000 m^3 14.000 m^3 7.000 m^3

Der Entnahmebereich liegt oberhalb des Stauwurzelbereiches der 1891 errichteten Wehranlage der Halleiner Zellulosefabrik und wurde 1994 eingestellt.

Da Stauraumspülungen bis Mai 1995 in befriedigender Weise nicht möglich waren, wurde diese Dauerentnahme von österreichischer Seite als eigentlich notwendige Stauraumbaggerung bezeichnet. Sie war zur Zeit der Geschiebetriebmessungen 1964/1965 bereits einige Jahre im Gange. Die Mengenangaben sind wasserrechtliche Bescheidswerte.

Abbildung 119: Kiesentnahme bei Fkm 85,1 – 84,7; Aufnahme vom 27.08.1995

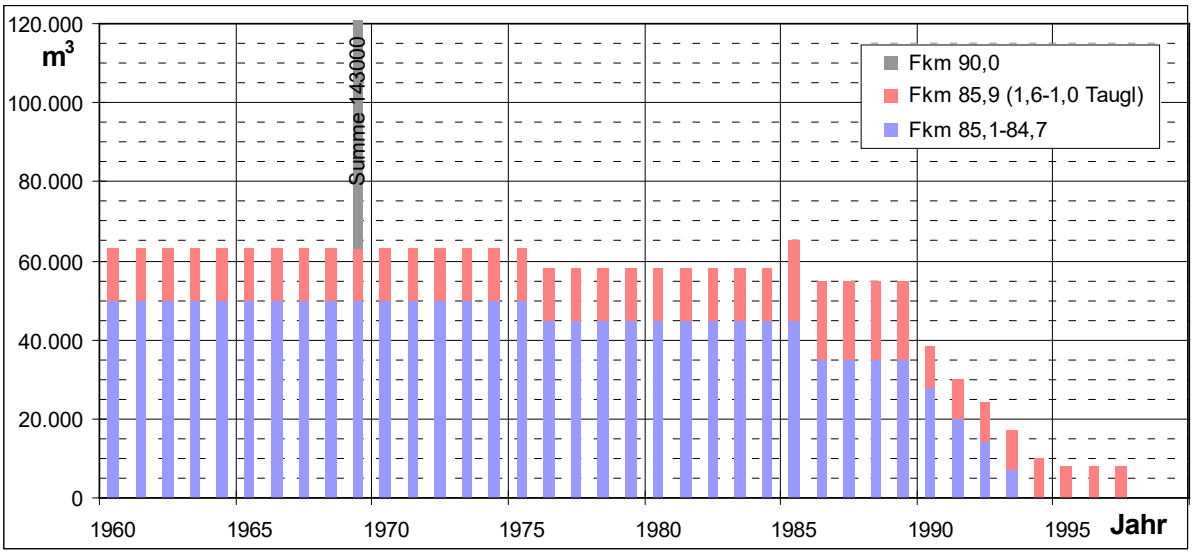


Abbildung 120: Jährliche Geschiebeentnahmen zwischen Salzachöfen und Hallein, Fkm 90,0 bis 84,7

5.12.2.4 Geschiebefracht zwischen Salzachöfen und Urstein

Im Schlußbericht der GUS-Teiluntersuchung 1.2/2.1.1 Flußmorphologische Studie sind in Kapitel 5.3 die in Ansatz gebrachten Geschiebeeinträge der Zubringer zusammengestellt [34], welche am 04.12.1995 auch Gegenstand einer abschließenden Besprechung mit OGRIS waren. Anläßlich einer gemeinsamen Bereisung von ASLR, IWB, LfW und WWA Traunstein am 08.07.1999 wurden die verschiedenen Angaben zu den Geschiebeeinträgen nochmals abwägend eingeschätzt [126]. Nachfolgend eine tabellarische Zusammenstellung der angesetzten Geschiebeeinträge:

Zusammenstellung der angesetzten mittleren jährlichen Geschiebeeinträge		Tabelle 28
Fkm	Eintrag	Name des Zubringers, Bemerkungen
95,52	25.000 m^3/a	Lammer
94,24	1.000 m^3/a	Torrener Bach
85,90	4.000 m^3/a	Taugl, Bandbreite 3.000 bis 5.000 m^3/a
80,95	1.500 m^3/a	Almbach, Bandbreite 1.000 bis 2.000 m^3/a
75,30	3.000 m^3/a	Königssee Ache, Bandbreite bis 5.000 m^3/a möglich
73 - 65	0 m^3/a	Klausbach inclusive Zugabe aus Tiefbauaushub im Stadtbereich Salzburg, Bandbreite bis 1.500 m^3/a möglich
60,00	0 m^3/a	Fischach, Bandbreite bis 500 m^3/a möglich

Die Lammer ist neben der Saalach als Hauptgeschiebelieferant der Unteren Salzach anzusehen. Ihr Geschiebeeintrag dürfte an den aus der Mittleren Salzach fast heranreichen (Verhältnis Geschiebeeintrag Lammer zur Mittleren Salzach vermutlich in der Größenordnung 2:3).

Der Torrener Bach wurde in seiner mittleren Geschieberelevanz bisher zu hoch eingeschätzt (z.B. 5.000 m^3/a in [23]).

Der Taugl wurde in anderen Studien ein mittleres Geschiebelieferpotenial von 12.000 m^3/a zugeordnet, das nach derzeitiger Einschätzung zutreffend sein dürfte. Allerdings wurde dem Tauglunterlauf in den letzten Jahrzehnten massiv Geschiebe entzogen, so daß sich das Gewässerbett mehrere Meter absenkte. Eintiefungen unterhalb von gesicherten Brückenbauwerken belegen den ausgeprägten Erosionsprozeß. Derzeit erreicht auch nach Einstellung der Geschiebeentnahmen nur eine Restgeschiebefracht die Salzach. Vermutlich wird es einige Jahrzehnte dauern, bis sich der Sohlspeicher des Tauglunterlaufes regeneriert hat und das Geschiebe im vollen Umfang wieder bis zur Salzach transportiert wird.

In einer Abschätzung beziffert LEBESMÜHLBACHER [130] das Schotterdefizit von Fkm 0,0 bis 3,35 im Zeitraum 1950/98 auf 753.350 m^3/a, vgl. Anlage 24.58. Dividiert durch den Zeitraum von 48 Jahren ergibt sich daraus eine mittlere Geschiebefracht von rd. 16.000 m^3/a. Unterstellt man, daß lediglich die Geschiebefracht aus Sohlerosion unterhalb des Entnahmebereiches bisher die Salzach erreicht hat (P_0 bis $P_{9,7}$ in Anlage 24.58), so ergibt sich eine Geschiebefracht von rd. 2.700 m^3/a. Unterstellt man ferner, daß eine kleine Restgeschiebefracht den ehemaligen Entnahmebereich passiert hat, so liegt die angesetzte Geschiebefracht von 4.000 m^3/a in der richtigen Größenordnung.

Auf der Grundlage der bisherigen Kiesentnahmen und in Einschätzung der wesentlichen Geschiebezubringer wurde zunächst von der Annahme ausgegangen, daß die mittlere, jährliche Geschiebefracht der Salzach zwischen Golling und Hallein mit 85.000 bis 100.000 m^3/a anzusetzten ist [29]. Diese ist vermutlich zu hoch gegriffen bzw. nur bei Hochwässern (nicht aber im Mittel) erreichbar [129]. Genauere Angaben zur Geschiebefracht sind derzeit nicht verfügbar.

FLÖGL [31] bemerkt, daß die Sohlkote im Unterwasser des Wehres der Zellulosefabrik Hallein (Fkm 82,88) von 1981 weitgehend mit der Sohlkote des Jahres 1926 übereinstimmt, ferner daß ein Vergleich von Sohllagen von 1954 und 1981 im Rückstauraum des KW Hallein ergeben hat, daß die massiven Eintiefungen der Jahre 1954 und 1959 weitgehend kompensiert wurden und die Sohlstufe vor dem Umbau

zum Kraftwerk ihren Zweck erfüllt hat. Nach den Angaben des ASLR [164] wies der Stauraum der Sohlstufe Hallein bereits 1974 eine fortgeschrittene Verlandung auf, letztere wurde mit einem Volumen von rd. 180.000 m³ als abgeschlossen bezeichnet. Aus den seit November 1991 regelmäßig halbjährlich durchgeführten Profilaufnahmen leitet FLÖGL [31] ab, daß etwa 108.000 bis 168.000 m³/a Sediment (Geschiebe + Schwebstoff) anfallen und der Schwankungsbereich zwischen zwei Spülungen im Stauraum ca. 100.000 m³ bzw. 20 % des Wasservolumens beträgt. Diese Angaben sind aber noch vorläufig, da erst fünf Jahre ausgewertet werden konnten. Die durchschnittlichen Sohlgefälle vom Mai 1992 (1,2 ‰, tiefste Ausräumung) und Oktober 1994 (0,25 ‰, maximale Verlandung) im Stauraum des KW Hallein deuten darauf hin, daß Feinteile einen wesentlichen Anteil an der Sedimentfracht haben. Eine Untersuchung von Sedimentproben aus dem Jahr 1995 (Tab. 29) bestätigt diese Einschätzung:

Untersuchung von Sedimentproben im Stauraum des KW Hallein			Tabelle 29
Entnahmeort	Almbach	vor Einlaufschwelle KW Hallein	nach Einlaufschwelle KW Hallein
Sandanteil < 2 mm	11%	51 bzw. 28 %	67 bzw. 86 %

Wegen der ungünstigen Situierung des Kraftwerkseinlaufes (Innenbogen) kam es im Einlaufbereich des KW Hallein regelmäßig zu Anlandungen, die bisher maschinell beseitigt wurden. Abb. 121 zeigt die Anlandung im Einlaufbereich, die durch die Spülung vom 11.08.1997 nur z.T. beseitigt werden konnte.

Abbildung 121: Anlandung im Einlaufbereich des KW Hallein, Aufnahme vom 11.08.1997

Anläßlich von Revisionsarbeiten an der Wehranlage des KW Hallein im Jahre 1992 zeigte sich, daß die Beschichtung der Wehrklappen Abplatzungen erlitten hatte, s. Abb. 122. Die Abplatzungen sind ein Hinweis, daß grundsätzlich Grobgeschiebe den Stauraum KW Hallein passiert hat. Nach einer vorläufigen Einschätzung dürften kleinere Geschiebemengen anläßlich des Hochwassers vom Juni 1995 den Stauraum

KW Hallein passiert haben. Seinerzeit konnte im Unterwasser des Wehres der Zellulosefabrik Hallein eine mächtige Kiesinsel beobachtet werden, ferner im Ortsbereich Hallein liegengebliebene Kiesnester und gröbere Einzelsteine im Böschungsbereich. Die überwiegende Geschiebemenge wird derzeit wohl in der Sohlstufe Hallein zurückgehalten, wofür einerseits die massiven Eintiefungen im oberen Drittel des Ursteiner Stauraums sprechen, andererseits auch die Anlandungen im Kraftwerkszulauf des KW Hallein sowie die allgemeine Tatsache, daß der Geschiebetrieb wegen des oberhalb befindlichen PWA-Wehrs gegenüber einem ungestauten natürlichen Flußbett erst bei höheren Abflüssen einsetzt, so daß an der Stauwurzel von Urstein keine übermäßigen Geschiebeablagerungen zu erwarten sind, sondern ein Transport durch die Querbauwerkskette PWA Hallein – KW Hallein – KW Urstein.

Abbildung 122: Abplatzungen an den Wehrklappen des KW Hallein, SAFE-Aufnahmen von 1992

Die Verlandungsgrenzen des regelmäßig gespülten Stauraumes des Kraftwerks Urstein (Einstau 1971) bewegen sich nach Angaben von PARTL (zitiert nach [6]) bei einem Stauvolumen von 2.500.000 m^3 zwischen 320.000 m^3 und 970.000 m^3 (13 bis 39 % des Wasservolumens). Nach FLÖGL [31] liegen die häufigsten Sedimentfrachten zwischen 240.000 und 420.000 m^3/a. Aus den seit Mai 1971 regelmäßig halbjährlich durchgeführten Profilaufnahmen können die lebhaften dynamischen Veränderungen im Stauraum gut nachvollzogen werden, s. Abb. 123.

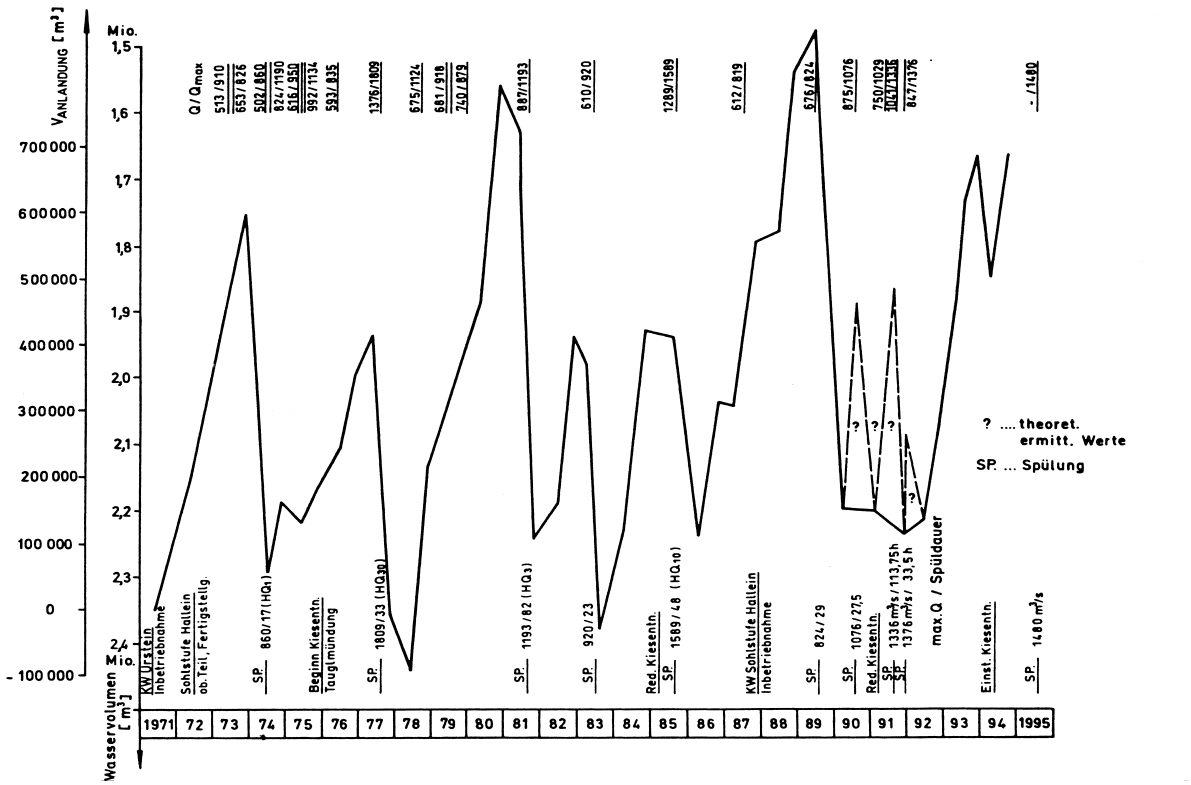


Abbildung 123: Dynamische Sohlveränderungen des Anlandungsvolumens im Stauraum KW Urstein, nach [36]

Die durchschnittlichen Sohlgefälle im Stauraum KW Urstein vom Mai 1978 (1,1 ‰, tiefste Ausräumung) und Oktober 1994 (0,15 ‰, maximale Verlandung) deuten ebenfalls auf den dominanten Anteil der Feinteile an der Sedimentfracht hin. Bestätigt werden diese Werte durch 8 Bohrungen im gesamten Stauraum, in denen nur vereinzelt Geschiebeablagerungen feststellbar waren und die - relativ kurze - Spüldauer von 30 bis 40 Stunden, welche ausreicht, um angelandete Sedimentfrachten effektiv spülen zu können. FLÖGL [31] folgert hieraus: "Die Sedimentdrift im Stauraum Urstein besteht also zum größten Teil aus Feinteilen, die Geschiebetrift ist demgegenüber untergeordnet bis nicht nachweisbar."

Abbildung 124: Anlandungen im Stauraum KW Urstein, Aufnahmen vom 20.02.1990

Abb. 124 vermittelt einen Eindruck der gewaltigen Feststoffanlagerungen, die sich im Stauraum des KW Urstein anlanden können. Die Differenz zwischen Böschungsfuß und Treppelweg beträgt gut 10 m. Am rechten Bildrand ist die Tafel von Fkm 75,4 als kleiner grauer Fleck noch zu erkennen, am linken Bildrand die Autobahnbrücke, welche unmittelbar oberhalb des Kraftwerks liegt. Die Aufnahme entstand anläßlich einer Staulegung am 20.02.1990.

Im unmittelbaren Rückstaubereich des KW Urstein mündet die Königssee Ache. Seit den 70er Jahren landete der breite, rückstaubeeinflußte Mündungsbereich der Königssee Ache vermutlich etwas auf, wie die verzweigten Gewässerstrukturen von Abb. 125 nahelegen. Gut zu erkennen ist der von der Spülung beeinflußte Bereich, der zum Zeitpunkt der Aufnahme allerdings sehr nahe bei der Mündung lag und nicht, wie bei Spülungen mit größerer Wasserführung der Königssee Ache üblich, weiter stromauf.

Abbildung 125: Mündungsbereich der Königsseeache vor der flußbaulichen Umgestaltung, Aufnahme vom 05.02.1985

Um das Schleppvermögen im Mündungsbereich zu erhöhen wurde der Mündungsbereich Ende der 80er Jahre flußbaulich umgestaltet. Abb. 126 verdeutlicht die Konzeption mittels einer Skizze. Die Nummern 4 bis 9 zeigen die ungefähre Profillage der Buhnen, mit denen die Breite reduziert und der Lauf begradigt wurde. Zwischen den Nummern 10 und 33 (unterer Bildrand) wurde eine Rampe eingebaut. Die flußbaulichen Maßnahmen bewirkten, daß Baggerungen bisher nicht erforderlich wurden und eine vollständige Geschiebetrift weitgehend sichergestellt werden konnte.

Abbildung 126: Skizze zur flußbaulichen Umgestaltung der Königssee Ache im Mündungsbereich

MAYRHOFER [30] ermittelte 1962 ausgehend von einer Musterstrecke zwischen Fkm 37,5 und 40,0 mit angenommener Beharrung der Sohle mittlere jährliche Geschiebefrachten für die Salzach zwischen der Landesgrenze bei St. Georgen (Fkm 37,6) und Hallein (Fkm (80,0). Im Ortsbereich Hallein (Fkm 81,5-82,7) konnte keine Musterstrecke gefunden werden. Ausgehend von einer mittleren jährlichen Geschiebefracht von ca. 86.280 m^3 im maßgeblichen Profil der Musterstrecke (Fkm 39,25) berechnete er unter Berücksichtigung:

- des Abriebs (c = 0,0175 km^{-1}),
- der Seitenzubringer Saalach (Annahme: 2.800 m^3/a) und Königssee Ache (Annahme: 3.800 m^3/a) und
- der Sohlerosion aus NW-Fixierungen und Pegelbeobachtungen abzüglich Feinanteil (Schweb)

den Verlauf der Geschiebefrachten von Fkm 39,25 bis Fkm 80,0 (Abb. 127).

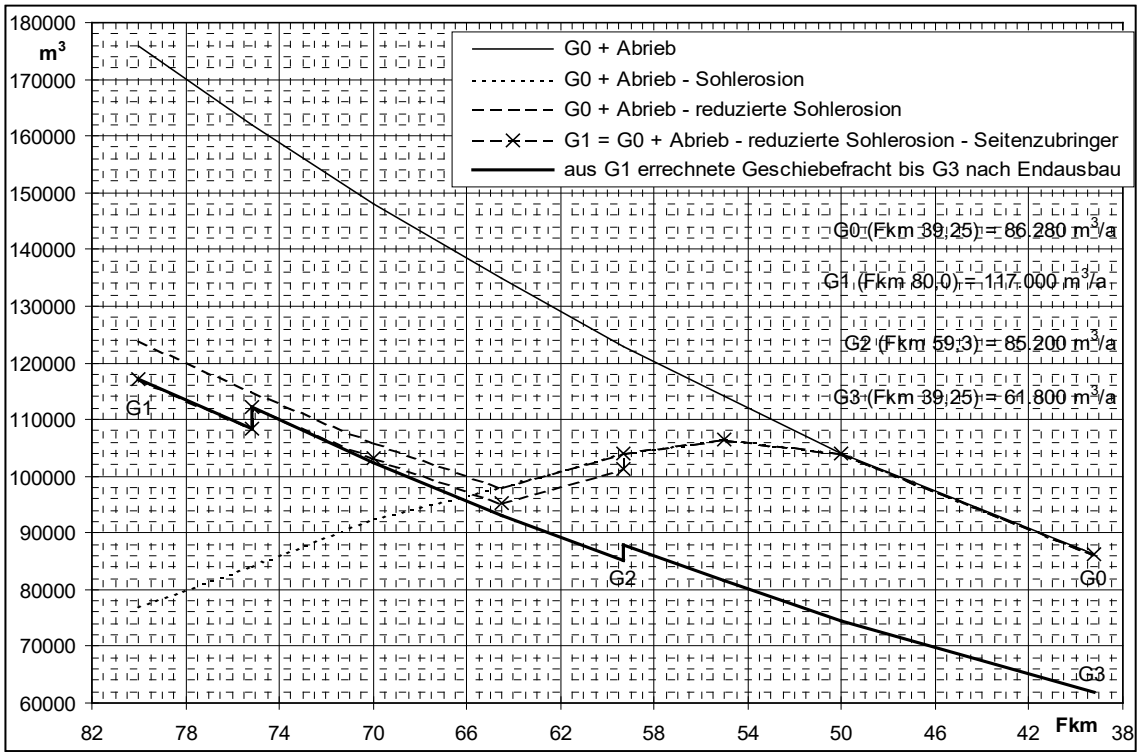


Abbildung 127: Verlauf der Geschiebefracht zwischen Fkm 80,0 und 39,25 nach [30], Beilage 10

Aus heutiger Sicht sind weniger die ermittelten Absolutwerte von Geschiebefrachten (bzw. Geschiebetransportkapazität) von Bedeutung, dazu waren die Datenbasis zu schmal bzw. die angewandte Berechnungsmethodik (Geschiebetransportformel **MP/M**, maßgebendes Profil mit Streifenmethode) nicht ausagekräftig genug, sondern vielmehr die Ausführungen zum tatsächlichen Geschiebeanteil des Sohlerosionsmaterials: "Nach Abzug der gesamten Erosionsmenge von der ursprünglich errechneten Geschiebefracht hätten sich aber zweifellos viel zu kleine Werte für die verbleibende Geschiebefracht ergeben. Während nämlich die Salzach im Bereich unterhalb des Stadtgebietes von Salzburg noch eindeutig im eigenen Alluvionbett fließt und bei Sohlerosion daher Geschiebe der gleichen Größe wie das laufende Geschiebe entnimmt, ist dies oberhalb des Stadtgebiets von Salzburg keineswegs mehr der Fall. In diesem Gebiet sind im Niederwasserbett kaum mehr Schotterbänke zu sehen. Das Flußbett wird dort von Schwemmsand und Schluff gebildet, die von Konglomeratbänken durchzogen werden. Es ist daher keineswegs anzunehmen, daß in diesem Bereich das aus der Sohle erodierte Material die gleiche Zusammensetzung wie das laufende Geschiebe hat. Das dort aus der Sohle erodierte Material ist teilweise so feinkörnig, daß überhaupt nicht angenommen werden kann, daß es als Geschiebe weitertransportiert wird. Dies wird sicherlich bei den Grobteilen der zerriebenen Konglomeratbänke der Fall sein. Die übrigen Feinteile werden aber von der Wasserwoge schwebend fortgetragen werden. ... Für den derzeitigen Stand der Berechnung wurde eine Abschätzung der Verhältnisse auf Grund einer örtlichen Besichtigung vorgenommen. Die Grenze des Alluvionbettes der Salzach wurde bei km 64,5 angenommen, daß nur ein Viertel der aus der Sohle erodierten Menge als Geschiebe weitertransportiert wird, drei Viertel aber vom Wasser unmittelbar schwebend wei-

tergetragen werden. Auf Grund dieser Annahme ergab sich oberhalb km 64,5 von der Erosionsmenge ein bedeutender Abzug."

Aus Beilage 10 von [30] ist ferner ersichtlich, daß für den Abschnitt Fkm 50 bis 39,25 keine Sohlerosion unterstellt wurde, die Sohle also als im Gleichgewichtszustand befindlich eingeschätzt wurde: "Aus der Darstellung in Beilage 10 kann man erkennen, daß der hier abgeschätzte Einfluß (Anmerkung: der Erosionsmenge) auf die Größe der mittleren jährlichen Geschiebefrachten nach Verbauung der Regulierungsstrecke und damit auch auf die Größe des Ausgleichsgefälles groß ist."

MAYRHOFER erachtete auf der Basis damaliger Kenntnisse 1962 kleine Geschiebefrachten als nicht plausibel. Demgegenüber gab OGRIS [23] für die Geschiebefrachten im Bereich Sohlstufe Salzburg/Lehen einschließlich Rückstaubereich PWA Hallein im langjährigen Mittel nur mehr ca. 15.000 m^3/a an. Im Vergleich zu Mittlerer Salzach (Paß Lueg bis Bischofshofen) und der Strecke Sohlstufe Salzburg bis St. Georgen mit ca. 100.000 m^3/a ergab sich mit dem Geschiebeprogramm WAGES im Stauhaltungsbereich rechnerisch eine Reduzierung der Geschiebefracht auf ca. 15 %. Die "Ergänzungsrechnung Salzach 1996" von OGRIS [131] ergab oberhalb des Stauhaltungsbereiches noch geringere Werte (Fkm 85,5: 10.000 m^3/a). Im mathematischen Modell WAGES ist es nicht möglich die Untergrundgeologie zu implementieren, berücksichtigt wurde aber die Kornzusammensetzung des wandernden Geschiebes mit Deckschichtbildung (Zweikornmodell) aus Kiesbankproben.

Die fehlende bzw. unzureichende Kiesüberdeckung einiger Salzachabschnitte entzieht sich derzeit generell einer zutreffenden mathematischen Behandlung in einem Geschiebetransportmodell. Die Einschätzung der Geschiebetrift von FLÖGL [31] aus dem Jahr 1996 wurde bereits zitiert: "Die Sedimenttrift im Stauraum Urstein besteht also zum größten Teil aus Feinteilen, die Geschiebetrift ist demgegenüber untergeordnet bis nicht nachweisbar."

Die Staulegung der drei Kraftwerke zwischen Hallein und Urstein wurde aufeinander abgestimmt:

- PWA Hallein: Staulegung ab 500 m^3/s (seit 1992 neu geregelt)
- Die Stauräume von KW Hallein und KW Urstein werden i.d.R. synchron abgesenkt und zwar ab 600 m^3/s. Bei starken Anlandungen am Pegel Hallein wird bereits ab 450 m^3/s abgesenkt, ferner bei Abflüssen > 450 m^3/s am Pegel Vigaun + Almbach.

Der Bereich Hallein bis Urstein bildet derzeit eine Zäsur für den Geschiebetransport der Unteren Salzach. Dies liegt weniger an der generellen Problematik, ausreichend Geschiebe durch Stauräume zu triften als vielmehr an folgenden Zusammenhängen:

- Dem Sohlspeicher oberhalb von Hallein, der gegenwärtig im Begriff sein dürfte sich zu regenerieren (Kompensation der jahrzehntelangen Geschiebeentnahmen), wodurch derzeit noch
- wenig Geschiebe in die unterhalb liegende Strecke gelangt.
- Zwischen Hallein und Urstein ist keine ausreichende Kiesüberdeckung vorhanden, bzw. fehlt vollständig. Es muß sich erst wieder eine ausreichend mächtige Kiesschicht (Sohlspeicher) aufbauen, bevor ein Weitertransport nennenswerter Geschiebemengen möglich ist.
- Solange nur geringe Mengen von Kies den Stauraum Urstein erreichen, ist ein Einsinken oder Einspülen der gröberen Kiese in den feinen Untergrund denkbar, bevor es überhaupt zum Aufbau einer Kiesauflage kommt. Die Regenerationsfähigkeit einer Flußsohle könnte durch einen solchen Mechanismus nachhaltig gestört sein.

Die vorstehenden Ausführungen sollen verdeutlichen, daß im vorliegenden Fall die Geschiebefracht nicht aus einer Summation von Oberliegerstrecke und Seitenzubringern angenähert werden kann. Nach derzeitigen Erkenntnisstand reicht die Geschiebefracht der Salzach oberhalb Hallein nicht aus, um eine nennenswerte Dotation der Salzach flußabwärts von Urstein zu bewirken. In Abhängigkeit von Hochwasserereignissen kann diese Situation kurzfristigen Änderungen unterworfen sein. In jedem Fall bedürfen die vorliegenden Ergebnisse und Mutmaßungen noch der Verifikation durch weitere Untersuchungen bzw. systematischer Datenerhebung (insbesondere Profilaufnahmen).

5.12.2.5 Geschiebefracht zwischen Urstein und Saalachmündung

Nach Mitteilung des ASLR [164] war bereits 1977 auch der Stauraum der Salzburger Sohlstufe (Fkm 63,95) mit ca. 200.000 m³ verlandet. Größere Sohländerungen waren im unmittelbaren Rückstaubereich seitdem nicht zu verzeichnen (der Pegel Salzburg liegt im Rückstaubereich der Sohlstufe). Die Geschiebetrift über die Sohlstufe Salzburg kann somit als unbeeinflußt angesehen werden.

Nach den Ausführungen MAYRHOFER´s [30] wäre eine Geschiebefracht in der Größenordnung von 112.000 m³/a (Fkm 75,4), 92.000 m³/a (Fkm 64,0) und 85.000 m³/a unmittelbar oberhalb der Saalachmündung zu erwarten.

In der flußmorphologischen Untersuchung der Salzach (Heft 2/80) [6] wurde die Geschiebefracht oberhalb der Saalachmündung mit 63.000 m³/a abgeschätzt. Unter Zugrundelegung einer mittleren jährlichen Eintiefung von 4,9 cm/a ergab sich im Abschnitt Fkm 59,3 bis 64,0 eine mittlere Geschiebefracht aus Sohlerosion von rd. 23.000 m³/a, zu der die über die Sohlstufe Salzburg gelangende mittlere Fracht von rd. 40.000 m³/a hinzuaddiert wurde.

In Tab. 30 sind die von OGRIS [131] in der Ergänzungsrechnung Salzach 1996 ermittelten Frachten für diesen Abschnitt angegeben. Auf die eingeschränkte Verwendbarkeit dieser Berechnungsergebnisse (keine Berücksichtigung der Untergrundgeologie möglich, Ergebnisse gelten nur für den Fall ausreichender Kiesüberdeckung mit entsprechender Kornzusammensetzung) wurde bereits hingewiesen:

Geschiebefrachten der Salzach zwischen Fkm 74 und 60, nach [131]				Tabelle 30
Fkm	74,0	67,3	61,0	60,0
Jahresreihe 1967/92	ca. 28.000 m³/a	ca. 16.000 m³/a	ca. 18.000 m³/a	ca. 65.000 m³/a
Jahresreihe 1977/92	ca. 16.000 m³/a	ca. 6.000 m³/a	ca. 12.000 m³/a	ca. 45.000 m³/a

Vom WWA Traunstein [93] wurde versucht, mit den z.T. lückenhaften Profildaten mit uneinheitlichen Abständen aus dem Zeitraum 1961 bis 1998 eine Massenbilanzierung aufzustellen. Der Anteil aus Geschiebtrift durch den Stauraum Urstein wurde als vernachlässigbar eingeschätzt. Die Massenberechnung mit den Querschnittsaufnahmen 1961/92 ergab für die Erosionsstrecke Fkm 63,95 bis 59,3 einen Abtrag von rd. 17.000 m³/a, diejenige mit den Querschnitten 1985/92 einen Abtrag von rd. 18.000 m³/a. Der Bilanzzeitraum 1992/95 mit Anlandungen von rd. 4.000 m³/a erklärt sich aus flußbaulichen Eingriffen und ist daher nicht verwertbar. Diese Werte entsprechen weitgehend der nochmals überarbeiteten und ergänzten Massenbilanzierung dieser Untersuchung, s. 5.10.2 und Anlage 24.42.

In [93] wurde aus dem Abschnitt Urstein bis Saalachmündung eine Bandbreite der Geschiebefracht von minimal 11.000 m^3/a bis maximal 17.000 m^3/a ermittelt. Diese Jahresfrachten liegen innerhalb der von der WRS im Jahre 1995 geschätzten Bandbreite des Geschiebeinputs von 10.000 bis 20 000 m^3/a [29].

5.12.3 Salzach unterhalb der Saalachmündung

Eine Übersicht zu den ermittelten Geschiebefrachten enthält Anlage 24.62

5.12.3.1 Geschiebefracht aus Saalach und Salzach

Nach MAYRHOFER [30] wäre eine Geschiebefracht von ca. 88.000 m^3/a unmittelbar unterhalb der Saalachmündung zu erwarten.

Die flußmorphologische Untersuchung der Salzach (Heft 2/80) [6] gibt für die Geschiebefracht aus Saalach und Salzach zwei Werte an: Jahresreihe 1953/69 rd. 160.000 m^3/a, Jahresreihe 1969/77 rd. 76.000 m^3/a. Der Rückgang der Geschiebefracht wurde der Ausführung der Sohlstufen oberhalb Salzburg zugeschrieben.

Im Bericht zur Phase I der WRS [29] wurde 1995 mit dem Geschiebeszenario A der derzeitige Geschiebeeintrag in die Salzach unterhalb der Saalachmündung abgeschätzt. Demnach liefert die Salzach derzeit rd. 10.000 bis 20.000 m^3/a, die Saalach liefert einschließlich der Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling 25.000 bis 30.000 m^3/a. Damit ergibt sich eine Bandbreite des Geschiebeeintrags von ca. 25.000 bis 50.000 m^3/a für die Salzach unterhalb der Saalachmündung.

OGRIS [131] ermittelte in der "Ergänzungsrechnung Salzach 1996" mit dem Geschiebeprogramm WAGES bei Fkm 58,8 (erster Berechnungsquerschnitt unterhalb der Saalachmündung) für die Jahresreihe 1967/92 eine Fracht von ca. 64.000 m^3/a und für die Jahresreihe 1977/92 eine Fracht von ca. 66.000 m^3/a. Für den Fkm 58,8 wurden die Eingangswerte für den Berechnungsblock 3 (Fkm 53,8-60,2) verwendet, für den d_m wurde 36,5 mm verwendet, unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung ergab sich ein d_m von 65,9 mm.

Die aktuellen Schätzungen der WRS (Stand 1998), wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits ausgeführt, betragen:

- Saalach an der Mündung in die Salzach (5.12.1.3): ca. 10.000 bis 15.000 m^3/a,
- Salzach oberhalb der Saalachmündung (5.12.1.3): ca. 11.000 bis 17.000 m^3/a,

somit ergibt sich eine Bandbreite des Geschiebeeintrags von ca. 21.000 bis 32.000 m^3/a.

Die seit Anfang 1999 vorliegenden Ergebnisse der Geschiebetransportmodelle SEDICOUP und MORMO lassen wesentlich genauere Rückschlüsse auf den tatsächlichen Geschiebeeintrag zu. Zwar bereiteten fehlende Kenntnisse zum Geschiebeeintrag und dessen Zusammensetzung der Modellierung erhebliche Probleme, jedoch konnte aus den Entnahmemengen im Stauwurzelbereich KW Simbach/Braunau, Sohlveränderungen und Geschiebeentnahmen der Geschiebeeintrag rückgerechnet werden, s. auf d_m bezogene Frachtermittlung der Kalenderjahre 1978/94 (Eichzeitraum) bei Fkm 59,3 in Anlage 24.57. Details können dem WRS-Fachbericht Nr. 5 „Geschiebetransportmodelle“ entnommen werden.

Das Geschiebetransportmodell SEDICOUP hatte gegenüber dem Geschiebetransportmodell MORMO einen zeitlichen Vorlauf. Im März 1997 lag der Abschlußbericht zur Kalibrierungsphase [132] vor. Die Ergebnisse wurden intensiv diskutiert und führten zu weiteren Testrechnungen von SEDICOUP mit verändertem Exposure-Korrection-Faktor, mit dem eine verbesserte Übereinstimmung der bei Fkm 6,6 bis 6,4 entnommenen Kornzusammensetzung erreicht wurde [133]. Bisher nicht erfaßte Geschiebeentnahmen im Bereich Laufen gaben schließlich den letzten Anstoß, die zwischenzeitlich gewonnenen Anwendererfahrungen in eine Nacheichung der Modelle einfließen zu lassen. Seit September 1998 [134] liegen die Berechnungsergebnisse der Nacheichung von SEDICOUP vor, mit MORMO wurden 2 Nacheichungen durchgeführt (September 1998 [135], [136] und Januar 1999 [137], [138]), von denen letztere für weitere Prognoserechungen eingesetzt wurde. In einem Vermerk des WWA Traunstein [139] sind einige wesentliche Aspekte dieser Ergebnisse zusammengefaßt.

Zunächst einige allgemeine und modellspezifische Besonderheiten:

- SEDICOUP verzichtet auf eine Berücksichtigung des Abriebs. In MORMO wird der Abrieb mit dem Sternberg-Koeffizienten 0,001 berücksichtigt. Damit liegt der Abrieb in einer Größenordnung, die eine Vernachlässigung gerechtfertigt erscheinen läßt.
- Die Fraktionen beider Modelle sind identisch, lediglich bei der gröbsten Fraktion wurde die Obergrenze unterschiedlich gewählt (SEDICOUP: 134 mm MORMO: 140 mm), was auf die Berechnungsergebnisse nur geringfügigen Einfluß hat.
- SEDICOUP verwendet für die d_m-Ermittlung geometrische Mittelwerte $(f1 * f2)^{0,5}$, MORMO arithmetische Mittelwerte (f1+f2)/2. Für die Ergebnisdarstellung und Anlage 24.57 wird einheitlich die arithmetische Mittelwertbildung auf der Basis von Jahresfrachten (Kaldenderjahre) verwendet. Bei der vorliegenden Streuung der d_m-Werte ist der geometrisch ermittelte d_m 1 bis 2 mm kleiner als der arithmetisch ermittelte d_m.
- Die Outputreduzierung im Bereich der Alzkanalmündung (Fkm 6,6-6,4) ist in beiden Modellen sehr ähnlich: Feststoffe< 1,4 mm werden nicht berücksichtigt, die Fraktion 1,4 bis 6 mm wird auf 50 % (SEDICOUP) bzw. 41 % (MORMO) reduziert. Nachfolgend wird nur der reduzierte Output dargestellt. Den nicht berücksichtigten Anteilen wird unterstellt, daß sie überwiegend als Schweb durch den Stauraum des KW Simbach/Braunau transportiert werden (rd. 30.000 bis 37.000 m^3/a).
- Nach den jetzt vorliegenden Ergebnissen ist SEDICOUP das „transportfreudigere“ Modell, mit dem tendenziell größere Frachten mit etwas gröberer Kornzusammensetzung transportiert werden. Die Ursachen sind nicht in der Modellkonzeption zu suchen sondern in der Wahl der Eichparameter. Mit den unterschiedlichen Modellen und Modelleinstellungen kann relativ sicher eine zutreffende Bandbreite von Geschiebefracht und -zusammensetzung angegeben werden.

In der Eichperiode der Geschiebetransportmodelle (SEDICOUP: Kalenderjahre 1978 mit 1995, MORMO: 19.09.1977 mit 09.10.1995 = Zeitdifferenz Profilaufnahmen) errechnete SEDICOUP bei Fkm 59,3 einen Frachtmittelwert von rd. 65.000 m^3/a mit einem d_m von 24,0 mm und MORMO einen Frachtmittelwert von rd. 54.000 m^3/a mit einem d_m von 17,5 mm.

Mit beiden Modellen wurden auch Fracht und Zusammensetzung des Geschiebes in den letzten Jahren untersucht. Für die Kalenderjahre 1990 einschließlich 1995 erechnete SEDICOUP bei Fkm 59,3 einen Frachtmittelwert von rd. 44.000 m^3/a [140] mit einem d_m von 24,6 mm und MORMO im Zeitraum 01.01.1994 mit 09.10.1995 einen Frachtmittelwert von rd. 47.000 m^3/a mit einem d_m von 21,1 mm.

5.12.3.2 Geschiebezugaben unterhalb der Saalachmündung

Anläßlich der Bohrkampagnen 1991/93 wurden im Böschungsbereich Rampen geschüttet, auf denen das Bohrgerät zum Einsatz kam (Uferbohrungen). Sozusagen als "baubetriebliches Nebenprodukt" entstand eine Geschiebezugabe, deren Kubaturen in der Größenordnung von einigen hundert m^3 liegen, aber i.S. langjähriger Mittelwertbildungen vernachlässigbar gering sind.

Die Aktionsgemeinschaft "Lebensraum Salzach" veranstaltete am 19.11.1994 eine symbolische Zugabeaktion auf der Laufener Brücke (einige Eimer).

5.12.3.3 Geschiebeentnahmen unterhalb der Saalachmündung

Vor Beginn der systematischen Erfassung der Entnahmen liegen einige Angaben zu größeren Geschiebeentnahmen vor, die von den Mengen her mitunter nicht identisch sind. Einem Bericht des Straßen- und Flußbauamtes Traunstein vom 15.11.1908 zur Regierungsentschließung vom 17.08.1908 betreffend die Wasserbauten in Bayern ist zu entnehmen, daß zwischen Österreich und Bayern 1898 vertraglich vereinbart wurde, „daß jeder der beiden Uferstaaten 450.000 m^3 baggert“. Diese Menge wurde im Zeitraum 1902/09 planmäßig entnommen, von österreichischer Seite sogar 490.000 m^3. Im gleichen Schreiben empfiehlt das Straßen- und Flußbauamt in den noch ausstehenden Verhandlungen mit Österreich die Baggerung von mindestens weiteren 400.000 m^3 zu vereinbaren. Abb. 13 in 5.1.1.3 zeigt eine Geschiebebaggerung um 1910 im Bereich der Tittmoninger Brücke. Nach Unterlagen der Landesstelle für Gewässerkunde (jetzt LfW, Archiv Referat 44) wurde die Salzach bis 1913 „durch Baggerungen von großen Geschiebemengen entlastet“:

Geschiebeentnahmen auf bayerischer Seite im Zeitraum 1896/1913			Tabelle 31
Zeitraum	Von Fkm bis Fkm	Entnahmemenge	Bemerkung
1896/1900	51 – 49	314.000 m^3	
1902/09	45 – 41,5	1.540.000 m^3	
1904/13	29 – 27	161.000 m^3	für HW-Deich Ettenauer Flutmulde
1911/13	52,4 – 51,8	42.000 m^3	für HW-Deich Triebenbach
1912/13	38 – 29	413.000 m^3	für HW-Deich Fridolfing/Tittmoning

Nach Archivunterlagen des WWA Traunstein wurden zum Bau des Triebenbacher HW-Deiches in den Jahren 1921/22 im Bereich 49,55 bis 52,3 weitere 97.000 m^3 der Salzach entnommen. Nach einem Bericht des Straßen- und Flußbauamtes Traunstein vom Juli 1921 wurden bei Laufen zwischen 1896 und 1900 von Bayern 100.000 m^3, von Österreich 145.000 m^3 entnommen, im Zeitraum 1903/09 von Bayern 450.000 m^3 und von Österreich 490.000 m^3. Auswirkungen der enormen Baggermengen (i.M. rd. 137.000 m^3/a im Zeitraum 1896/1913 nach Tab. 31 bzw. rd. 91.000 m^3/a gemäß Bericht aus dem Jahr 1921) traten "erstmals 1906 ausgesprochen in Erscheinung", eine fortschreitende Besserung (Selbsteintiefung) war "in späteren Jahren jedoch nicht zu verzeichnen." Auf bayerischer Seite wurden in dieser Zeit eine Anzahl von unbedeutenden Entnahmen bewilligt. Anlage 24.59 zeigt beispielhaft eine Entnahmebewilligung über 5 m^3 aus dem Jahre 1916.

Die dem WWA Traunstein gemeldeten und erfaßten jährlichen Kiesentnahmemengen wurden - einschließlich der von der Flußbauleitung Braunau/Inn und dem Amt der Salzburger Landesregierung (ASLR) be-

kanntgegebenen österreichischen Entnahmemengen - in einer Kiesentnahmeliste seit 1952 aufgetragen. Sie sind in Anlage 21 für den Zeitraum 1968/96 und Abb. 128 für den Zeitraum 1953/86 dargestellt.

Anläßlich der Fortschreibung von Unterlagen der flußmorphologischen Untersuchung der Salzach [6] wurde vom ASLR eine weitere Kiesentnahme in Höhe von 50 000 m³/a bei Fkm 46,5 für den Zeitraum 1968/81 gemeldet. Weitere Nachforschungen durch das ASLR und die Flußmeisterstelle Laufen ergaben bezüglich der Höhe der Entnahmemenge, daß der von der Firma Hrovat angegebene Wert auch die Kiesentnahme aus einer Grube mit einschließt und somit die Entnahme aus der Salzach daher auf 20.000 bis 25.000 m³/a zu reduzieren war. Weiterhin wurde bekannt, daß die Entnahme nur bei Niedrigwasser bei Fkm 46,5 und in der übrigen Zeit oberhalb am linken Ufer bei Laufen (Fkm 48,0) erfolgte. Diese auf bayerischer Seite von Privaten entnommenen Kiesmengen sind jedoch bereits erfaßt und in [6], Beilage 7 und Seite 25 berücksichtigt (1958/66 i.M. 10.300 m³/a und 1967/76 i.M. 4.100 m³/a). Diese bereits erfaßte Entnahmemenge ist von der vorgenannten Salzach-Entnahmemenge in Höhe von 20 000 m³/a noch abzuziehen, so daß von den ursprünglichen 50 000 m³/a nur noch rd. 13 000 m³/a übrig bleiben. Nach Rücksprache mit dem ASLR ist damit zu rechnen, daß diese zusätzliche Kiesentnahme noch weiter als 1968 zurückreicht. Der Beginn wurde mit 1958 angesetzt.

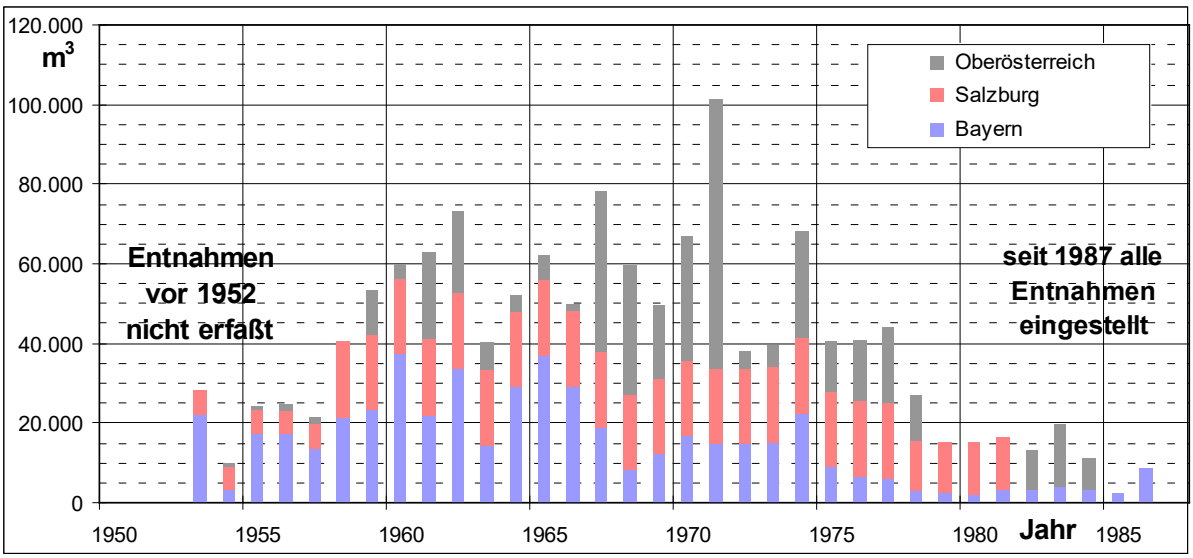


Abbildung 128: Gemeldete jährliche Kiesentnahmen in Oberösterreich, Salzburg und Bayern

Die Mittelwerte der in Abb. 128 gezeigten Entnahmen nach Salzachanrainerländer betragen:

- Oberösterreich 1954/84: rd. 13.000 m³/a,
- Salzburg 1953/81: rd. 16.000 m³/a,
- Bayern 1953/86: rd. 15.000 m³/a und
- alle Uferanrainerländer zusammen 1953/86: rd. 40.000 m³/a,

5.12.3.4 Geschiebefracht der Salzach an der Alzkanalmündung (Fkm 6,5)

Die Geschiebeeinträge der Zubringer (Sur, Götzinger Achen etc.) sind vernachlässigbar gering.

Die Salzach mündet seit 1953 in den Stauwurzelbereich Innstaustufe KW Simbach/Braunau. Das von der Salzach transportierte Geschiebe sedimentiert an der Stauwurzel und muß dort durch Baggerung entnom-

men werden, um die Einhaltung einer "Vertragssohle" zum Zwecke des Hochwasserschutzes zu gewährleisten. Aus den jährlichen Kiesentnahmen, die z.T. als Vorratsbaggerung betrieben werden, kann durch Mittelwertbildung über einen längeren Zeitraum die mittlere jährliche Geschiebefracht der Salzach berechnet werden. Im Zeitraum 1955/77 betrug der Mittelwert rd. 133.000 m³/a, im Zeitraum 1978/99 rd. 84.000 m³/a und im Gesamtzeitraum 1955/99 rd. 109.000 m³/a.

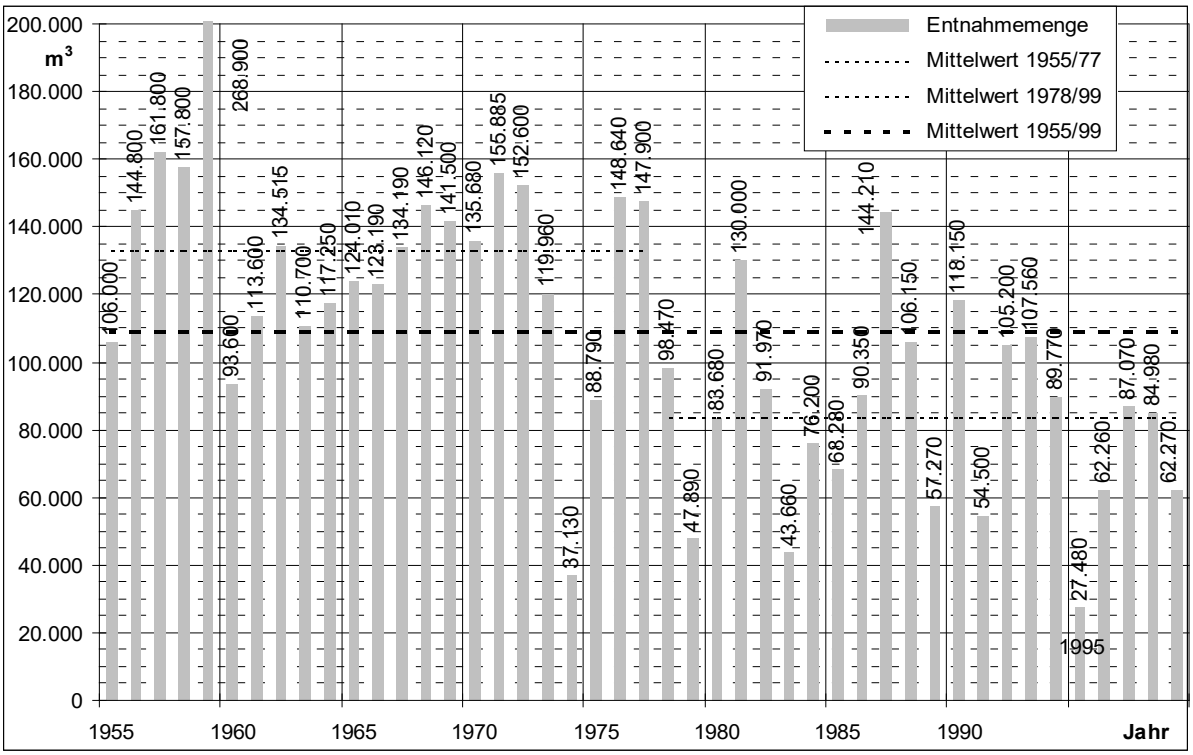


Abbildung 129: Geschiebeentnahmen im Stauwurzelbereich der Innstufe KW Simbach/Braunau

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen für das Alzwerk Holzfeld (Alzstufe IV) betreffend die Auswirkungen des Einstaus durch die Innstufe KW Simbach/Braunau wurde 1952 die Ermittlung der Geschiebefracht der Salzach notwendig [85]. Mit der Geschiebeformel von SCHOKLITSCH berechnete BÖSS mit einem d_{40} von 13 mm und der Dauerlinie 1901/40 eine jährliche Geschiebefracht von 88.000 m³/a [141]. Das Straßen- und Flußbauamt Traunstein ermittelte aus dem Massensummenlinienplan 1939/50 von der Saalachmündung bis zur Stauwurzel (Fkm 6,0) eine Geschiebefracht von 77.500 m³/a, bis zum Inn (Fkm 0,0) 122.500 m³/a [141].

In der flußmorphologischen Untersuchung der Salzach [6] errechnet sich durch Mittelbildung für die Jahresreihe 1953/77 eine Fracht von rd. 122.600 m³/a. Der Mittelwert der anschließenden Zeitreihe 1978/96 geht mit rd. 83.400 m³/a deutlich um rd. ein Drittel zurück, während der Mittelwert über den gesamten Zeitraum 1953/96 bei rd. 105.700 m³/a liegt. Das Geschiebetransportvermögen nach MEYER-PETER wurde 1966 mit d_m = 17 mm zu rd. 320.000 m³/a berechnet. Mit den 1976 entnommenen Geschiebeproben wurde eine Kornvergröberung hauptsächlich unterhalb von Tittmoning festgestellt. Mit einem d_m von 21 mm errechnete sich ein geringeres Geschiebetransportvermögen von rd. 153.000 m³/a.

In der Eichperiode der Geschiebetransportmodelle (SEDICOUP: Kalenderjahre 1978 mit 1995, MORMO: 19.09.1977 mit 09.10.1995 = Zeitdifferenz Profilaufnahmen) errechnete SEDICOUP bei Fkm 6,5 einen

um die Feinkornanteile reduzierten Frachtmittelwert von rd. 90.000 m^3/a mit einem d_m von 21,6 mm und MORMO einen Frachtmittelwert von rd. 85.000 m^3/a mit einem d_m von 17,3 mm. Der entsprechende Mittelwert der Baggerungen im Zeitraum 1978/95 betrug rd. 86.000 m^3/a.

5.13 Sohlstabilität, Sohldurchschlag und Rinnenbildung

Im Folgenden werden Wechselwirkungen, Phänomene und Probleme beschrieben, welche dann relevant werden, wenn bettgestaltende morphodynamische Vorgänge nicht mehr in einer ausreichend mächtigen kiesigen Gewässersohle ablaufen.

5.13.1 Sohlstabilität und Selbststabilisierungsvermögen geschiebeführender Flüsse

Das ASCE Task Committe on Hydraulics, Bank Mechanics and Modelling of River Width Adjustment hat einen lesenswerten Beitrag zum Thema Bettgestaltung und Selbststabilisierung geschiebeführender Flüsse verfaßt [165], dessen wissenschaftliche Betrachtung hier nicht aufgegriffen wird, sondern es wird der Schwerpunkt auf dessen praktische Überlegungen und Ansätze gelegt.

Ausgehend von dem Gedanken, daß die Bettbildung eines Flusses über das Prinzip des minimalen Energieaufwands abläuft, strebt die Natur zunächst beim energetisch am leichtesten zu verändernden Parameter einen Grenzwert an. Nach SCHEUERLEIN [142] können daraus 3 Phasen für das Selbststabilisierungsvermögen von Erosionsstrecken bei gleichbleibender Geschiebezufuhr und Abflußcharakteristik abgeleitet werden, die nicht unbedingt nacheinander sondern meist in unterschiedlich starker Ausprägung nebeneinander ablaufen:

- **Phase 1: $d \Rightarrow d_{max}$** Der Austrag von Feinteilen aus der Sohle führt zur Eintiefung, die Vergröberung der Sohle führt zur Erhöhung des Erosionswiderstandes, das Ereichen eines Grenzwertes d_{max} führt zu einem latenten Erosionszustand.
- **Phase 2: $I \Rightarrow I_{min}$** Bestreben zur Tiefenerosion (Rotationserosion) oder Laufwegverlängerung führt zu Seitenerosion und Mäanderbildung.
- **Phase 3: $Q \Rightarrow \Sigma\Delta Q_{min}$** Die Aufteilung des Abflusses in mehrere Arme führt zur Verzweigung des Flußlaufes. Zu den Besonderheiten eines erodierenden, verzweigten Flusses s. [71], Seite 91f.

WEIß [80] beschreibt die Auswirkungen von Korrektionen und Stauhaltungen auf geschiebeführende Flüsse so: "Durch die Profileinengung und starke Streckung des Gerinnes kam es zu einer Erhöhung der Sohlschubspannung, die vom anstehenden Sohlmaterial nicht mehr aufgenommen werden konnte. Als Folge stellte sich alsbald eine Eintiefung der Flußsohle ein. Dieser ursprünglich sogar beabsichtigte Eintiefungsprozeß setzte sich jedoch über das geplante Maß hinaus fort. ... Eine stabile Flusssohle ist nur dann gewährleistet, wenn der Geschiebezulauf in einem ausgewogenen Verhältnis zum Transportvermögen des Flusses steht. Aber gerade da liegt der wunde Punkt bei Stauanlagen. In den Stauräumen der Wehre und Talsperren kommt der Geschiebetransport bereits an der Stauwurzel fast vollständig zum Erliegen. ... Der Fluß ist also gezwungen zur Auslastung seines Transportvermögens die fehlenden Feststoffe unterhalb der Stauanlage aus dem eigenen Bett wieder aufzunehmen. Da die Ufer durch Längsbauten in der Regel festgelegt sind, kommt die Seitenerosion kaum zur Wirkung. Dagegen kommt die Tiefenerosion um so mehr in Gang. Als Folge des Abtrags der feineren Kornanteile kann dabei eine Abpflasterung oder Sohlpanzerung durch Anreicherung der groben Körner des Bettmaterials entstehen, die dem Angriff der Strömung bis zu

einem gewissen Grad Widerstand zu leisten vermag. Es entsteht ein sog. labiler Gleichgewichtszustand. ... Der Mechanismus der Selbststabilisierung versagt jedoch dann, wenn die alluviale Deckschicht abgeräumt und die weniger erosionsbeständige Unterschicht freigelegt wird. Dieser als "Sohlendurchschlag" bezeichnete Vorgang zieht ein meist sprunghaftes und sich einer Vorhersage entziehendes Tieferschalten der Flußsohle nach sich."

Unter Umständen genügt ein einziges Hochwasser, um ganze Streckenabschnitte zu verändern und völlig neue Verhältnisse zu schaffen (z.B. Salzachabschnitt Hallein bis Salzburg durch das Augusthochwasser von 1959). Das Erosionspotential großer Hochwässer und nasser Abflußperioden sowie die Länge einer Sättigungsstrecke nach ggf. vorhandenen Geschiebedefiziten ist in der Regel eng verknüpft mit dem Geschiebedargebot und dessen Mobilisierbarkeit. Bis Anfang der 60er Jahre vertrat die LfG die Auffassung, daß ein Fluß ca. 30 bis 45 km Lauflänge benötigt, um nach vollständigem Geschieberückhalt sein Geschiebetransportvermögen zu sättigen. BAUER [91] bemerkte, das Hochwasser von 1965 habe zu der neueren Erkenntnis geführt, daß diese Sättigungsstrecke wesentlich kürzer angesetzt werden kann. An Saalach und Wertach wurden ca. 8 km ermittelt, bei der Isar ca. 10 km. Der Inn zwischen Rosenheim und Wasserburg benötigte ebenfalls nur eine relativ kurze Strecke von ca. 15 km.

MAYRHOFER [144] beschrieb exemplarisch den Problemkreis, welchen es an der Unteren Salzach flußbaulich zu lösen gilt. "Wir haben ja an sich bei unseren Alpenflüssen in den weitaus meisten Fällen ... mit Erosionstendenzen zu kämpfen. Dazu kommt noch, daß infolge der ständig fortschreitenden Wildbachverbauungen, der Zusammenfassung verwilderter Flussstrecken in einheitlichen Profilen, der Ausscheidung von Geschiebe in den Stauräumen der Kraftwerke und nicht zuletzt der ständig steigenden Geschiebeentnahmen für kommerzielle Zwecke die Geschiebearmut der Flüsse immer mehr zunimmt, so daß sich das Problem der Sicherung der Flusssohle in Erosionsstrecken in Zukunft immer häufiger und in immer schärferer Form stellen wird."

Hinsichtlich des Selbststabilisierungsvermögens der Salzach ist zu hinterfragen:

a) Ist die Geschiebezufuhr von oberstrom zu gering, kann diese ggf. erhöht werden?
b) Welche Konsequenzen sind bei zu geringer Kiesauflage zu erwarten?
c) Ist die Zusammensetzung des Sohlmaterials zur Deckschichtbildung geeignet (Wechselwirkungen zwischen Untergrundgeologie und Mächtigkeit der Restkiesauflage)?
d) Kann eine Seitenerosion (Aufweitung, mändrierender Gewässerlauf) ermöglicht werden?
e) Ist eine Verbreiterung bzw. Verzweigung in mehrere Arme oder eine Rinnenbildung zu erwarten?

Zu a): Für die derzeitge Gerinnegeometrie der Salzach ist die Geschiebezufuhr erheblich zu gering, eine Erhöhung ist nur mittelfristig aus der Saalach zu erwarten (s. 5.12.1), aber auch diese Erhöhung wird für die derzeitige Gerinnegeometrie nicht ausreichen. 6.3 enthält weitere Aussagen zu Geschiebeherden und Geschiebedefiziten.

Zu b): Als Konsequenzen sind zu erwarten: Gefahr eines Sohldurchschlages, u.U. verbunden mit einer Rinnenbildung. Wie lange an der Salzach die teils noch sehr unterschiedlich mächtigen Kiesreserven einem großflächigen Sohldurchschlag standhalten können, ist vom Erosionspotential künftiger Hochwasserereignisse abhängig, die weder nach Eintrittszeitpunkt noch nach Spitze und Dauer prognostizierbar sind. Ein großflächiger Sohldurchschlag stellt eine Gefährdung von Ufersicherungen und Bauwerken dar und führt zur Absenkung des Grundwasserspiegels im flußnahen Bereich.

Zu c): Generell ist die Zusammensetzung des Salzachgeschiebes zur Deckschichtbildung fähig. Die zu geringe Restkiesauflage verbunden mit dem anhaltenden Erosionsregime hat dazu geführt, daß in Teilbereichen die Kornzusammensetzung des Kiesbankinneren nicht mehr dem Vorlandmaterial bzw. den erbohrten Proben entspricht. Es ist davon auszugehen, daß sich das Material der Kiesbänke infolge des jahrzehntelangen Erosionsregimes vergröbert hat (5.6.1), sofern Kiesbänke noch vorhanden sind (5.7.3). Infolge Sohldurchschlag und Rinnenbildung könnte die Kornzusammensetzung insbesondere des transportierten Materials in derzeit nicht vorhersagbarer Weise verändert werden.

Zu d): Eine Reduzierung der Sohlbeanspruchung durch Aufweitung und Verbesserung des Geschiebehaushalts durch ein Zulassen von Seitenerosion wird eine Verbesserung des gegenwärtigen Zustands bringen, aber auch eine Reihe von derzeit nicht genau vorhersehbaren Problemen aufwerfen. Im Detail wird darauf in 6.4 bis 6.7 eingegangen.

Zu e): In 5.13.6 wird dargelegt, daß nach den derzeit verfügbaren Informationen auch bei der bestehenden Gerinnegeometrie mit Rinnenbildung zu rechnen ist. Allerdings hat die Entwicklung der letzten Jahre im Freilassinger Becken einen günstigeren Verlauf genommen als ursprünglich angenommen. Eine Erklärung könnte der Wechsel der Morphologie von alternierenden Bänken zur ebenen Sohle bieten. Durch die Sohlerosion wurde über Jahrzehnte die Sohlbreite reduziert und die alternierenden Bänke wurden abgetragen (5.7.3 und 5.7.4). Abb. 74 zeigt, wie sich der Talweg gegenüber den Aufnahmen 1953 und 1975 bis 1995 zunehmend vergleichmäßigt hat, dieser Trend hat sich in der Aufnahme 1998 fortgesetzt. Durch das Absinken der mittleren Sohllage und Auszehrung der Restkiesauflage ist allerdings die Gefahr eines Sohldurchschlages angewachsen. In 6.4 bis 6.7 wird auf Aspekte der Rinnenbildung bei den geplanten Aufweitungsmaßnahmen eingegangen.

Für die Bestimmungen der Geschiebetransportkapazität in Flüssen mit Bänken wurde in den 30er Jahren die Methode des maßgebenden Profils und die Streifenmethode entwickelt. Ausführlich beschrieben ist dieses Verfahren z.B. bei LICHTENHAHN, 1963 [150]. Seit den 60er Jahren fand diese Methode weite Verbreitung und große Akzeptanz in der Fachwelt. Mit diesem Konzept wurde versucht, sohlmorphologische Gleichgewichtsstrecken für geschiebeführende Flüsse zu dimensionieren. MAYRHOFER hat damit 1962 versucht, das Ausgleichsgefälle der Salzach im Bereich Hallein bis zur Landesgrenze Salzburg/Oberösterreich zu dimensionieren [30], s. 5.12.2.

Diese Berechnungsmethode kann nach heutigen Erkenntnissen aber nur überschlägig für Dimensionierungszwecke verwendet werden, s. z.B. [151]. Schon früher wurde verschiedentlich angemerkt, daß die transportierte Kornzusammensetzung eine Funktion des Abflusses sei und nicht mit einem konstanten Wert d_m gerechnet werden könne. Die Kalibrierungsergebnisse der Geschiebetransportmodelle Sedicoup und Mormo können diese Vermutung weder bestätigen noch entkräften, vgl. Anlage 24.57. Zu einem anderen wesentlichen Detail dieser Methode, dem maßgebenden Profil, merkt ZARN [71] kritisch an: "Das Verfahren ist nur auf 4 Versuche mit vergleichsweise hohen Abflüssen und auf Naturmessungen am Alpenrhein gestützt, welche auf Grund ihrer speziellen Anordnung aber wenig aussagekräftig sind. ... Die mit dem massgebenden Profil und der Streifenmethode berechneten Transportkapazitäten sind größer als die (Amn.: in Modellversuchen) gemessenen Werte, obwohl der Formwiderstand der Bänke berücksichtigt wurde. Die Abweichungen sind systematisch und auf die Art der Konstruktion des maßgebenden Profils zurückzuführen, nicht aber auf die Streifenmethode an sich oder auf die verwendete Transportformel (Anm.: von MEYER-PETER in der Modifikation von HUNZIKER (1995)). ... Werden bei der Verwendung der Strei-

fenmethode die lokale Abflußtiefe und das mittlere Gefälle der Musterstrecke für die Bestimmung der Transportkapazität verwendet, so wird diese für kleinere und mittlere Abflüsse überschätzt und der Transportbeginn wird für viel zu kleine Abflüsse voraus gesagt. Der Grund ist, dass durch die Art der Konstruktion des massgebenden Profils die Kolke ein zu hohes Gewicht erhalten. ... Mit Annahme einer ebenen Sohle wird die Transportkapazität generell unterschätzt."

Im Zuge der WRS wurden Geschiebeberechnungen zur Beurteilung der Sohlstabilität angestellt, die sich auf die einfachsten Annahmen und Berechnungsmethoden (ebene Sohle) stützten, s. 5.11. Zugleich wurden aber auch numerische und physikalische Planungsinstrumente eingesetzt, um die Aussagegenauigkeit und Prognosesicherheit der Variantenplanung zu steigern. Trotzdem muß festgestellt werden, daß derzeit die Phänomene Sohldurchschlag und Rinnenbildung nicht abschließend geklärt, geschweige denn physikalisch/mathematisch beschreibbar sind. Die modernsten Planungsinstrumente gelangen bei der Behandlung dieser Phänomene derzeit an ihre Grenzen.

5.13.2 Zum Begriff „Erosionsbasis“

In der Gewässermorphologie sind zwei Begriffe für einen längeren Erosionsstopp gebräuchlich: Die aus der Geologie/Geomorphologie entlehnte „Erosionsbasis“ und der mehr technisch gefärbte „Fixpunkt“. LICHTENHAHN [120] beschreibt Fixpunkte als „... Stellen der Flußsohle, deren Höhenlage sich im Laufe der Zeit nicht verändert. Als flußbauliche Fixpunkte können z.B. bezeichnet werden:

- die Mündungsstelle eines Nebenflusses, dessen grobe Ablagerungen im wesentlichen die Sohle des Vorfluters bilden
- eine Felsschwelle
- die Einmündung in einen See
- die Einmündung in das Meer ...“

Die Definition im Geologischen Wörterbuch [166] ist kurz: „Unterhalb des Niveaus, das für die unmittelbar zum Meer gehenden Flüsse durch den Meeresspiegel, für in Seen mündende Flüsse durch den See-Wasserspiegel gegeben ist, kann die Erosion nicht mehr wirken. Dieses Niveau wird daher als Erosionsbasis bezeichnet.“ Eine längere Erklärung gibt das Wörterbuch der Allgemeinen Geographie (Bd. 1, 1984); u.a. wird unterschieden zwischen der absoluten Erosionsbasis, dem Meer (was natürlich wie im Geologischen Wörterbuch auch nur gegenüber der Landoberfläche gilt) und der lokalen Erosionsbasis, wie z.B. die ersten beiden Punkte bei LICHTENHAHN [120].

Im Fluß kann man künstlich feste (Schwelle, Kraftstufe etc.) natürlich feste (Felsschwelle, Bergsturz etc.) und temporäre Erosionsbasen (Änderungen im Sohlspeicher) unterscheiden, wobei die Tatsache, daß letztlich jede Erosionsbasis zeitlich endlich ist, hierbei außer Betracht bleibt.
Für die vorliegenden Untersuchungen sind nur zwei Begriffe wichtig, wobei dem Begriff Erosionsbasis gegenüber dem Fixpunkt der Vorzug gegeben wird:

- Die Erosionsbasis mit normaler, rückschreitender Erosion und Gestaltung des Längsprofils von ihr ausgehend flußaufwärts. Ihre Ursache ist also eine Änderung in der Längsprofilgeometrie, gleich, ob durch natürlich oder künstlich feste Schwellen etc. hervorgerufen.
- Die Sohlspeichererosion; ihre Ursache ist eine Veränderung im Geschiebehaushalt (Umkehrpunkte der Massensummenlinie in Verbindung mit dem Wandern eines Erosionskeiles im Längsschnitt, s. 5.10.3.5), im Sohlmaterial bzw. im Abflußregime einer Laufstrecke. Nur hier ist der Begriff temporäre

Erosionsbasis angebracht, da diese sich im Sohlspeicher tatsächlich entsprechend dem aktuellen Erosionsgeschehen und in aller Regel flußabwärts verschiebt (eine Verschiebung stromauf ist gleichbedeutend mit einer Auffüllung des Sohlspeichers).

Bei einem längerfristigen Erosionsregime wird es zwangsläufig zu einer flußabwärtigen Wanderung der temporären Erosionsbasis kommen, da die Vorräte „nach unten“ abtransportiert werden. Die Wanderung muss keineswegs kontinuierlich erfolgen, sondern geschieht schwankend, entsprechend dem zeitlichen Gang von Geschiebe-Input und Abfluß (Auffüllung und Abtrag des Sohlspeichers). Das gilt auch für Strecken mit grösserer morphologischer Variabilität, wo mehrere Folgen von Erosions- und Auflandungsstrecken existieren und somit auch mehrere temporäre Erosionsbasen hintereinander auftreten können. In [6] ist dieser Begriffsinhalt nur mit „Erosionsbasis“ belegt, s. 5.10.3.5.

5.13.3 Zum Begriff "Sohldurchschlag"

Unter Sohldurchschlag wird allgemein das Freilegen erosionsempfindlicher Schichten verstanden, wenn eine ausreichend mächtige Kiesauflage im Fluß fehlt. Die erste Erwähnung und Beschreibung des Begriffes Sohldurchschlag findet sich 1966 bei BAUER [91]: "Die Sohlenpanzerung - als Ausdruck der latenten Erosion - ist allerdings nur so lange möglich, und das scheint mir eine wesentliche Erkenntnis, als eine genügend mächtige Kiesauflage vorhanden ist. Wird diese geringer als 1,2 bis 1,5 m so kommt sie bei katastrophalen Hochwasserabflüssen im ganzen in Bewegung, wobei die Unterlage, die meist aus Flinz oder Seeton besteht, entweder abgeschürft oder ausgefräst wird. In beiden Fällen kommt es zu den von Direktor Ertl (Anm.: seinerzeit RMD München) als "Sohlendurchschlag" bezeichneten schlagartigen und katastrophalen Eintiefungen."

Im Phase I Bericht der WRS [29] wurden als erosionsempfindliche Bereiche die Seetone bzw. Tertiärschichten mit einer Restkiesauflage < 1,5 m unter der Talwegsohle 1992 bezeichnet. Die dem Quartär zuzurechnenden kiesigen Sande waren nach dieser Definition noch nicht als erosionsempfindlich bezeichnet worden. Zum aktuellen Gefährdungspotential wurde ausgeführt: "Wie lange hier die teils noch sehr unterschiedlich vorhandenen Kiesreserven (Restkiesmächtigkeiten) ausreichen, bis ein grossflächiger Sohldurchschlag in die weiche Seetonunterschicht mit plötzlicher Tiefenerosion ... eintritt, ist vom Erosionspotential zukünftiger Hochwässer abhängig."

Der maßgeblich von bayerischen Fachstellen verwendete Begriff "Sohldurchschlag" beinhaltete anfangs weder eine exakte Definition ist noch eine systematische Begriffsdarstellung, sondern war ein prägnantes Schlagwort für einen aktuell werdenden flußbaulichen Handlungsbedarf. Eine umfassende Systematik zum Sohldurchschlag bietet 5.13.5.

5.13.4 Beispiele zum Sohldurchschlag

Aus den zahlreichen österreichischen Beispielen soll exemplarisch nur die Traun in Oberösterreich gestreift werden. Die Traun tiefte sich zwischen den Fixpunkten Welser Wehr bei km 36,5 und dem Wehr der ESG bei km 8,0 mit zunehmender Tendenz ein, und zwar am Pegel Marchtrenk bei Fkm 22,8 im Zeitraum 1902/45 um rd. 7 cm/a und 1945/65 um rd. 15 cm/a [152]. Die Sohlbreiten lagen 1951 i.M. bei 70 m, im Herbst 1969 dagegen nur noch bei rd. 41 m. Der mitunter frei anstehende sog. Schlier, ein besonders erosionsempfindlicher Ton, der unter Luftzutritt innerhalb weniger Stunden verwittert und zerfällt, stellte

die flußbauliche Sanierung dieser Flußstrecke durch 7 Stützkraftwerke in den 70er Jahren vor enorme Schwierigkeiten.

Schwerpunktmäßig werden in dieser Untersuchung bayerische Beispiele dargestellt, zunächst einige „klassische“ Fälle im süddbayerischen Raum (aktuelle Beispiele, wie die Iller nach dem Jahrhundertereigniss von 1999, werden nicht weiter erwähnt), anschließend im Bereich der Salzach und unmittelbar angrenzender Flüsse.

BAUER [91] und WEIß [143] nennen die Wertach als ein markantes Beispiel für den Sohlendurchschlag. Nach BAUER betrug die Kiesauflage über dem Flinz im Hochwasserjahr 1940 rd. 0,9 m, die größte Eintiefung der Sohle wurde 1964 mit 6,6 m bzw. 660.000 m³ Abtrag und 1965 mit 7,80 m bzw. 200 000 m³ Abtrag festgestellt (Abb. 130).

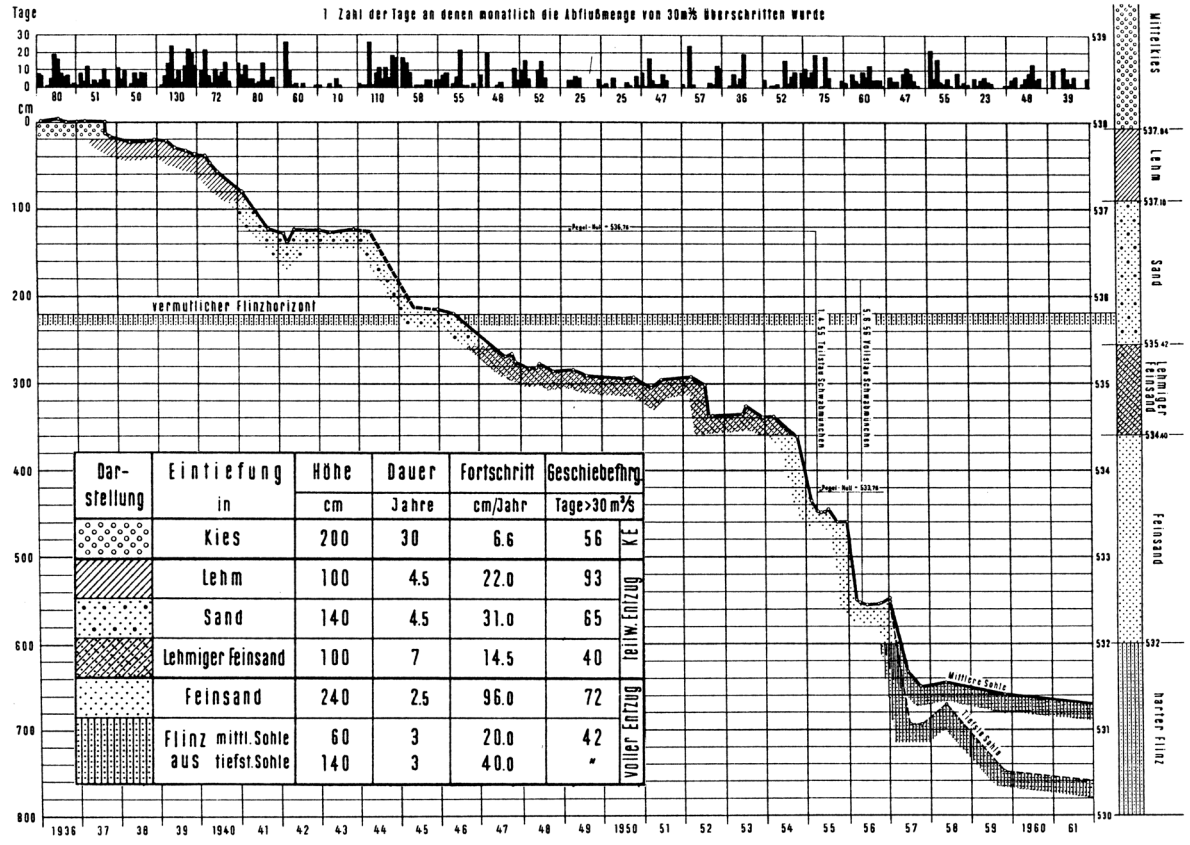


Abbildung 130: Übersicht über die Sohleintiefung der Wertach bei Schwabmünchen (Fkm 28,059), nach [91] verändert

Die Sohlerosion im tiefen und schmalen Wertachgerinne, das durch die Korrektion eine überaus starke Streckung erfuhr, führte 1979 auch zum Einsturz der Strassenbrücke bei Bobingen. Abb. 131 zeigt die Entwicklung der Flußsohleneintiefung bei Fkm 17,0 sowie ein Bild der eingestürzten Brücke. Die rasante Sohleintiefung der Wertach hatte den Bau einer Reihe von Staustufen zur Folge (Fkm/Baujahr): Schwabmünchen 28,3/1956, Grossaitingen 22,2/1971, Bobingen 17,6/1982 und Inningen 13,5/1983.

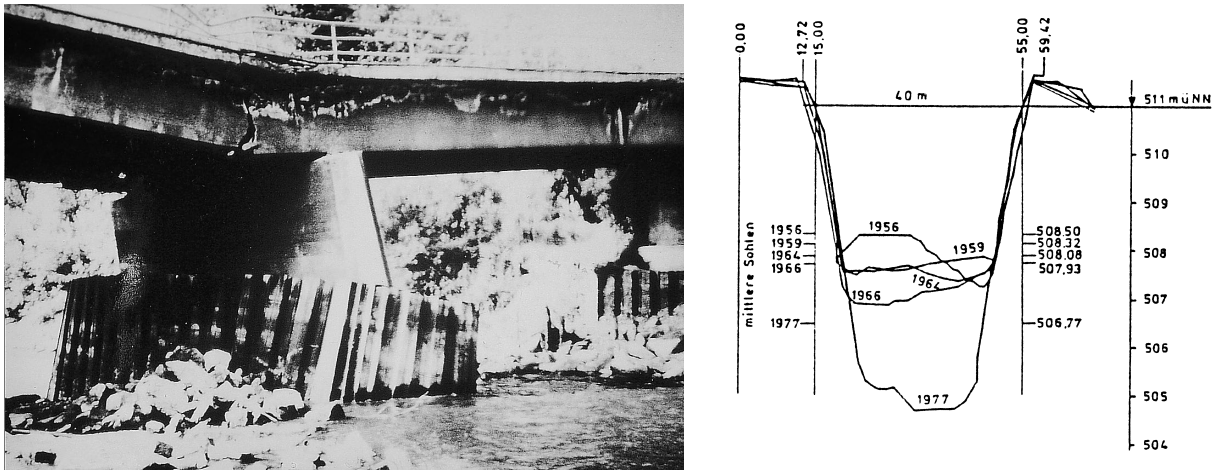


Abbildung 131: Wertach, Einsturz der Straßenbrücke bei Bobingen und Entwicklung der Flußsohle, nach [143]

Die Isar ab Dingolfing bis zur Mündung in die Donau bietet weitere Beispiele. BAUER [91] gibt für die Isar unterhalb Dingolfing für das Hochwasserjahr 1965 eine Kiesauflage über Flinz von 1,20 m an. Die größte Eintiefung erfolgte 1965 mit 1,40 m bzw. 350.000 m^3 Abtrag und 1966 mit 1,40 m bzw. 220.000 m^3 Abtrag, Abb. 132. WEIß [143] beschreibt die Situation unterhalb Dingolfing als Überlagerung von der Vorbelastung durch die frühere Isarkorrektion und der starken Unterwassereintiefung seit der Fertigstellung der Staustufe Dingolfing im Jahre 1957. Mit einer provisorischen Steinschwelle konnte zwar zunächst die Gefahr für die Straßenbrücke gebannt werden, aber wegen der ungenügenden Energieumwandlung am Rampenfuß verstärkte sich die Situation durch einen geradezu stürmisch verlaufenden Tiefenschurf. Die Steinschwelle konnte nur durch unverhältnismäßig hohen Unterhaltungsaufwand gehalten werden, erst durch den Rückstau der Stufe Gottfrieding (Fkm 41,6) wurde ab 1977 eine dauerhafte Sohlstützung erreicht. inzwischen wurden 3 weitere Stufen (Landau, Ettling und Pielweichs) zur Sohlstützung errichtet. Für die verbleibende freie Fließstrecke bis zur Donau werden flußbauliche Lösungsansätze angestrebt.

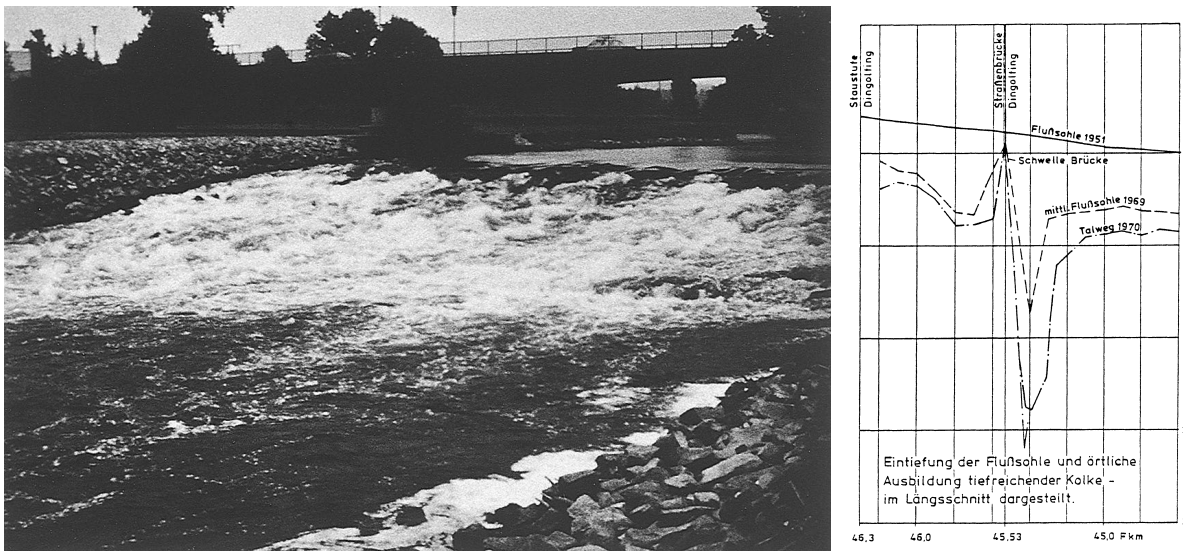


Abbildung 132: Isar bei Dingolfing, provisorische Rampe und Längsschnitt, nach [143]

Im Bereich der Unteren Salzach und angrenzender Flußgebiete bietet die bayerische Alz [151] ein Beispiel mit vergleichsweise geringer Brisanz: "Entgegen der bisherigen Annahme, daß an der Flußsohle der unte-

ren Alz durchgehend noch eine mindestens 10 m mächtige Kiesauflage vorhanden sei, geht aus den Untersuchungen hervor, daß der tertiäre Untergrund (Flinz) unterhalb des Tachertinger Wehrs bereits an mindestens zwei Stellen, nämlich im Bereich von Fkm 33,4 bis 31,0 (Tacherting-Wiesmühle) und zwischen Fkm 13,3 und 13,5 (unterhalb Burgkirchen) aufgeschlossen ist und auf mehrere hundert Meter teilweise bloß liegt."

Als weiteres Beispiel einer hochgradig erosionsgefährdeten Strecke ist die Saalach zu nennen. Nach den vorliegenden Ergebnissen des Bohrprogrammes 1997/98 [122] ist davon auszugehen, daß die Strecke zwischen Zollhauswehr bis zur Mündung in die Salzach bis auf wenige Kiesreste ausgeräumt ist. Zwischen Fkm 7,4 und 5,8 wurde eine z.T. 10 m mächtige Seetonlinse erbohrt, die z.T. bereits zur Hälfte vom Talweg der Saalach durchschnitten wurde. Nach BAUER [91] waren schon im Hochwasserjahr 1924 lediglich 0,8 m Restkiesauflage bei Hammerau über dem Flinz vorhanden. 1924/25 wurde dann das Zollhauswehr gebaut, 1925/26 die Unterliegerstrecke aufgeweitet. Trotzdem wurde 1960 eine Eintiefung von 4,5 m verbunden mit einem Massenabtrag von 800 000 m^3 festgestellt. Beschleunigend für die starke Sohlerosion wirkte sich insbesondere der totale Geschieberückhalt durch die Talsperre Kibling aus.
Die Untere Salzach selbst ist durch den bereits mehrfach erwähnten Sohldurchschlag zwischen Hallein und Salzburg betroffen. Das Augusthochwasser 1959 führte zum Einsturz der Autobahnbrücke bei Liefering (Abbildungen 5 und 6 in 4.3 sowie Abbildungen 16 und 17 in 5.1.1.3) und verursachte im gesamten Stadtgebiet von Salzburg eine plötzliche Eintiefung von 1 m, die sich bis Hallein hinzog. In den darauf folgenden Jahren erfolgte eine weitere Ausräumung der noch vorhandenen Kiesreste. Abb. 133 zeigt die Salzach unterhalb der Sohlstufe Hallein im Jahre 1978.

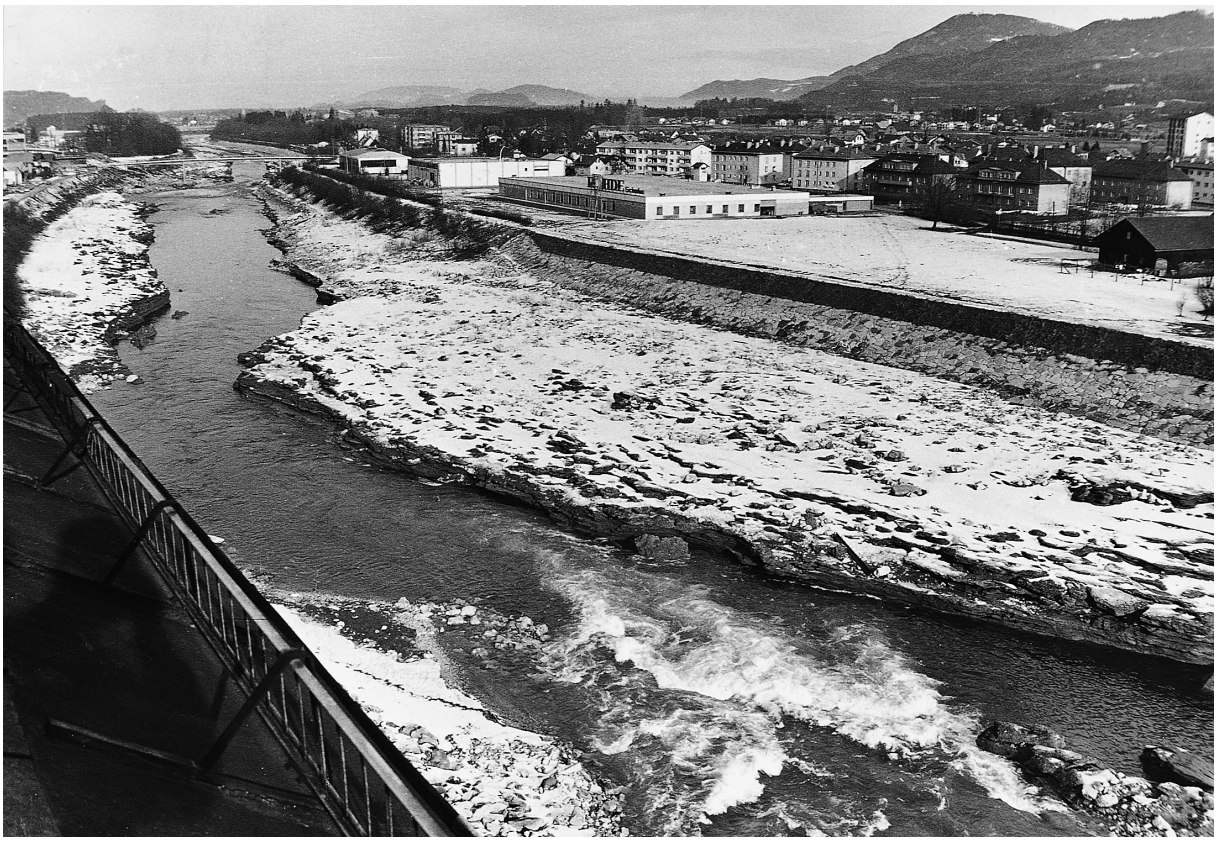


Abbildung 133: Salzach bei Hallein, nach [36]
Im Hintergrund von Abb. 133 ist der Kaltenhauser Steg zu erkennen. Das rinnenförmige Einschneiden der Sohle in das Ursteiner Konglomerat ist vom Erscheinungsbild her in einem Übergangsbereich von Sohl-

durchschlag mit rinnenförmigen Einschneiden der Flußsohle und Rinnenbildung einzuordnen. Ohne das Ursteiner Konglomerat hätte die Sohle in den Seeton vermutlich flächiger eingeschnitten. Je nach Seetonbeschaffenheit ist aber auch ein rinnenförmiges Einschneiden in den Seeton möglich, wie das Beispiel des Inns bei Neuötting zeigt, s. 5.13.6.

In 3.6 wurde über Rammsondierungen berichtet, die anläßlich einer im Bereich Fkm 35,8 – 36,2 wiederholt aufgetretenen Ufersackung unternommen wurden. Diese bereits in 5.1.1.3 bei den flußbaulichen Maßnahmen seit Korrektionsende geschilderten Schäden beruhen letztlich auf einer Diskordanz zwischen Seeton und Kiesauflage, bei der auch gespannte Grundwasserverhältnisse, wie sie im Tittmoninger Becken vor allem auf oberösterreichischer Seite häufiger anzutreffen sind, eine Rolle spielen könnten. Da die Schadensfälle aber im Böschungsbereich und im Bereich der bewegten Sohle auftraten sind sie nicht unmittelbar dem Phänomen Sohldurchschlag zuordenbar.

5.13.5 Erscheinungsformen und Systematik des Sohldurchschlags

5.13.5.1 Erscheinungsformen in Seeton und Flinz

Die lokale oder flächige Erosion von Seeton ist durch mehrere Vorgänge, die meist vom wandernden Geschiebe ausgelöst werden, geprägt. Wanderndes Geschiebe "schleift" die weiche Seetonoberfläche ab, ähnlich wie Schmirgelpapier ein weiches Balsaholz abschleift, dieser Hauptvorgang wird auch als "Tiefenschurf" bezeichnet.

Daneben können auch Sonderformen der Erosion bei Seeton oder Flinz auftreten, z.B. der sog. „Mahlsteineffekt". Dabei rütteln sich größere Steine mit geringerer Mobilität allmählich durch kreisende Bewegungen in den Seeton ein. In diesen Vertiefungen bleiben alsbald weitere Steine liegen und verstärken den mahlenden Effekt weiter, bis nach Erreichen einer gewissen Grenztiefe die Antriebskraft aus der fließenden Welle verloren geht und die "Mahlsteine" ab einer gewissen Tiefe wieder zur Ruhe kommen, s. Abb. 134f. Durch diesen Vorgang werden punktuell Schwachstellen im flächig anstehenden Seeton geschaffen, die u.U. dann anderen Erosionsmechanismen Vorschub leisten.

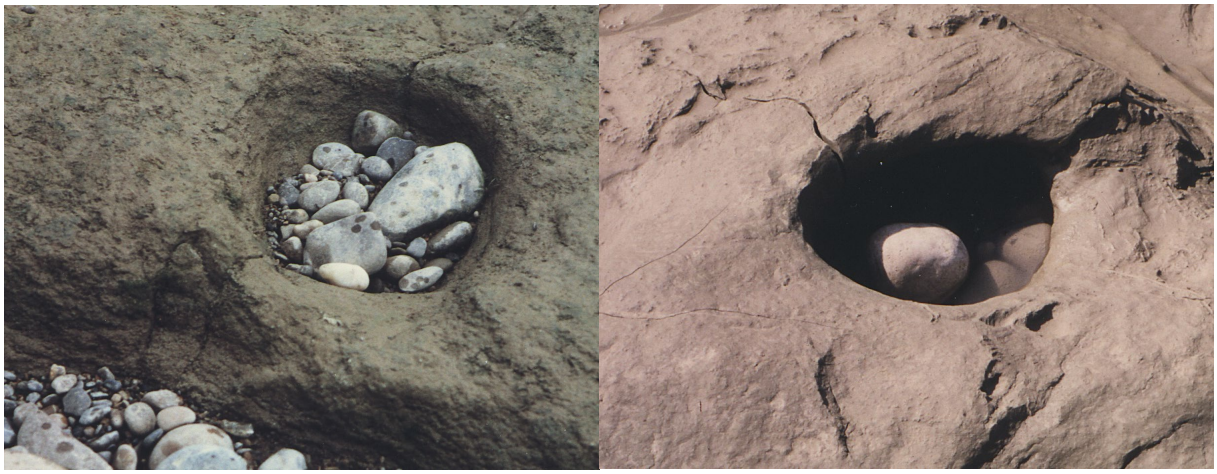


Abbildung 134: Strudellöcher durch Mahlsteineffekt im Seeton (links: Lech bei Fkm 114,6, BAWAG-Aufnahme vor 1990) und Flinz (rechts: Iller bei Fkm 48,2, Aufnahme vom 27.07.1988
Abb. 134 zeigt in der linken Bildhälfte ein Beispiel des Lechs im dem Unterwasser des Kinsauer Wehres vor dessen Neubau, die rechte Bildhälfte zeigt ein Strudelloch in einer Flinzplatte. Abb. 135 bietet die

Gesamtschau dieser Bildhälfte. Das gezeigte Strudelloch befindet sich am oberen rechten Rand der Kiesinsel auf der Flinzplatte.

Abbildung 135: Strudellöcher auf einer Flinzplatte, Iller bei Fkm 48,2, Aufnahme vom 27.07.1988

Liegt der Seeton hingegen im Wechselbereich von Wasser und Luft, wie etwa in Flachwasserzonen, so verliert er seine Kohäsion und damit weitgehend seinen Erosionswiderstand. Ohne Kiesüberdeckung schreitet die Erosion infolge Abwitterung (Austrocknung durch Sonneneinstrahlung, Absprengung durch Frosteinwirkung) rasch voran. Es entstehen Risse und der Seeton bricht schollenartig aus dem kohäsiven Verbund heraus. Ist eine Kiesüberdeckung vorhanden, wird der aufgeweichte, seiner kohäsiven Kräfte weitgehend beraubte Seeton durch turbulente Liftkräfte, die sich von der fließenden Welle auf das Geschiebe übertragen, durch den vorhandenen Hohlraum der kiesig oder kiesig /sandigen Überdeckung "hindurchgesaugt" und von der Strömung als Schwebstoff abtransportiert. Die Erosionsgeschwindigkeit hängt folglich sehr stark von der Mächtigkeit der Kiesüberdeckung ab. Abb. 136 zeigt ein markantes Beispiel am Lech im Unterwasser des alten Kinsauer Wehres bei Fkm 114,6 (Neubau 1989/92).

Abb. 137 zeigt einen sandsteinartig verhärteten Flinz, dessen äußeres Erscheinungsbild „gesteinsartig“ wirkt. Da diese Flinzpartien in der abflußarmen Zeit von Herbst und Winter z.T. frei liegen kommt es zur Frostabsprengung. Dabei kann das Gefüge auch tiefgründig verwittert werden, wenn Porenwasser in den Kapillaren gefriert und so Klüfte geschaffen werden, die Frost und fließender Welle neue Angriffsflächen bieten. In einem ähnlich ablaufenden Prozeß verwittern derzeit freiliegende Partien der Bergheimer Schwelle (Flysch-Sandstein mit deutlich ausgeprägter Schichtung, s. Abb. 151ff in 6.1.2).

Abbildung 136: Eintiefung im Seeton, Erosion infolge Abplatzung und Abwitterung, Lech bei Kinsau, BAWAG-Aufnahmen vor 1990

Abbildung 137: Frostabsprengung von verhärtetem Flinz, Ausleitungsstrecke an der Iller unterhalb Dietenheim, Aufnahme vom 26.09.1989

5.13.5.2 Erosionsmechanik

Die Erosionsmechanik und -geschwindigkeit von Seeton und Feinsand sind unterschiedlich oder ähnlich, dies hängt insbesondere von einer ständigen oder teilweisen Benetzung ab und von der hydraulischen Belastung der Sohle.

Seeton besitzt aufgrund seiner Kohäsion ein größeres Widerstandsverhalten als Feinsand: Solange er ständig umspült bleibt, bieten kohäsive Kräfte einen begrenzten Erosionswiderstand. Die Erosion ist dann primär vom Tiefenschurf des wandernden Geschiebes bestimmt. Zur Erosionsmechanik von ständig benetztem, kohäsivem Sohlmaterial haben SCHRÖDER und ZIMMERMANN [154] aus einfachen Modellversuchen vorerst hypothetisch auf interessante physikalische Ursachen geschlossen, welche den Erosionswiderstand aus Kohäsion einschränken können: Lange vor Erreichen einer kritischen Belastung im Bodeninneren können Wassergehalts- und Festigkeitsveränderungen beobachtet werden, darüberhinaus das bereichsweise Ablösen einer Schicht, welche frei in der Strömung schwingt. Als besonders kritisch für die Sohlstabilität erwiesen sich rasche Belastungsänderungen, die das eingeregelte Fluid-Boden-Resonanzsystem so stören können, daß die in der Strömung schwingende, lose Schicht aufreißt und Erosionsfenster entstehen.

SCHRÖDER und ZIMMERMANN [154] schreiben: „Geht man von etwa mit c = 1000 cm/s sich ausbrei-

tenden Druckwellen aus, so ergäbe sich aus der Wellenlänge (Schichtdicke) eine Erregerfrequenz von etwas mehr als 25000 Hz, ein Bereich also, der nur schwer meßbar ist. In einer Mikroskopbeobachtung der Bodenoberflächenstruktur waren äußerst feine, riffelartige Schuppen sichtbar. Ihre Wellenlänge könnte in einem Bereich liegen, der im Zusammenhang mit der sohlnahen Fließgeschwindigkeit des Wasserkörpers auf etwa den gleichen Frequenzbereich hindeutet.

Daneben bildet sich möglicherweise eine zweite, erheblich niederfrequentere Erregerschwingung in Fließrichtung als stehende Welle aus, mit der die abgelöste Bodenschicht in Resonanz gerät. Nach den Meßergebnissen könnte deren Periode etwa 3 bis 5 Sekunden betragen. Dies würde erklären, weshalb sich die Trennfuge immer nur in kleinen Bereichen (in den Schwingungsbäuchen) voll ablöst, in anderen Bereichen weniger oder (in den Knoten) kaum bzw. gar nicht. Auch die wiederholt gemachte Beobachtung, daß die Erosionsnester häufig in etwa gleichen Abständen (in Fließrichtung) entstehen, stützt diese vorerst hypothetischen Annahmen.

In einigen Fällen, vor allem bei geringer Strömungsbelastung, werden nur kleine Elementpakete aus der Oberfläche herausgelöst. (Oberflächenerosion, Erosionsgrundtyp O). Die maximale örtliche Erosionstiefe liegt in aller Regel unter 3 mm, die mittlere Erosionstiefe ist sehr gering. Die Oberflächenstruktur bleibt durchweg ziemlich einheitlich. Die Oberfläche kann sich dabei nach einem Anfangsverlust völlig stabilisieren (Erosionstyp O1), oder aber es findet auch später noch ein zwar geringer, aber dauernder Abtrag statt (Erosionstyp O2). Häufig treten zusätzlich Erosionsnester (Massenerosion, Erosionsgrundtyp M) auf. Dabei werden schollenartige Pakete aus der Bodenoberfläche herausgerissen, auf der Sohle wie Geschiebe weitertransportiert und dabei allmählich zerkleinert. Verursacht werden kann dies durch

- Inhomogenitäten (Fehlstellen) im Boden (Erosionstyp M1),
- Belastungsänderung (Durchflußerhöhung oder –verminderung) bei vorausgegangener Schichtablösung (Erosionstyp M2) oder
- Herausreißen einer abgelösten Bodenschicht ohne Belastungserhöhung (Erosionstyp M3).“

Der Erosionsnest-Bildungsprozeß ist in Abb. 138 schematisch dargestellt. „Zunächst entsteht eine örtlich abgelöste Bodenschicht der Decke d_b (b). Mit der Strömung gerät sie in Schwingung und reißt bei Überdehnung auf (c). Oberwasserseitig des Risses heben die turbulenten Liftkräfte die spätere Scholle an (d), die sich zunächst unterwasserseitig abstützt (Der Punkt i hebt sich dabei). Der horizontale
Spalt füllt sich mit Wasser und verhindert eine spätere Wiedervereinigung mit dem Unterboden. Früher oder später wird die Scholle dann herausgerissen (e). Manchmal verbleibt sie vorerst als Fehlstelle im Boden, häufig die Ursache für einen schlagartig einsetztenden Erosionsschub vom Typ M1. Die Tiefe der Erosionsnester entspricht etwa der Dicke d_b der abgelösten Schicht (b). Unterhalb des Erosionsnestes weicht der Boden örtlich stark auf (e), er wird elastischer, und die Trennfuge bildet sich zurück oder verlagert sich. Dadurch findet anschließend abwärts meistens nur eine geringe Ausweitung des Nestes statt. Der untere Nestrand ist sehr steil (fast senkrecht), der obere recht flach.

Eine durch Massenerosion verformte Sohle hat einen verhältnismäßig hohen Fließwiderstand. Die Strömungscharakteristik ist in Sohlnähe ziemlich unregelmäßig. Evtl. sich bildende Schichtablösungen sind in solchen Fällen deshalb unterschiedlich dick.“

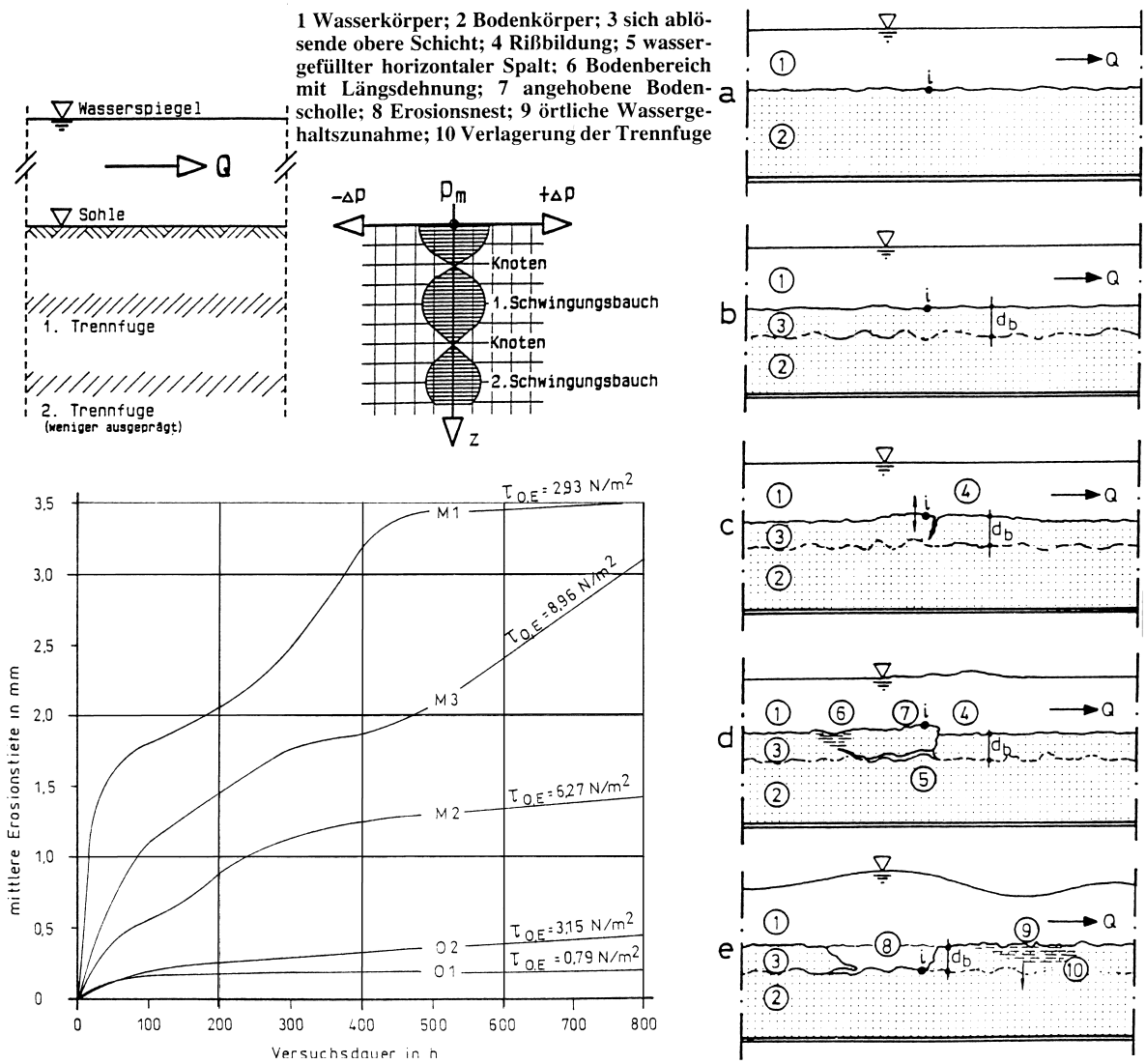


Abbildung 138: Erosionsverläufe, Erosionsnest-Bildungsprozeß und stehende Druckwelle im Bodeninneren,

SCHRÖDER und ZIMMERMANN [154] ziehen daraus den Schluß: „Die heute praktizierte Bemessung kohäsiver Fließgewässersohlen beruht auf unzutreffenden physikalischen Grundlagen ... Bei der Suche nach einem verbesserten Erosionsgesetz wird man deshalb künftig neben der stationären Strömungsbelastung , ausgedrückt z.B. durch die mittlere Schubspannung τ_0, vor allem deren Veränderung $d\tau_0/dt$ zu berücksichtigen haben. Der Weg dahin ist aber noch sehr weit.“ Die Versuche wurden mit einem schluffigen Ton (55 % Ton, 32 % Schluff, 13 % Sand) durchgeführt, einem Naturboden aus einer aufsedimentierten Flußschleife. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen lassen sich aber nicht ohne weiteres auf die Salzach übertragen. Der Tongehalt der Seetonablagerungen in der Salzach ist deutlich niedriger, die Art der Tonminerale des Versuchs nicht bekannt (Mineralanalyse) und die Versuchsbedingungen nur vage beschrieben [153].

Über die physikalischen Vorgänge wechselfeuchter Seetone liegen keine genaueren Erkenntnisse vor, diese fehlen ebenso für chemische Verwitterungsprozesse, wie sie z.B. bei Luftzutritt am Schlier der oberösterreichischen Traun beobachtet werden konnten.
Feinsand verhält sich bei dünner Überdeckung ähnlich wie aufgeweichter Seeton, die Erosionsgeschwin-

digkeit ist jedoch aufgrund des Korngrößenunterschieds im allgemeinen kleiner. Fehlt die Überdeckung so kommt es zum raschen bis schlagartigen Abtrag der Sandschicht, ein Vorgang der gelegentlich auch als „Ausblasen“ bezeichnet wird. Es können dabei Erosionsgeschwindigkeiten erreicht werden, die jene des Seetons deutlich überschreiten (vgl. Beispiel der Wertach und Abb. 130)

5.13.5.3 Physikalische Modellversuche, mathematische Geschiebetransportmodelle

Bei einem Sohldurchschlag in feinere Schichten bieten derzeit weder physikalische Modellversuche noch mathematische Geschiebetransportmodelle eine Möglichkeit, ablaufende Prozesse zuverlässig zu erfassen bzw. vorherzusagen:

- Dem physikalischen Modellversuch sind aus Maßstabsgründen Grenzen gesetzt. Kies kann zu Sand verkleinert werden, bis kohäsive Kräfte der Maßstäblichkeit eine physikalische Grenze setzen, die nicht umgangen werden kann. Der Einfluß von feineren Schichten (Sand, Seeton) kann daher im physikalischen Modell nicht weiter verkleinert und simuliert werden. Von den gemessenen Bettgestaltungsvorgängen kann aber auf eine reale Größenordnung der erforderlichen Restkiesauflage geschlossen werden.
- Mathematische Geschiebetransportmodelle sind derzeit nur mit eindimensionalen Berechnungsansätzen verfügbar, mehrdimensionale im Entwicklungsstadium. Wechselnde Profilformen, Krümmungen etc. sind mit diesen Ansätzen nur näherungsweise berechenbar, aber immerhin abschätzbar. Für kohäsive Materialien gibt es zudem derzeit keine brauchbaren Berechnungsansätze.

Die ablaufenden Prozesse können im physikalischen Modell immerhin für stark unterschiedlich zusammengesetzte Kiesschichten verdeutlicht werden. OGRIS erwähnt in [155] eigene Versuche zu lokalen Defekten einer Sohlrollierung unter Berücksichtigung des Schraubstrahleinflusses. Er konnte eine Zerstörung von „Rollierungen über Lockerböden“ nur bei „großflächiger Überbeanspruchung mit Sohlschubspannungen, die größer als die kritische waren“ feststellen: Bei einer lokalen Überbeanspruchung schlossen sich die Löcher im Deckbelag von selbst: Fehlstellen, bei welchen der weniger widerstandsfähige Untergrund freigelegt wurde, tieften sich durch Ausspülen der Feinteile zunächst ein, wobei ein Kolk entstand, in dem von den Rändern her größere Deckschichtsteine eingespült wurden. Beim Eintiefen eines Kolkes verringert sich die Schleppspannung in seinem Inneren in dem Maße, in dem die absinkende Sohle in den Schutz der hochliegenden Ränder gerät. Je nach dem Widerstandsvermögen der neugebildeten Kolksohle stellt sich ein Gleichgewicht zwischen erodierenden und resistierenden Kräften ein, welches eine weitere Eintiefung verhindert. Der Kolk wird stabil.“

Das Zitat deutet bereits an, daß neben der lokalen Überbeanspruchung auch eine flächige Überbeanspruchung auftreten kann, bei der die „Überlänge“ des Kolks letztlich zu einem progressiven Aufrollen der Sohlrollierung über dem Sohlmaterial bzw. Kiesauflage über dem erosionsempfindlichen Untergrund führen kann. Abb. 139 verdeutlicht den prinzipiellen Ablauf.

Zur Demonstration des Einflusses der Größe der freigelegten Untergrundfläche wurde vom IWB eine einfache Modelluntersuchung durchgeführt [156]. Alle Versuche fanden in einer neigbaren Rinne mit einer Sohlbreite von 54 cm statt. Das Gefälle betrug einheitlich 3 ‰. Als feine Unterschicht diente vorhandener Quarzsand (Einkornmaterial) mit d_{US}=0,5 mm. Für das Geschiebe wurde Rundkornmaterial mit d_m=4,7 mm und in einem weiteren Versuch d_m=10 mm verwendet. Damit ergeben sich Korngrößenverhältnisse d_m/d_{US} von 9,4 bzw. 20. Bei einem d_m der Salzach von rd. 20 mm würde dies einem mittleren Korndurchmes-

ser der Unterschicht von d_{US}=1 und 2 mm entsprechen. In die Rinne wurde der Feinsand auf 3,5 m Länge 15 cm hoch eingebracht. Für die Kiesabdeckung wurde eine Dicke von 4 cm gewählt. In die Kiesabdeckung wurden Fenster mit 0,5 m, 1 m und 1,5 m freigelassen, wo die feine Unterschicht der Strömung frei ausgesetzt war.

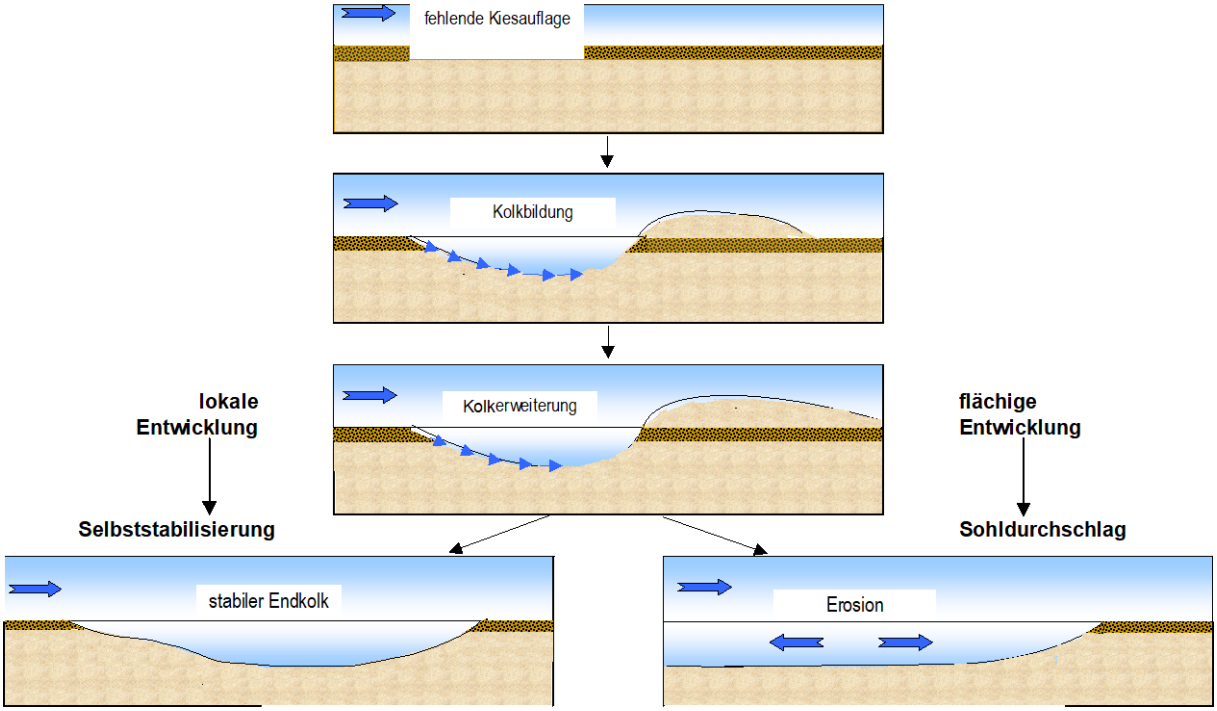


Abbildung 139: Selbststabilisierung von lokalen Kolken und progressives Aufrollen der Kiesauflage

Das Modell wurde mit konstanten Durchflüssen untersucht, wobei eine stufenweise Durchflußsteigerung erfolgte. Bei der Modellsteuerung wurde darauf geachtet, daß der Wasserspiegel immer sohlparallel verlief (Bedingung gleicher Wasserstand im Zulauf und im Ablauf). Da alle Versuche rein qualitativ konzipiert wurden, wurde auf die Umrechnung von Versuchsergebnissen auf Naturgrößen mittels eines Modellmaßstabes verzichtet. Insgesammt wurden 3 Versuche mit folgenden Versuchszeiten und Kenngrößen durchgeführt:

- Versuch 1: t = 60 min, dm =4,7 mm, Fensterlänge 0,5 m, Q=10-40 l/s
- Versuch 2: t = 75 min, dm =4,7 mm, Fensterlänge 1,0 m, Q=10-25 l/s
- Versuch 3: t = 20 Stunden, dm =10 mm, Fensterlänge 1,5 m, Q=10-70 l/s

Die Versuche 1 und 2 lieferten das gleiche Ergebnis: Durch die kurze Versuchsdauer und das geringe Korngrößenverhältnis zwischen Unterschicht und Kiesmaterial, konnte sich im freiliegenden Feinmaterial nur ein geringer Kolk ausbilden. Sobald oberstrom Geschiebetransport einsetzte, wurde das Fenster mit Kies überdeckt. Ursache dafür war der Strömungsverlauf im Bereich der freiliegenden Unterschicht. Durch den geringeren Fließwiderstand des Feinmaterials kam es zu einer Spiegelsenkung am Übergang vom Kies zum Feinsand. Umgekehrt war am unteren Ende des Fensters eine Spiegelhebung festzustellen. Der Wechsel von Beschleunigung oberstrom zu Verzögerung unterstrom führte zu einem verstärkten Geschiebetransport am oberen Rand des Fensters und zu einem reduzierten Transport am unteren Rand. Infolge des Ungleichgewichts im Geschiebetransport konnte bei ausreichender Geschiebezufuhr das freiliegende Fens-

ter der feinen Unterschicht wieder mit Geschiebe abgedeckt und geschützt werden. Der Versuch 3 ermöglichte wesentlich längere Versuchszeiten. Das Korngrößenverhältnis zwischen Unterschicht und Kies war mit 20 mehr als doppelt so groß wie bei den Versuchen 1 und 2 (Faktor 10). Bei diesem Versuch entstand ein großer Kolk und das Fenster konnte nicht mehr geschlossen werden.

Bei lang andauernden Durchflüssen ohne Geschiebetransport der Kiesschicht wird nur Feinmaterial abtransportiert. Es entsteht wie bei Sohlschwellen mit der Zeit ein tiefer Kolk, der mit einer Aufweitung des Durchflussquerschnitts verbunden ist und zu einer Verringerung der mittleren Fließgeschwindigkeit und damit zu einer Spiegelhebung im Kolkbereich führt, s. Abb. 140.

Der Kolktiefstpunkt wandert mit der Zeit in Richtung unteres Ende des Fensters und führt zu einer sehr steilen Gegenböschung, wodurch Geschiebekörner in den Kolk rutschten. Bei weiterer Steigerung des Durchflusses beginnt die Kieserosion. Im Gegensatz zu den Versuchen 1 und 2 beginnt die Geschiebebewegung am unteren Rand (Einschnürungsbereich und damit Beschleunigungsstrecke am Kolkende). Das von oben langsam nachwandernde Geschiebe fällt in den Kolk. Dadurch wird der Kolk flußab schneller vergrößert, als die Verfüllung von oben her erfolgen kann. Bei stärkerer Wasserführung kommt es zu einem nicht mehr zu stoppenden Erosionsvorgang der dünnen Kiesauflage flußab. Der Kolk breitet sich in Fließrichtung aus. Parallel dazu war in der Zulaufstrecke zu beobachten, dass die Kiesauflage abschnittsweise dünner bzw. kleinflächig abgetragen wurde. Zwischen den Kieskörnern und in den freiliegenden Feinsandflächen wurde Feinmaterial erodiert, wodurch sich die Sohle in diesen Bereichen rasch tiefer legte.

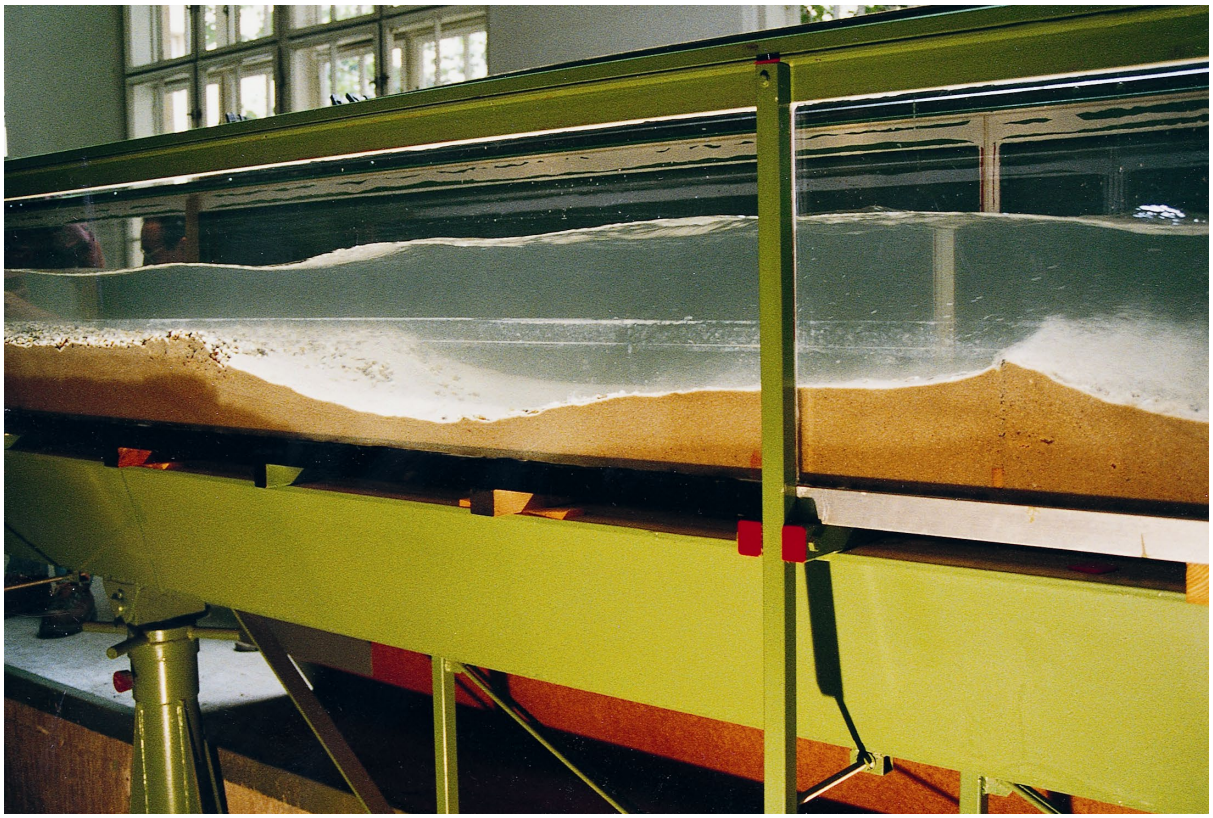


Abbildung 140: Versuch 3 im fortgeschrittenen Stadium, Aufnahme IWB Nr. 3/11A

Abb. 140 zeigt die Entwicklung von Versuch 3 in einem fortgeschrittenen Stadium. Am oberen Ende des

Kolks ist die Spiegelhebung zu erkennen (gewellter Abfluß). Der obere Teil des Kolkes ist wieder mit Kies verfüllt (Steine rollen die Böschung hinunter), einzelne Steine graben sich in den Feinsand ein. Am unteren Modellende wurde die Kiesauflage vollständig abgetragen. Die Sohle hält nur noch wegen der Stützplatte im Sand, die am rechten Bildrand zu erkennen ist.

Zusammenfassend sind folgende qualitative Schlußfolgerungen aus den Modellversuchen zu ziehen:

- Die drei qualitativen Modellversuche bestätigen den großen Einfluß der freigelegten Untergrundfläche. Es können zwei grundsätzlich verschiedene Prozesse ablaufen.
- Wenn die freiliegende feine Unterschicht nur kurze Zeit mit Durchflüssen unterhalb des Geschiebetransportbeginns belastet wird und sich damit nur ein sehr flacher Kolk bilden kann, erfolgt bei Geschiebetrieb eine Selbstheilung durch Geschiebenachfuhr von flußauf. Voraussetzung ist, daß oberstrom genügend Geschiebe vorhanden ist.
- Wenn die feine Unterschicht großflächig und länger freiliegt und nur Durchflüsse unterhalb des Geschiebetransportbeginns auftreten, kann sich ein tiefer Kolk bilden, der sich bei Hochwasser rasch flußab vergrößert. Das von oben nachkommende Geschiebe kann den großen Kolk nicht mehr verfüllen. Am unteren Ende des Kolks werden größere Feinsandflächen freigelegt, als am oberen Ende wieder geschützt werden können.

5.13.5.4 Systematik

Trotz der großen Vielfalt an Erscheinungsformen wurde auf der Basis der allgemeinen Erosionsmechanismen und der Modellergebnisse des IWB [157] der Versuch einer Typisierung von Sohldurchschlägen unternommen. Sie geht vom großen Einfluß der Sohlfläche mit fehlender Kiesüberdeckung aus und erlaubt eine stark vereinfachende Unterscheidung von drei Formen des Sohldurchschlags:

- Kleinflächiges Einschneiden der Flußsohle in den feinkörnigen Untergrund (Kolke)
- Großflächiges Einschneiden mit Fensterbildung (Freilegung der ganzen Sohlbreite)
- Großflächiges Einschneiden mit Rinnenbildung (durchgehende Freilegung von Sohlpartien).

Letztere Form kann nicht scharf von der Rinnenbildung abgegrenzt werden, die in 5.13.6 umrissen wird. Eine Rinnenbildung tritt bei Flüssen mit ausreichender Kiesüberdeckung natürlicherweise auf, kann aber durch fehlende Kiesüberdeckung und Inhomogenitäten des Untergrundes (leicht erodierbare „Schwachstellen“) begünstigt werden (s.a. Erosionstyp M1 bei SCHRÖDER und ZIMMERMANN, [154]).

Außer der Beschaffenheit des Untergrundes hat auch die freigelegte Untergrundfläche großen Einfluß auf die entstehenden Sohldurchschlagsphänomene. Bleibt die Freilegung des Untergrunds etwa durch eine lokale extreme Sohlbeanspruchung auf kleinen Raum begrenzt, wie dies bei den Kolken der Fall ist, so hat dies keinen gravierenden Einfluß auf die Sohlentwicklung. Es wird Kies aus der Umgebung oder durch das laufende Geschiebe in den entstehenden Kolk transportiert, wodurch die Kolkböschungen geschützt und die Kolktiefe begrenzt wird. Überschreitet jedoch die freigelegte Untergrundfläche ein kritisches Maß, so daß die Kolkabmessungen einen Teil (Rinnenbildung) oder den gesamten Abflußquerschnitt auf eine größere Länge erfassen, resultieren dramatische Sohlentwicklungen. Das kritische Maß der Freilegung hängt wesentlich von der noch vorhandenen Dicke der Kiesauflage in ihrer Umgebung und dem Geschiebetrieb ab, weil der in Kolken wirksame Selbstschutzmechanismus bei großer Freilegungsfläche und Kiesmangel versagt. Am unteren Ende des freigelegten Untergrunds tritt mit zunehmender Sohleintiefung eine Fließbeschleunigung mit erhöhter Sohlbeanspruchung auf. Sie kann eine flußabwärtige Ausdehnung der Unter-

grundfreilegung bewirken, verbunden mit einer raschen Sohlerosion.

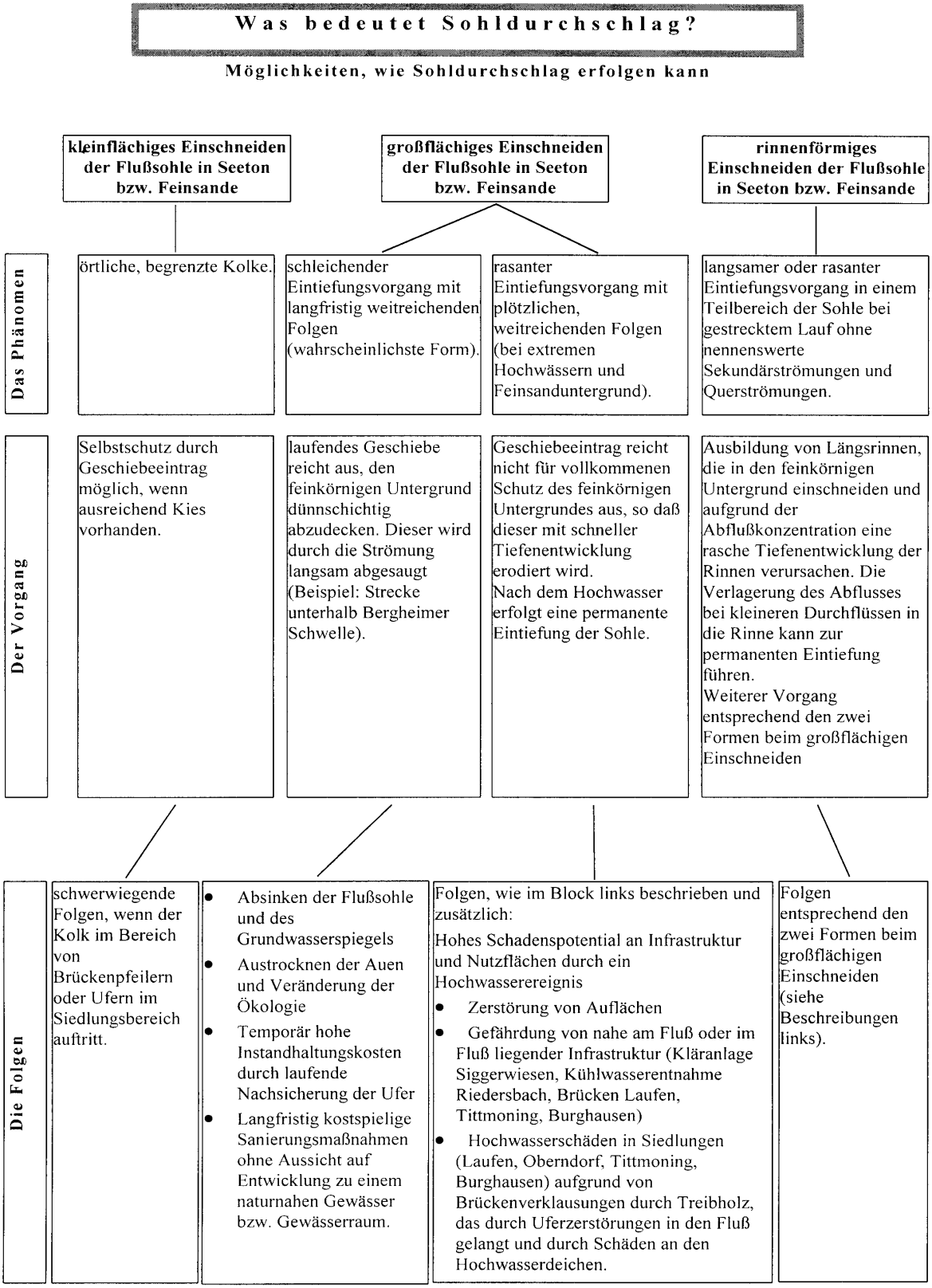


Abbildung 141: Übersicht: Möglichkeiten, wie ein Sohldurchschlag erfolgen kann, nach [156]

Die räumliche und zeitliche Entwicklung eines Sohldurchschlags kann nicht vorhergesagt werden. Das Zerstörungspotential eines Sohldurchschlags kann beträchtlich sein. Bei der Einschätzung der möglichen Konsequenzen ist sowohl die räumliche als auch die zeitliche Dimension eines derartigen Vorgangs wichtig. Abb. 141 aus [156] und [158] faßt die prinzipellen Möglichkeiten, wie ein Sohldurchschlag entstehen kann, zusammen und gibt Aufschluß über mögliche Risiken und Folgen.

5.13.6 Anmerkungen zur Rinnenbildung

Für die flußmorphologische Problemstellung „Rinnenbildung“ existiert derzeit keine abschließende Begriffsdefinition, in einigen Arbeiten wird das Phänomen aber verbal beschrieben. Diese Arbeiten beschreiben Wechselwirkungen der Rinnenbildung mit anderen Einflußgrößen aus dem Bereich Sohlstabilität und Morphologie. Eine kurze Beschreibung zur Rinnenbildung könnte lauten: Ein geschiebeführender Fluß nutzt nicht die ganze ihm zur Verfügung stehende Breite, sondern beschränkt sich auf ein schmales Bett. Dies hat eine tiefere Sohllage und ein flacheres Ausgleichsgefälle zur Folge.

Generell wird die Morphologie von Flüssen von Bänken und Kolken geprägt. Rinnenbildung könnte man somit auch als Phänomen definieren, das über ein natürliches Ausmaß von Kolkbildung hinausgeht. Z.B. entsteht im Talweg von Krümmungsstrecken eine Rinne auf natürliche Weise. Wo natürlich oder anthropogen vorgegebene Laufbegrenzungen fehlen, könnte man versuchen die Kriterien zur Bankhöhe und Kolktiefe nach ZARN [71] heranzuziehen, um eine Grenze zwischen Rinnenbildung und natürlicher Kolkbildung bei Geschiebegleichgewicht zu ziehen. Rinnenbildung entsteht auch dann, wenn das natürliche Gestaltungspotential von Bänken und Kolken gestört ist oder unterbunden wird.

Als Auslöser der Rinnenbildung kommen bei kiesführenden Flüssen in Betracht:
- Eine im Verhältnis zur Flußbreite zu geringe Geschiebezufuhr bzw. Erosionsregime (Störungen im Geschiebehaushalt) und
- eine gemäßigte Abflußperiode (wenig Abfluß mit geringen Schwankungen) nach Extremereignissen.

Die Rinnenbildung kann durch eine Reihe von Ursachen weiter verstärkt werden:
- Hohes Aufkommen an Feinteilen,
- Entmischungsvorgänge und Kornverteilung des Geschiebes,
- natürliche Fixierung von Gewässerstrukturen wie Rehnenbildung und Aufwuchs auf Bänken,
- anthropogene Lauffixierung (Bauwerke längs oder quer zum Fluß),
- asymmetrische Geschwindigkeitsverteilungen (Turbulenzen), z.B. im Bereich von Mündungen und
- Einflüsse aus der Untergrundgeologie (Inhomogenitäten im Schichtaufbau und Längsschnitt).

Eine Rinnenbildung kann durch eine Untergrundgeologie begünstigt werden, deren erodierbare Schwachstellen es einem Fluß ermöglichen diese durch eine Rinne zu verbinden. Diese werden dann bevorzugt durchflossen bzw. erodiert. Weiter könnten auch unterschiedlich zusammengesetzte Kiesgemische einen solchen Prozeß begünstigen (schlecht gestufte Sieblinie, bzw. Einkorngemische). An der Salzach wird ein solcher Prozeß z.B. durch die Zonierung im Uferbereich zwischen erster und zweiter Korrektionsphase in Verbindung mit den inzwischen vergröberten Restkiesvorkommen im Flußbett begünstigt.

Generell kann festgehalten werden, daß die Gefahr der Rinnenbildung mit sinkendem $Y = B_F/h$ analog den Kolktiefen nach ZARN [71] abnimmt. Die Gefährdung oder Anfälligkeit für eine Rinnenbildung nimmt

von Typ „verzweigter Fluß“ über „Mehrfachbänke“ (multible bars), „alternierende Bänke“ bis hin zur „ebenen Sohle“ ab. Die Furtstrecke unterbricht z.B. bei alternierenden Bänken die Ausbildung einer durchgehenden Kolkstrecke (=Rinne). Für den Einfluß der Kornzusammensetzung (Parameter d_m) gibt ZARN Hinweise (je feiner das Geschiebe desto ebener die Sohle), die jedoch noch erhärtet werden müssen. Diese generellen Aussagen für die Anfälligkeit zur Rinnenbildung gelten jedoch nur bei ausreichender Kiesüberdeckung. Eine davon abweichende Untergrundgeologie birgt weitere Risiken in sich, deren Konsequenzen vielschichtig und nur im konkreten Fall beurteilbar sind.

Die Gerinnemorphologie reagiert auf die Auslöser bzw. weiteren Ursachen sehr differenziert. Umgekehrt benötigt eine bestimmte Gerinnemorphologie genügend Geschiebe, um im Erscheinungsbild stabil zu bleiben. Verzweigte Flüsse benötigen zur ständigen Veränderung ihrer Arme genügend Geschiebe, ebenso alternierende Bänke zu ihrer steten Wanderung längs des Flusses. Bei Geschiebearmut degeneriert das morphologische System, ein verzweigter Fluß „verarmt“ zu einem dominanten Arm.

Das Phänomen der Rinnenbildung kann aber bei allen morphologischen Haupttypen auftreten, insbesondere bei überlagernden Einflüssen aus der Untergrundgeologie, wie nachfolgende Beispiele belegen. Bei rinnenförmigem Einschneiden in erodierbare Horizonte des Untergrundes besteht eine Überschneidung mit der Typologie des Sohldurchschlags (5.13.5). Im weiteren wird das Phänomen der Rinnenbildung durch Literaturbeispiele näher beschrieben.

KORTMANN [145] bemerkt in der Studie über die Möglichkeiten einer Geschiebebewirtschaftung der Isar zur Rinnenbildung: „Das Phänomen der Tiefenrinnenbildung tritt weit häufiger auf, als gemeinhin angenommen. Es wird meist deshalb nicht richtig wahrgenommen, weil man statt der Ausbildung einer Tiefenrinne eher das Gegenteil, nämlich eine verstärkte Geschiebeablagerung im Flußbett zu erkennen glaubt. Oft ist eine vermeintlich im Flußbett lagernde Kiesbank in Wirklichkeit nur der über den örtlich durch Tiefenerosion abgesenktem Wasserspiegel herausragende langgestreckte Randbereich einer sich nach unten fortsetztenden Tiefenrinne. Den Beweis für die wahren Gestaltungsvorgänge im Gewässer kann nur die geodätische Flußaufnahme bringen, mit der die Höhenveränderung im Flußbett zeitbezogen und zuverlässig dokumentiert wird.

Die Bereitschaft zur Tiefenrinnenbildung ist offenbar nicht nur auf die anthropogen veränderten Gewässer beschränkt, sondern dürfte auch den naturbelassenen Gewässern latent innewohnen. Ein Sachverhalt, der hauptsächlich empirisch, d.h. durch in der Natur gemachte Beobachtungen dokumentiert ist. Bekannt geworden ist der eingehend untersuchte und publizierte Fall des Wildflusses Melezza, in dessen relativ breitem Flußbett eine zunehmend starke Eintiefung innerhalb eines dominanten Einzelgerinnes im Flußquerschnitt auftrat, die nach und nach den gesamten Flußlauf erfaßte. Die Hauptursache für diese Reaktion das Flusses sah man in einer abnehmenden Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf bzw. dem Einzugsgebiet begründet, begünstigt oder initiiert aber auch durch lokale Gegebenheiten, wie z.B. durch vorhandene Flußkrümmungen. Ähnliche Beispiele ... sind die naturbelassene Flußstrecke der Isar zwischen Sylvensteinspeicher und Jachenmündung sowie die Linder im Lindergries bei Linderhof.

Nun wird heute bei der naturnahen Umgestaltung korrigierter und vor allem zu schmal regulierter Flüsse eine modifizierte, d.h. den Möglichkeiten entsprechend beschränkte Flußbettaufweitung angestrebt. Trotz dieser an sich sinnvollen Maßnahme, weil sie hilft, die hydraulische Belastung im Flußbett abzubauen, wird man trotz einer Intensivierung des Geschiebetransportes am Problem der Rinnenbildung realisti-

scherweise nicht gänzlich vorbeikommen."

Bereits vor 30 Jahren gab MAYRHOFER [144] eine Reihe von gewichtigen Gründen an, die gegen eine um das Mehrfache der bisherigen Breite angelegte Profilaufweitung sprechen und die vor allem daraus resultieren, daß jeder Fluß beträchtliche Abflußschwankungen aufweist. In einer Zeit, als der naturnahe Wasserbau erste bahnbrechende Erfolge zeitigte, mahnte MAYRHOFER [144] an, bei der Anwendung solcher Methoden den Geschiebehaushalt zu beachten. Er wies darauf hin, daß die Geschiebearmut der Flüsse infolge fortschreitender Wildbachverbauung, Flußkorrektion, Geschieberückhalt durch Staustufen und Geschiebeentnahmen „immer mehr zunimmt, sodaß sich das Problem der Sicherung der Flußsohle in Erosionsstrecken in Zukunft immer häufiger und in immer schärferer Form stellen wird."

Diese Sicht teilt auch KORTMANN, der die Folgerungen MAYRHOFER´s knapp in [145] zusammenfaßt: „Da ein Flußprofil im Allgemeinen nach dem abzuführenden Hochwasserabfluß zu bemessen ist, wäre die Sohle bei Mittel- und Niedrigwasserabfluß theoretisch auf die volle Breite nur seicht mit Wasser bedeckt. In Wirklichkeit würde das Flußprofil jedoch bald mit Tiefenrinnen durchsetzt sein, die sich bei jedem Hochwasser verwerfen. Wegen des im Allgemeinen ungenügenden Geschiebezulaufs käme aber kein Rinnensystem zustande, wie man es bei natürlich verzweigten Umlagerungsstrecken kennt, sondern der Abfluß würde sich nach kurzer Zeit im Bereich einer gestreckten Rinne zusammendrängen und diese bevorzugt eintiefen. Die Flächen daneben würden verbuschen – ein Effekt, der sich besonders in Ausleitungsstrecken auswirken würde. Zur Erhaltung der Abflußtüchtigkeit müßte dieser Bewuchs immer wieder entfernt werden; andernfalls wäre man nach solch einem Kraftakt der Flußbettaufweitung doch wieder am Beginn einer unerwünschten Entwicklung angelangt, die man ja eigentlich vermeiden wollte."

MAYRHOFER [144] zog daraus den Schluß, daß die Verbreiterung des Profils zur Verhinderung von Sohlerosion als Lösung ausscheidet. Diese Folgerung ist jedoch in Zusammenhang mit der eingangs von ihm festgestellten zunehmenden Geschiebearmut der Flüsse zu sehen. Neuere Untersuchungen, insbesondere ZARN [71], haben die Profilaufweitung bei ausgeglichenem Geschiebehaushalt als gangbaren Lösungsweg für die Praxis empfohlen.

Auch ZARN [71] kennt das Phänomen der Rinnenbildung, beschreibt es aber aus dem Blickwinkel eines langfristig zu erreichenden Gleichgewichtszustandes (Vorgabe der Modellversuche). Tiefenrinnen sind für ihn nur ein Übergangsstadium bei der Entwicklung der Sohlmorphologie des verzweigten Flusses auf dem Weg zur Erreichung einer Gleichgewichtslage der Sohle. Seine Sicht entspricht den Ergebnissen zahlreicher physikalischer Modellversuche, die unter Gleichgewichtsbedingung (Geschiebeeintrag entspricht hinsichtlich Menge und Zusammensetzung i.M. dem Geschiebeaustrag) gefahren wurden. ZARN weist aber auch auf eine Reihe von Einschränkungen seiner Ergebnisse hin (Probleme mit der Raum- und Zeitskala von Modellversuchen, keine Simulation von Schwebstoffen und der Vegetation):

„Ein erodierender verzweigter Fluß unterscheidet sich grundsätzlich von einem auflandenden. Zu Beginn eines Erosionsprozesses tieft sich in der Regel das größte Teilgerinne ein. Dessen Lage und Form ist stabiler als ein vergleichbares auflandendes Teilgerinne. Wegen des Eintiefungsprozesses fließt ein immer größerer Anteil des Abflusses in diesem Teilgerinne. Deshalb ist die Anzahl Teilgerinne in einem erodierenden verzweigten Fluss in der Regel kleiner als in einem auflandenden. Im Extremfall kann sogar der gesamte Abfluß in einem einzigen Teilgerinne abfließen. Dann ist die Transportkapazität nicht mehr eine Funktion der gesamten Flussbettbreite B_F sondern nur noch der Breite dieses Teilgerinnes. Die Transport-

kapazität des Teilgerinnes liegt viel näher beim theoretischen Maximum bei der Breite B_{opt} als bei einem vergleichbaren auflandenden verzweigten Fluss mit gleicher Flussbettbreite B_F. Die Eintiefung dieses Teilgerinnes stoppt erst, wenn sein Gefälle seinem theoretischen Gleichgewichtsgefälle entspricht. Deshalb ist es möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß die mittlere Sohle temporär tiefer zu liegen kommt als im endgültigen Gleichgewichtszustand. Bei einem solchen Prozess ist es auch denkbar, dass Vegetation auf den Bänken aufkommt, wenn diese während längeren Perioden stabil bleiben und nicht oder nur gelegentlich überflutet werden. ... Spätestens wenn das dominante Teilgerinne sein Gleichgewichtsgefälle erreicht hat, kann es seine Breite wieder vergrößern. ... Da mit zunehmender Breite die Transportkapazität nun wieder abnimmt, landet die Sohle im Teilgerinne wieder auf. Schließlich wird der Gleichgewichtszustand auch über einen Auflandungsprozeß erreicht. Dieser Prozeß dürfte kaum von der Art des Abflusses, d.h. stationär oder instationär, abhängen. Vermutlich tieft sich aber das dominante Gerinne bei stationärem Abfluß vorrübergehend mehr ein als bei instationärem Abfluß.

Die Morphologie eines verzweigten Flusses im Gleichgewicht dürfte deshalb unabhängig davon sein, ob dieser Zustand über einen Auflandungs- oder anfänglich einen Erosions- und anschließenden Auflandungsprozeß erreicht wird. Im zweiten Fall dauert es aber deutlich länger, bis sich ein solcher Zustand einstellt. Auch ist denkbar, daß durch den Erosionswiderstand einer möglicherweise aufkommenden Vegetation die zur Verfügung stehende Breite reduziert wird. Dann wird sich im Gleichgewicht eine tiefere Sohllage einstellen als im Fall eines Auflandungsprozesses.“ Als Beispiel für eine solche Entwicklung nennt ZARN die Rhäzünser Rheinaue (s. Abb. 157 in 6.5).

Ein weiteres Beispiel für Rinnenbildung, die Melezza, wurde bereits erwähnt. Ihr Abflußregime ist von extremen Schwankungen geprägt (ca. 3000 m^3/s beim Hochwasser 07./08.08.1978, mittlerer Abfluß 1985/94 ca. 15 m^3/s). ROTH und ZARN [146] beschreiben die morphologische Entwicklung der Melezza wie folgt:

- Aufnahmen aus dem letzten Jahrhundert zeigen die Melezza als breite Kiesebene. Darauf gründet die Vermutung, daß sich die Melezza seinerzeit in einem Auflandungszustand befand.
- Bis ins letzte Jahrhundert dauerte die Abholzung der Wälder an, erst seit der Jahrhundertwende nahm der Waldbestand wieder zu, womit das Geschiebepotential tendenziell zurückging. Sukzessive setzte die Verbauung von Hängen und Zubringern ein, ebenso die Wasserkraftnutzung (Ausgleichsbecken Palagnedra) und Geschiebeentnahmen.
- Die Auswertung von Luftbildern aus den Jahren 1966/68 ergab, daß sich bereits damals eine Konzentration des Abflusses innerhalb eines dominanten Hauptgerinnes abzeichnete. Der damalige starke Bewuchs der Kiesbänke deutet an, daß diese Sohlenform offenbar seit mehreren Jahrzehnten stabil war. Vermutlich bestand vor dem Hochwasser von 1978 bereits eine gewisse Erosionstendenz.
- Bis heute wurde die Melezza nur unwesentlich eingeengt oder begradigt. Vier große Krümmungen in der Alluvionsebene (die letzten 4 km nach der Einmündung des Isorno bis zum Zusammenfluß mit der Maggia) wurden Anfang der 80er Jahre an den Außenkurven mit Blocksätzen gesichert.
- „Im Verlaufe der Hochwasserkatastrophe von 1978 führten großflächige Erosionen im oberen Einzugsgebiet zu umfangreichen Geschiebeeinträgen und damit zu einer temporären Auflandungstendenz ... der Melezza. Entsprechend veränderte sich die Morphologie: aus einem dominanten Einzelgerinne wurde ein dynamischer, verzweigter Fluß mit einer deutlich größeren aktiven Bettbreite.
- In der Zeit nach diesem Ereigniß trat nun aber kein vergleichbares Hochwasser mehr auf. Der Geschiebeeintrag aus dem oberen Einzugsgebiet entsprach nach und nach wieder den Verhältnissen vor 1978. Folgerichtig stellte sich wiederum eine Erosionstendenz ein mit den entsprechenden morpholo-

gischen Veränderungen: Im kurzzeitig verzweigten Fluß bildete sich ein dominantes, nahezu stationäres Einzelgerinne.“ Auf den Bänken ist nun wieder Bewuchs anzutreffen, welcher darauf schließen läßt, daß dort seit bald 20 Jahren keine morphologischen Veränderungen mehr stattgefunden haben.

- Im Zusammenflußbereich von Maggia und Melezza wurde eine Insel entfernt, womit die Flußsohle lokal um rd. 4 m abgetieft wurde. Davon ausgehend erfolgte eine ebenso tiefe, rückschreitende Erosion innerhalb eines dominanten Einzelgerinnes, die heute etwa km 1,0 erreicht haben dürfte.
- Weiter flußauf überwog der Einfluß der Flußkrümmungen, welche lokal ausgeprägte Kolkungen hervorriefen.
- Als Folge dieser Eintiefungsprozesse wurden immer größere Abflüsse auf immer längeren Abschnitten innerhalb des entstandenen Erosionsgerinnes konzentriert. Dies führte zu einer Erhöhung der Transportkapazität und abermaligen Vergrößerung der Eintiefung. Besonders markant trat diese Entwicklung unmittelbar vor der Mündung und im Abschnitt km 2,5 bis 3,0 ein. Dort vertiefte sich das dominante Einzelgerinne im Zeitraum 1980/95 um rd. 3,5 m.

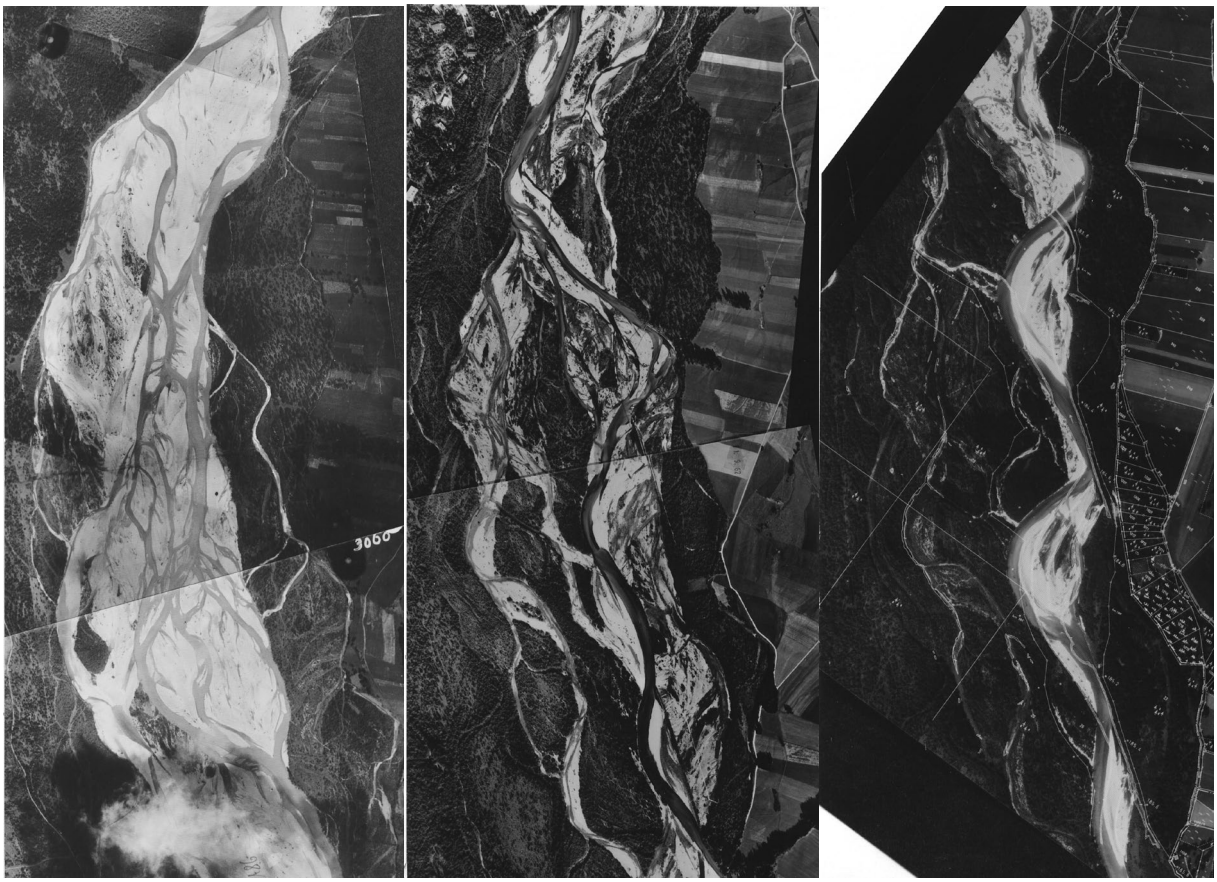


Abbildung 142: Isarlauf zwischen Fkm 186,0 und 183,2 in Luftbildern der Jahre 1925, 1971 und 1982, nach [147] verändert

In [146] sind in Abbildung 3 einige Luftbildaufnahmen der Melezza aus den Jahren 1966/68, 1978 und 1996 gegenübergestellt. Die Aufnahmen zeigen den o.g. 4 km langen Abschnitt vor, unmittelbar nach und knapp 20 Jahre nach dem Katastrophenhochwasser von 1978. Während 1978 die freien Kiesflächen überwiegen, zeigen die Luftbilder vor und danach die Bildung eines dominanten Einzelgerinnes und eine weitgehende Bewuchsfixierung der Kiesflächen. Vom Grundsatz her ähnlich verläuft auch die Entwicklung der Isar im Bereich der Pupplinger Au. Der Trend vom verzweigten Gerinne zur Bildung eines dominanten Einzelgerinnes ist in Abb. 142 mit Luftbildern aus den Jahren 1925, 1971 und 1982 anschaulich dokumen-

tiert.

Die maßgeblichen Ursachen bei der Entwicklung eines dominanten Einzelgerinnes in diesem Isarabschnitt sind ebenfalls mit denen der Melezza vergleichbar,

- Erosionsregime infolge Geschieberückhalt an Zubringern und Hauptfluß (Sylvensteinspeicher) und
- verändertes Abflußregime (Sylvensteinspeicher hält Extremereignisse zurück),

z.T. sind aber noch andere Isar-spezifische Einflüsse zu berücksichtigen, die an dieser Stelle aber nicht weiter vertieft werden sollen. Auch in naturnahen Abschnitten mit vorhandener Überbreite des Flußbetts bilden sich Tiefenrinnen aus, wie die aus [145] entnommene Abb. 143 im benachbarten Bereich der Ascholdinger Au zeigt.

Abbildung 143: Ausbildung einer Tiefenrinne in der Isar, Abschnitt Ascholdinger Au, nach [145]

Das mehrere hundert Meter breite Isarbett im Bereich von Ascholdinger und Pupplinger Au war von vielen Einzelarmen und Rinnen durchzogen. Auf seitlich anschließenden flachen Terrassen siedelte eine vielfältige Auenvegetation. Wird der Geschiebezulauf geschwächt, so verliert ein verzweigter Fluß rasch seine wesentlichen Merkmale. Die Tiefenerosion – seltener die Seitenerosion – verdrängt das Flechtwerk verästelter Arme und Rinnen. Im Laufe von rd. 50 Jahren hat sich ein Einzelgerinne mit gestrecktem Lauf herausgebildet, während die Nebenarme zusehends verkümmern. Abb. 144 zeigt eine schematisierte Grundrißdarstellung von Abb. 142, erweitert um den Zustand 1994.

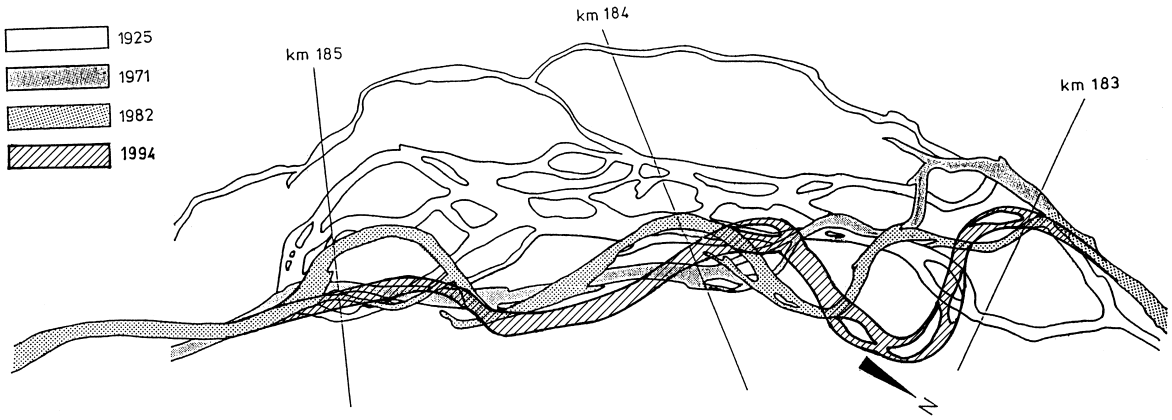


Abbildung 144: Schematisierte Grundrißdarstellung der Isar der Jahre 1925, 1971, 1982 und 1994,

Während sich das dominante Einzelgerinne im Erosionsregime laufend vertieft, verändert sich auch die Zusammensetzung der immer seltener überronnenen Kiesbänke. Dieser Vorgang, der letztlich zur Bildung von Bewuchs auf Kiesbänken führt und die Mobilität der Gerinnemorphologie beschneidet, beschreibt BAUER [91] sehr einprägsam: “Das Geschiebegemisch wird ... vom abfallenden Hochwasser je nach dem Anteil an Feinkorn und dem Abfall der Geschwindigkeit beträchtlich entmischt. ... Auch bei späteren Anschwellungen werden aus den Kiesbänken und der Sohle die jeweils feinkörnigen Anteile an Geschiebegemisch abgezogen, mit dem mißlichen Ergebnis, daß eine später entnommene Geschiebeprobe ein etwas gröberes d_m als das beim Hochwasser vorhandene ergibt. Das hat zur Folge, daß bei jahrelanger Abflussarmut und daraus resultierender Geschiebelosigkeit das d_m der Abdeckung, wenn auch noch so geringfügig, immer weiter anwächst. Schließlich bleibt eine ausgewaschene Kiesdecke mit dem 2 bis 2,4 fachen d_m (des Kiesbankinneren) übrig, die nicht einmal mehr von mittleren Anschwellungen aufgerissen, aufbereitet und transportiert wird. Anders ausgedrückt der Abfluß, der den Beginn der Geschiebeführung auslöst, rückt immer weiter hinauf. Indirekter Beweis: durch Baggerung wundgehaltene Flussstrecken haben immer einen wesentlich höheren Geschiebetrieb, weil sie nicht abgedeckt sind und deshalb ihr ursprüngliches viel kleineres d_m aufweisen. Dauert die Abflussarmut noch länger, wie dies in den Jahren 1960 bis 64 der Fall war, so lagern sich in den höher gelegenen Teilen der Kiesbänke Schwebstoffe an und es kommt zum Auswachsen der Flussknöterichgesellschaft und der Barbarakrautflur sowie von Weidenstrauchwerk. Die Mobilität der Kiesbänke wird damit nochmals, und zwar ganz beträchtlich, herabgesetzt."

Auch die hohe Schwebstoffführung eines Flusses kann sich begünstigend auf die Rinnenbildung auswirken, nämlich dann, wenn es bei einer Lauffixierung des Flusses zur Rehnenbildung im Böschungsbereich und ufernahen Vorland kommt. KERN [167] nennt zwei Formen der Auenauflandung: „zum Ersten die kleinräumige Aufschüttung von Sand und Kies in ufernahen Bereichen bei starken Hochwasserabflüssen, und zum zweiten die allmähliche, großflächige Sedimentation von Schwebstoffen im gesamten Überschwemmungsbereich. Die ufernahe Geschiebeablagerung (Rehnenbildung, Uferwall) ist im allgemeinen kein Problem ... und wird in mäandrierenden Gewässern nach und nach wieder umgelagert.“

Bei freier Laufentwicklung können solche natürlich entstandenen, uferbegleitenden Wälle immer wieder durchbrochen werden und der Anlandungsvorgang bildet sich entlang eines verlagerten Gewässerlaufes neu. Anlage 24.63 zeigt am Beispiel der Itz eine Grundrißdarstellung zur Rehnenbildung, ebenso einige charakteristische Querschnitte. Letztlich kann Rehnenbildung als Anlandungsvorgang im ufernahen Vorlandbereich angesehen werden, der sich bei Laufverlagerung über das gesamte Vorland erstrecken kann,

unter Umständen kann es aber auch bei der Lauffixierung des Gewässers zu einer verstärkten Entkoppelung von Fluß und Vorland kommen: Die Uferrehnen landen immer höher auf und die Vorländer werden immer seltener überflutet. Der Flußschlauch hat in zunehmendem Maße die hydraulische Belastung allein zu tragen. Solche Vorgänge sind eher für Gewässer mit feinen Sedimenten typisch, unter Umständen können sie aber auch an kiesführenden Gewässern von Bedeutung werden. Anlage 24.64 zeigt zwei Vegetationsprofile durch eine Flußaue im naturnahen Zustand und nach Korrektionsmaßnahmen mit der Folge von bevorzugt ufernahen Anlandungen (Rehnenbildung).

VOLLRATH [148] schildert die Rehnenbildung ausführlich am Beispiel der Itz. Die Itz, ein Gewässer im nordbayerischen Raum (NQ/MQ/HQ: 0,3/5/160 m^3/s) hatte vor Errichtung der mittelalterlichen Mühlen ein Gefälle bei 0,6-1,2 ‰, danach ein Gefälle von 0,14-0,24 ‰. Somit wurde das Gefälle auf 1/5 bis 1/4 des ursprünglichen Wertes reduziert. VOLLRATH definiert die Itz als Gewässertyp, als „der gefälleschwache Fluß, der in der Unmasse seines feinkörnigen Sedimentationsgutes gefangen wurde."

Solche Anlandungsvorgänge im Böschungsbereich und ufernahen Vorland sind kein Einzelfall sondern müssen bei lauffixierten Gewässern mit hoher Schwebstofffracht als natürlicher Vorgang angesehen werden; ähnliche Böschungsentwicklungen sind auch von der Saalach, Tiroler Achen, Mangfall und Ammer bekannt. Abb. 145 zeigt z.B. einen Böschungsbereich der Ammer, der im Zuge der Gewässerunterhaltung von Bewuchs und Vorlandanlandungen freigestellt wurde [148].

Abbildung 145: Freigestellter Böschungsbereich der Ammer, Aufnahme vom 30.03.1998, nach [148]

An der Salzach kann man das Phänomen Rehnenbildung in schwächerer Ausprägung, beobachten; s. 5.5 und 5.9. Abb. 34 in 5.5.1 zeigt z.B. ein Profil 2 km unterhalb des KW Urstein. Im rechten Böschungsbereich sind massive, sukzessive Anlandungen zu erkennen. Testschürfe des ASLR haben gezeigt, daß es sich ausschließlich um sandiges Material handelt, das durch die i.d.R. halbjährlichen Stauraumspülungen antransportiert wird und sich bevorzugt bei ablaufender Welle in den strömungsberuhigten Aufwuchszo-

nen der Uferböschung anlandet. Im Rückstaubereich der Nonnreiter Enge wurde der uferbegleitende Treppelweg seit den 50er Jahren z.T. 1 bis 2 m mit Sand bedeckt. Seit dieser Zeit ist bei zahlreichen Profilen ein „Wandern“ der Uferböschung in Richtung Fluß zu beobachten, was letztlich auf Aufwuchs, der Feinteile auskämmt, die wiederum Grundlage für neuen Aufwuchs bilden, beruht. Vermutlich im Zuge der Deichbauten an Salzach und Götzinger Achen wurden Durchlässe in den uferbegleitenden Unterhaltungsweg eingebaut, die bei ablaufender Hochwasserwelle die Vorländer zur Salzach entwässern sollten. Die Altwasserrinnen im Vorland verlandeten zwischenzeitlich z.T., was zu einer Verlangsamung des Abflußvorganges führte. Vor den Durchlässen setzte sich verstärkt Feinsand ab und der behinderte die Rückströmung in die Salzach. Einige Durchlässe verlandeten fast vollständig. Im Zuge der vom WWA Traunstein seit einigen Jahren betriebenen Vorlandreaktivierung werden diese Durchlässe wieder in Funktion gesetzt.

Abbildung 146: Erosinsrinne im Ursteiner Konglomerat, Aufnahmen vom 22.10.1969 (linke Bildhälfte) und November 1989 (rechte Bildhälfte)

Auch die Untergrundgeologie kann sich begünstigend auf die Rinnenbildung auswirken. Das nachfolgende Beispiel soll verdeutlichen, daß Rinnenbildung nicht nur bei Flüssen mit „Überbreite“ auftreten kann, sondern auch bei korrigierten Flüssen, die bei ausgeglichenen Geschiebehaushalt im Bereich alternierende Bänke - ebene Sohle anzusiedeln wären. Dieses Beispiel könnte auch für einen Sohldurchschlag herangezogen werden, da der Seeton ein entsprechend flächiges Gefahrenpotential darstellt. Die darüber liegende widerstandsfähigere Schicht erlaubt es aber dem Fluß nicht, die Sohle flächig anzugreifen sondern rinnenförmig. Insofern ist es nicht möglich, scharf zwischen Rinnenbildung und Sohldurchschlag zu unterschei-

den. Beide Phänomene treten oft gemeinsam auf und können sich u.U. verstärken.

Im Bereich Urstein bis Hallein steht das sog. Ursteiner Konglomerat direkt über dem Seeton an, s. 4.3.1. Während das Ursteiner Konglomerat, umgangssprachlich auch „Hurdenbänke“ genannt, ein relativ fest verbackenes, grobkörniges Gemisch darstellt, das von der Salzach sukzessive ausgewaschen, unterspült, oder vom Frost gelockert wird und letztlich periodisch zusammenbricht und von der Salzach weiter zerkleinert und als Geschiebe abtransportiert wird, bildet sich durch die skizzierten Abbauvorgänge eine Tiefenrinne die z.T. deutlich schmäler als die Sohlbreite ausfällt, bei entsprechend fortgeschrittener Erosion aber auch an die Uferböschungen heranreicht und die Standsicherheit der Ufer gefährdet. Die linke Bildhälfte von Abb. 146 zeigt ein Detail der Abb. 5 aus 4.3, die Aufnahme vom 22.10.1969 erfolgte entgegen der Fließrichtung. Am Bildrand rechts oben erkennt man die Rehhofsiedlung. Die rechte Bildhälfte zeigt analog Abb. 6 zwei Detailaufnahmen von „Hurdenbänken“ in diesem Bereich (oben, linkes Ufer ca. Fkm 77,6; unten, rechtes Ufer ca. Fkm 77,3), beide Aufnahmen wurden rd. 20 Jahre später (November 1989) aufgenommen.

Mit zunehmender Tiefe der Rinne wächst die Gefahr für ein Nachbrechen der Uferböschungen. Im Stauraum Urstein mußte deswegen an mehreren Stellen bereits die Uferböschung saniert und bei Fkm 79,35 im Februar 1990 ein Sohlgurt eingezogen werden. Angesichts der fortschreitenden Eintiefungstendenz im oberen Stauraumdrittel hat sich die sohlstützende Wirkung des KW Urstein in diesem Bereich als zu gering herausgestellt. Abb. 147 zeigt Sohlgurt und „Hurdenbänke“ bei Fkm 79,35 anläßlich einer Besichtigung vom 12.03.1996.

Abbildung 147: Sohlgurt bei Fkm 79,35, Aufnahme vom 12.03.1996
Ein Beispiel mit vergleichbarer Brisanz bot der eingetiefte Inn rd. 1 km unterhalb der Staustufe Neuötting im Jahre 1971 [143], s. Abb. 148 bis 150.

Abbildung 148: Inn bei Fkm 90,0 mit erodierter Flußsohle nach [143], Aufnahme vom 27.02.1971

Abbildung 149: Inn bei Fkm 90,0 (Detail zu Abbildung 148), Aufnahme vom 27.02.1971

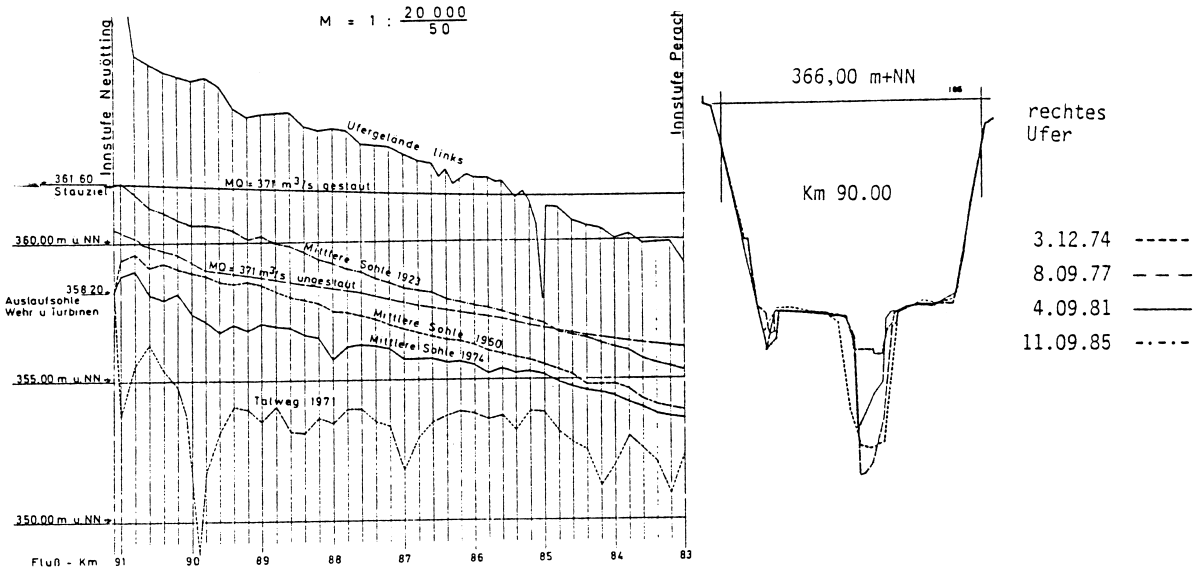


Abbildung 150: Längsschnitt des Inn und Querschnittsaufnahmen bei Fkm 90,0 nach [143]

Die 8 m tiefe canonartig herausgefräste Erosionsrinne, entwickelte sich innerhalb weniger Jahre im ungestützten Bereich einer Ausbaulücke zwischen den beiden Stufen Neuötting (Fkm 91,1/1951) und Stammham (Fkm 75,4/1955). Die Länge der Rinne betrug etwa 800 m. Die Tiefenerosion in der tertiären Unterschicht war so heftig, daß der rasche Bau einer zusätzlichen Staustufe, nämlich Perach (Fkm 83,0/1977) notwendig wurde.

Da geologische Aufschlüsse im unmittelbaren Schadensbereich fehlen kann über den Aufbau der Untergrundgeologie nur spekuliert werden. Wahrscheinlich wurde hier der schwächste Bereich des seetonähnlichen Tertiäruntergrundes herausgefräst, vermutlich dort, wo schluffig-sandige aber nicht schluffig-tonige Partien lagen. Inwieweit die Rinnenform hydraulisch/morphologisch hinsichtlich einer optimalen Breite o.dgl. geprägt war, kann derzeit nicht beurteilt werden. Aus diesem Beispiel kann aber immerhin folgende qualitative Einschätzung abgeleitet werden: Bei relativ homogenem Untergrund mit kohäsiven Eigenschaften (Seeton) ist eher mit einem rinnenförmigen Einschneiden (Rinnenbildung) zu rechnen (ggf. vorzugsweise in leichter zu erodierende „Schwachstellen“), bei nichtbindigen, feinkörnigen Böden eher mit einem großflächigem Versagen (s. Systematik des Sohldurchschlages, 5.13.5.4).

6 Ergebnisse

6.1 Erosionsgefährdete Strecken

Die Untersuchungen zeigten, daß der Flußbettuntergrund und die Geschiebeauflage komplizierter aufgebaut und verteilt sind, als ursprünglich zu vermuten war. Als Ergebnis bleibt aber auch festzuhalten, daß nicht die gesamte Untersuchungsstrecke gleichmäßig erosionsgefährdet ist und daß beim Gefährdungsgrad durchaus Unterschiede bestehen.

Die Ergebnisse stellen den aktuellen Stand der Erkenntnisse zum Zeitpunkt der Beendigung der Untersuchungen dar, also Jahresmitte 1998. Da der alpine Fluß trotz aller Stauhaltungen sehr dynamisch ist, können sich in kurzer Zeit in den nicht gestauten Strecken Änderungen in der Flußbettkonfiguration ergeben, besonders im Verlauf und der Höhenlage des Talwegs. Somit ergeben sich u.U. auch mit der Zeit Änderungen im Grad der Gefährdung. Die folgenden Angaben zur möglichen Erosionsgefährdung einzelner Stellen oder Streckenabschnitte beruhen auf geologisch-sedimentologischen Beobachtungen und Messungen. Ingenieurgeologische und baugrundtechnische Angaben und Berechnungen waren nicht Gegenstand der Untersuchungen.

6.1.1 Saalach (unterhalb der Kiblinger Sperre)

Im Rahmen der „Studie zur Sanierung der Saalach“ wurden in enger Abstimmung zwischen dem Amt der Salzburger Landesregierung und dem Bayer. Landesamt für Was-serwirtschaft 1997/98 zwei Bohrserien mit insgesamt rund 50 Ufer- und Flußbohrungen durchgeführt. Die nachfolgende Streckencharakterisierung basiert auf den Ergebnissen dieser Untersuchung.

6.1.1.1 Streckenabschnitt Kiblinger Sperre bis BAB-Brücke (Fkm 20,0 bis 12,0)

Von der Kiblinger Sperre bis etwa zur Autobahnbrücke wurden neun Flußbohrungen abgeteuft. Lediglich bei Fkm 12,8 oberhalb der Pidinger Schwelle wurde das Liegende der Flußkiese erreicht. Rund 7 m unter der Flußsohle stehen hier Schluff und Ton mit einer eingelagerten schluffigen Feinsandlage an (Seeton). Alle übrigen Bohrungen enden mit Bohrtiefen von jeweils 10 bzw. 7 m im Kies.

6.1.1.2 Streckenabschnitt BAB-Brücke bis Käferhamer Wehr (Fkm 12,0 bis 10,0)

Unter der Flußsohle kommen zunächst 1 bis 3 m steinig bis stark steinige, sandige Fein-/Grobkiese. Darunter konnte eine geringmächtige Grundmoräne nachgewiesen werden, bevor im Liegenden die Schichten der Walserberg-Serie folgen. Diese Sand-, Schluff- und Tonsteine bilden eine Felsaufragung, die sog. Pidinger Schwlle.

6.1.1.3 Streckenabschnitt Käferhamer Wehr bis Zollhauswehr (Fkm 10,0 bis 8,0)

Im Bereich der in enger Folge liegenden vier Wehre (Käferhamer Wehr, Fkm 10,143; Hammerauer Werkswehr, Fkm 9,22; Staatswehr, Fkm 8,884 und Zollhauswehr, Fkm 8,053) wurde keine neue Bohrung abgeteuft (Rückstaubereiche ohne Erosionsgefahr).

6.1.1.4 Streckenabschnitt Zollhauswehr bis Bruch/Hausmoning (Fkm 8,0 bis 5,0)

Direkt unterhalb des Zollhauswehres stehen unter der Sohle 6,5 m Kies an, unterlagert von schluffigem Feinsand. Zwischen Fkm 7,4 und 5,8 wurde eine z.T. über 10 m mächtige Seetonlinse erbohrt: Während die Saalach ihre eigenen Flußkiese bereits durchschnitten hat und die Sohle hier z.T. schon im Seeton verläuft, sind im Uferbereich noch 3 bis 4 m sandig-steiniger Kies anstehend, bevor im Liegenden ein Schluff mit wechselndem Sand- und Tonanteil folgt. Dieser Seeton mit dominantem Schluffanteil deutet, im Gegensatz zum sog. Salzburger Seeton, auf eine eher unruhige Beckensedimentation hin. Zum Liegenden und nach oberstrom ist ein Übergang zu schluffigem Sand zu beobachten. Bei Fkm 6,8 wurde im Liegenden des Seetones in rund 11 m unter Gelände (entspricht etwa 1 m unter dem Niveau der Flußsohle) eine Grundmoräne angebohrt. 600 m flußaufwärts wurde unter dem Seeton ebenfalls Grundmoräne angetroffen, allerdings erst in rund 6,50 m unter der Flußsohle. Diese Flußbohrung durchörtert die 2 m mächtige Moräne und endet in einem Konglomerat (Walser Nagelfluh). Bei Fkm 5,6 stehen rund 4 m mächtige Deltaschotter an, die zum Liegenden in sandige, schwach schluffige Sedimente übergehen. Zwischen Fkm 5,0 und 5,4 wurde ein bis 11 m mächtiger Kies-Sand-Körper (Verzahnungsbereich Deltaschotter / Eisrandsediment) erschlossen, der von einem schluffigen Feinsand unterlagert wird.

Im Bereich der Seetonlinse entzieht sich der Eintiefungsprozeß der Sohle jeder Prognose. Die Standsicherheit der Ufer ist wegen der fortschreitenden Eintiefung äußerst kritisch zu sehen. An mehreren Stellen sind in jüngster Zeit Risse im Böschungsbereich aufgetreten, denen kurzfristig mit Freistellungsmaßnahmen (Entfernen der Auflast) begegnet wurde.

6.1.1.5 Streckenabschnitt Bruch/Hausmoning bis Kraftwerk Rott/Freilassing (Fkm 5,0 bis 2,8)

Bei Fkm 4,6 wurden nach einer Kiesauflage etwa vier Meter unter der Flußsohle schluffige Sande erbohrt, bei Fkm 3,8 folgt dagegen bereits nach einem Meter Kies die Sandschicht. Im unmittelbaren Rückstaubereich des KW Rott, wo keine Erosion zu erwarten ist, wurde auf Bohrungen verzichtet.

6.1.1.6 Streckenabschnitt Kraftwerk Rott/Freilassing bis zur Mündung (Fkm 2,8 bis 0,0)

Der Untergrundaufbau ist im Prinzip mit dem oberstromigen Flußabschnitt vergleichbar. Unter einer wechselnd mächtigen Flußkieslage folgt ein Sand, der mit keiner Bohrung durchstoßen werden konnte. Der gut abgerundete, sandig-steinige Kies schwankt in seiner Mächtigkeit zwischen 0,65 m und 4,0 m. Naturgemäß ist die Kiesmächtigkeit im Uferbereich größer als unter der Flußsohle. Zwar liegt überall im Flußbett eine mindestens wenige Dezimeter mächtige Kieslage, die je nach Abflußverhältnissen erodiert oder akkumuliert wird, jedoch hat sich die Saalach im unteren Lauf größtenteils bereits in die Sande eingeschnitten. Die Grenze Kies/Sand liegt im ufernahen Bereich z.T. mehrere Meter über der Flußsohle. Lediglich im Bereich Fkm 1,4 hat die Saalach die anstehenden Kiese noch nicht durchschnitten. Hier wurden im Uferbereich über 10 m Kies erbohrt, im Fluß immer noch rund 4 m. Im Liegenden der Flußkiese folgt eine mächtige graue schluffige Sandlage; nach unten nimmt der Schluffanteil dabei zu (Eisrandsediment). Im Mündungsbereich wurde die im Rahmen der Salzach-Untersuchung abgeteufte Bohrung (B1/91) in die Auswertung miteinbezogen. Der dort in 13 m unter Flußsohle angetroffene sog. „Salzburger Seeton“ fehlt in seiner typischen Ausbildung in allen Saalachbohrungen. Das Saalachteilbecken wurde überwiegend mit gröberklastischen Ablagerungen aufgefüllt, im Gegensatz zum Salzburger Hauptbecken mit seinen feinkörnigeren Sedimenten. Im Be-

reich der Saalachmündung liegt vermutlich der Übergangsbereich zwischen dem mit sandig-schluffigen Eisrandsedimenten gefüllten Saalachteilbecken und dem Salzburger Hauptbecken mit seinem schluffig-tonigen Seeton.

In den letzten 80 Jahren wurde die Kiesauflage um rd. 4 m abgetragen, im gesamten Streckenabschnitt fehlt eine ausreichend mächtige Kiesauflage. Die Kiesscholle im Bereich Fkm 1,4 ist für den übergeordneten Erosionsprozeß nicht relevant. In den vom Fluß angeschnittenen Sanden sind die höchsten Erosionsgeschwindigkeiten zu verzeichnen (6 bis 8 cm/a mit großen Schwankungen). Der Eintiefungsprozeß der Sohle entzieht sich jeder Prognose, insbesondere ist ein schlagartiges Tieferlegen der Sohle im bereits erfolgten Sohldurchschlag nicht ausgeschlossen. Besonders auf Salzburger Seite (Außenkurve) sind in den letzten Jahren wiederholt Böschungsrutsche aufgetreten. Es besteht die Gefahr, daß die Uferböschungen unterspült werden.

6.1.2 Salzach oberhalb der Saalachmündung, Bergheimer Schwelle

Die Erosionsgefährdung wird mit nachfolgender Tabelle zusammengefaßt. Auf die Besonderheit der Schwelle Bergheim als temporär wirkende Erosionsbasis wird in 6.1.2.3 eingegangen.

Gefährdungsgrad der Salzachsohle zwischen Salzachöfen und Saalach			Tabelle 32
Salzachöfen bis Hallein	Hallein bis Urstein	Urstein bis Sohlst. S.-L.	Sohlst S.-L. bis Saalach
Fkm 96,680 - 82,880	Fkm 82,880 - 75,062	Fkm 75,062 - 63,950	Fkm 63,950 - 59,300
derzeit nicht gefährdet	Einstau, kaum gefährdet	latent gefährdet	gefährdet

6.1.2.1 Streckenabschnitt Salzachöfen bis Hallein (Fkm 96,68 bis 82,88)

Abbildung 150a: Untere Salzach zwischen Kuchl und Hallein, Aufnahme vom 20.10.2000

Die noch vom verbleibenden Geschiebeanfall durch den Paß Lueg, aus der Taugl und vor allem aus der Lammer gespeiste Salzachstrecke befindet sich in latentem Gleichgewichtszustand mit Tendenz zur Untersättigung des Transportvermögens. Abb. 150a zeigt die Untere Salzach zwischen Kuchl und Hallein. Nach Einstellung aller Geschiebeentnahmen wird sich u.U. ein neuer Gleichgewichtszustand einstellen, dessen Auswirkung noch nicht genau vorhersagbar ist. Da die Sohle vom Wehr des Halleiner Papierwerkes gestützt wird, wird keine akute Gefährdung dieses Laufabschnittes angenommen.

6.1.2.2 Streckenabschnitt Hallein bis Sohlstufe Salzburg-Lehen (Fkm 82,88 bis 63,95)

Im Ortsbereich Hallein kann eine Erosionsgefährdung durch die sohlstützende Wirkung des KW Hallein ausgeschlossen werden. Die sohlstützende Wirkung des KW Urstein reicht jedoch nicht vollständig bis in das Unterwasser des KW Hallein. Hier kann insbesondere ein rinnenförmiges Einschneiden der Salzach in das Ursteiner Konglomerat beobachtet werden. Im Stauraum Urstein mußte an mehreren Stellen die Uferböschung saniert und bei Fkm 79,35 im Jahre 1990 ein Sohlgurt eingezogen werden.

Die Sohle im Unterwasser des KW Urstein liegt ohne nennenswerten neuen Geschiebeeintrag bis ca. Fkm 72 fast ausschließlich in der Erosionsrinne des Ursteiner Konglomerates. Am Grillberg (Fkm 73,900 rechts) mit seinem knapp in den Fluß hineinragenden Kalksporn aus Oberalmer Schichten dünnt das Konglomerat im Bereich des Flußschlauches stark aus. Das Ursteiner Konglomerat stellt noch für ca. 5 m bis stellenweise ca. 10 m in die Tiefe die bremsende Sohle bzw. den Untergrund der Sohle in einem dar, allerdings hat sich der Fluß hier wie oberhalb des KW Urstein schluchtartig eingegraben und kann seitlich trotz gelegentlicher Unterschneidungen des Ufers kaum ausbrechen. Die Salzach wird also weiterhin - verstärkt bei Hochwasser - mehr oder weniger senkrecht in die Tiefe erodieren. Diese Strecke ist, abgesehen von extremen HW-Ereignissen mit unberechenbarer Wirkung, infolge des etwas stärkeren Widerstandes der Konglomeratsohle weniger erosionsgefährdet. Gänzlich stabil ist sie nicht. Eine lokale Gefährdung der Uferböschungen kann nicht ausgeschlossen werden.

Mit dem Ausstreichen des Ursteiner Konglomerates bei ca. Fkm 72 beginnt die Salzachstrecke, bei der im Stadtbereich von Salzburg unter einer stark wechselnden, in der Regel etwa 0,5 bis 2 m mächtigten Kiessohle der Untere oder Obere Seeton direkt ansteht. Da der einzige unerhebliche Geschiebezubringer der Klausbach bei Fkm 71,2 ist, bleibt das Transportvermögen ungesättigt. Diese Strecke ist bis zur Stauwurzel der Sohlstufe Salzburg als Ganzes latent erosionsgefährdet, da vor allem der Obere schluffig-sandige Seeton der Erosion kaum Widerstand entgegen setzt. Einzelne Punkte oder Abschnitte sind nicht genau bezifferbar. Diese Strecke sollte als ganzer relativ gleichartig reagierender Flußabschnitt beobachtet und kontrolliert werden. Felsaufragungen, die wie z.B. am Müllner Steg das rechte oder linke Ufer erreichen, tauchen jeweils steil ab und stützen die Sohle in keinem Fall.

6.1.2.3 Streckenabschnitt Sohlstufe Salzburg-Lehen bis Saalachmündung (Fkm 63,95 bis 59,30)

Im Grundsatz gilt das Gleiche wie für den Streckenabschnitt unterhalb Fkm 72. Die Erosionsleistung ist bekanntermaßen unterhalb von Brücken bzw. zwischen den Brückenpfeilern am größten. Das gilt gleichermaßen für den Flußabschnitt unterhalb der Sohlstufe, wo etwa ab dem Austraßensteg (Traklsteg) der Obere Seeton weitflächig ansteht. Diese Strecke scheint gefährdeter zu sein, sie bedarf deshalb erhöhter Aufmerksamkeit als Ganzes bis zur Saalachmündung, keineswegs nur an der Autobahnbrücke.

An drei Stellen tritt der Fels an das Flußbett des heutigen Gerinnes heran, aber nur an einer bildet er auch zugleich die Sohle: Als Bergheimer Schwelle. Man kann, wie aus Anlage 6 und 12 ersichtlich, die Schwelle zweiteilen, wobei der untere Teil wiederum nur das rechte Ufer berührt (Muntigler „Schwelle“). Diese Stelle bei Fkm 59,7 bis 59,5; unmittelbar unterhalb der Fischachmündung, ist ein Ausläufer der Hochgitzen bei Muntigl. Hier bilden weiche Sandsteine und Mergel der Altlengbacher Schichten des Flysch das rechte Ufer [11], [17], [22]. Diese tauchen jedoch steil nach Westen ab, so daß nicht einmal die Sohle mehr vom Flyschfels gebildet wird. Es ist dies die gleiche Situation wie am Müllner Steg (Fkm 65,55), wo die Flyschoberfläche am nördlichsten Sporn des Mönchsberges von der Geländeoberkante so steil nach Osten einfällt, daß bereits nach wenigen Metern die Geschiebesohle des Flusses von Seeton unterlagert wird, vgl. Anlage 6 und 12.

Abbildung 151: Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Aufnahme vom 07.05.1996

Das eingeschnittene Fischachtal mit flacher Quartärfüllung trennt die Flyschsporne von Muntigl und Bergheim. Der Flysch von Bergheim (Fkm 62,0) bildet auf der gesamten Flußbreite die Sohle und taucht erst rd. 30 bis 40 m westlich des Westufers ab. Trat der Flysch früher bei ausreichender Kiesüberdeckung an der Sohle nicht oder kaum merklich in Erscheinung (vgl. Anlage 22.8), so bildete er in den letzten Jahrzehnten zuerst eine Stromschnelle und heute - bereits in der Flußmitte eingeschnitten - einen kleinen Canyon. Es stehen NW-SO streichende stark wechselnde Mergel, Blättermergel, Sandsteine und Feinkonglomerate an, die der Fluß selektiv erodiert; deutlich sind Strudellöcher erkennbar. Abb. 151 zeigt das orografisch rechte Ufer der Bergheimer Schwelle.

Abbildung 152: Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Detailaufnahme vom 25.02.1997

Abbildung 153: Bergheimer Schwelle bei Fkm 62,0; Detailaufnahme mit Strudellöchern vom

Da der Flysch hier einen Riegel im Talboden bildet, wird die Bergheimer Schwelle als eine Art natürliche Sohlschwelle erhalten bleiben. Allerdings ist offenbar der Erosionsfortschritt größer, als ursprünglich vermutet. Hier sind sorgfältige Messungen angebracht. Die Abbildungen 152 und 153 zeigen Detail-aufnahmen der Schwelle. Zu sehen sind aufragende Schichten mit größerem Erosionswiderstand, die mit Kies verfüllten weicheren Bereiche wurden bereits von der Salzach erodiert.

Aus den zwei Längsprofilen im Gutachten zum Projekt KW Hagenau [11] sowie weiteren Bohraufschlüssen und eigenen Geländebegehungen wurden die Längsschnitte der Anlage 12 erarbeitet. Sie zeigen die Situation an beiden Ufern (nicht im Fluß) zwischen Fkm 59,5 (oberhalb Saalachmündung) bis Fkm 63,3 (Traklsteg = Austraßensteg). Die Anlagen 6, 7 und 12 zeigen, wie uneben die Felsoberfläche im Untergrund ist. Die Schichtenabfolge ist die gleiche wie im Stadtbereich von Salzburg und im Grunde im gesamten Beckenbereich: Dem Felstalboden liegt die würmeiszeitliche Grundmoräne in wechselnder Mächtigkeit auf, unmittelbar gefolgt vom beckenfüllenden Seeton. Diesem liegt schichtdiskordant spät- und postglazialer Schotter auf.

Der untere Flußabschnitt im Schwellenbereich ist für das KW-Projekt refraktionsseismisch abgetastet worden. Hierbei ist das Moränenmaterial vom Flysch nicht eindeutig zu unterscheiden. Es ist also möglich, daß auch hier streckenweise die Grundmoräne auf dem Fels liegt.

Die Linie der Felsoberkante läßt erkennen, daß die Bergheimer Schwelle in der Tat einen Felsenrücken im Untergrund darstellt; sie ist also im flußmorphologischen Sinne eine Erosionsbasis, allerdings mit temporärem Charakter (Erodierbarkeit des Materials). Der rechtsufrige Muntigler Sporn hat keine Entsprechung am Westufer, darum ist die umgangssprachliche Bezeichung als „Schwelle“ flußmorphologisch nicht gerechtfertigt. Die Flyschschwelle besitzt im Vergleich zur angrenzenden erosionsempfindlichen Flußsohle einen höheren Erosionswiderstand, eine dauerhafte Sohlstützung bietet sie aber nicht.

Der Bergheimer Flyschrücken (praktisch die Fortsetzung bzw. der westliche Ausläufer des Plainberges) war eine Aufragung im ehemaligen Salzburger See und ist heute von Seeton umhüllt, wobei die eiszeitlichen Gletscher unterstrom der Schwelle einen tiefen Kolk ausgeschürft haben: das Becken reicht hier bis 70 m u. Gelände (im Anstrom südlich der Schwelle maximal 40 m). Ob die Bergheimer Schwellenregion einmal gänzlich von Seeton überdeckt war (und damit im ehemaligen See nicht eine Insel, sondern eine Untiefe darstellte), ist nicht mehr rekonstruierbar.

6.1.3 Salzach unterhalb der Saalachmündung

Aufgrund der Tatsache, daß dieser Laufabschnitt gesondert mit Ufer- vor allem aber Flußbettbohrungen untersucht wurde, konnten die Flußabschnitte, die erosionsgefährdet erscheinen, wesentlich genauer lokalisiert werden [2]. Diese Angaben wurden noch einmal überprüft, an ihrer Aktualität hat sich gegenüber [29] praktisch nichts geändert. Wie im Salzburger Laufabschnitt steht unter der in der Regel dünnen Kiessohle der Untere oder Obere Seeton an. Folgende Abschnitte und Stellen werden als empfindlich gegen die Flußerosion angesehen:

Erosionsempfindliche Bereiche zwischen Saalachmündung und Mündung in den Inn Tabelle 33

Fkm	Beschreibung des Untergrundes
59	Seeton, schluffig-sandig, lose unter ca. 1 m Kiesbedeckung
57 - 55	Seeton, schluffig-sandig und sandig-kiesige Zwischenlage, lose unter maximal 1,5 m Kiesbedeckung
46	Sand, lose, auf Sohlenhöhe
45	Sand, schwach kiesig, lose unter 1 m bis 1,5 m Kiesbedeckung
43,5	Seeton, schluffig-tonig, lose, auf Sohlenhöhe
43 - 41	Seeton, schluffig-tonig, lose und z.T. Sand, schwach-kiesig auf Sohlenhöhe oder unter maximal 1 m Kiesbedeckung
40 - 28	Allgemein relativ dünne Geschiebedecke über dem weichen Untergrund aus Seeton
37	Seeton, schluffig-tonig, z.T. Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 0,5 m bis 1 m Kiesbedeckung
34	Seeton, schluffig-tonig, z.T. Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 0,5 m bis 1 m Kiesbedeckung
29,5	Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 1 m Kiesbedeckung
28,3	Sand, schwach-kiesig, lose, unter maximal 1 m Kiesbedeckung
22,5	Seeton, schluffig-sandig, lose, unter maximal 1,5 m bis 2 m Kiesbedeckung
18,5 - 11,2	Wechselnde Kiesauflage zwischen 0,3 m bis 3 m auf Tertiär (relativ fester Sandmergel)

Im Gutachten des Büros RMD-Consult: „Worst-Case-Studie Salzach“ vom Herbst 2000 [153], die im wesentlichen die Strecke Saalach-Mündung-Burghausen bearbeitet, wird u.a. im Rahmen einer ausführlichen Diskussion des Sohldurchschlags als wesentlichem morphologischen Gestaltungsfaktor eine Aufstellung der gefährdeten Bereiche gegeben. Die Bereiche überlappen sich verständlicherweise mit den vorgenannten Flußabschnitten weitgehend. Da die Studie aber punktgenauer arbeiten muß, sind dort zusätzliche Angaben enthalten.

Die Studie unterscheidet ferner Strecken mit „schleichendem Sohldurchschlag“ (die Abschnitte SS01 mit SS13) sowie Strecken, die zum „plötzlichen Sohldurchschlag“ neigen (PS01 und PS02), was nicht ausschließt, daß die scheinbar langsameren Phänomene unter bestimmten Voraussetzungen, z.B. Extremhochwässer, nicht auch schnell reagieren können. Die folgenden Gewässerabschnitte sind nach dem Gutachten vom Sohldurchschlag und damit von u.U. progressiver Erosion bedroht:

Vom Sohldurchschlag bedrohte Salzachbereiche, nach [153]	Tabelle 34
Schleichender Sohldurchschlag (SS)	
SS01	Fkm 58,6 - 58,0, rechte Seite, Lage bestimmt durch Schadenspotential, keine Information über Geologie, Eintiefung in Sand möglich
SS02	Fkm 57,8 - 57,1, linke Seite, leichte Eintiefung in Sand
SS03	Fkm 57,0 - 55,6, rechte Seite, starker Einschnitt in Seeton
SS04	Fkm 48,3 - 47,7, rechte Seite, keine Information über Geologie, tiefer Kurvenkolk beim Oberndorfer Damm
SS05	Fkm 47,8 - 46,0, linke Seite, geologische Information interpoliert, tiefe Kurvenkolke schneiden in sandigen Laufener Schotter ein
SS06	Fkm 46,4 - 45,8, rechte Seite, auf Bogeninnenseite kein Einschnitt, in Furtstrecke Sicherung Böschungsfuß durch Buhnen

SS07	Fkm 42,3 - 40,4, linke Seite, tiefer Kurvenkolk schneidet in Sand und Seeton ein, Stabilisierung durch Sandstein bei Fkm 40,6
SS08	Fkm 36,2 - 36,0, rechte Seite, Kurvenkolk mit Böschungsinstabilität, Böschung saniert
SS09	Fkm 20,8 - 20,4, rechte Seite, tiefer Kurvenkolk schneidet in leicht kiesigen Sand ein
SS10	Fkm 19,8 - 19,4, linke Seite, sehr tiefer Kurvenkolk durch Engstelle, Kolk möglicherweise im Mergelstein
SS11	Fkm 17,6 - 17,1, rechte Seite, keine Information über Geologie, tiefer Kurvenkolk, Steinvorfuß massiv verstärkt
SS12	Fkm 14,7 - 14,3, linke Seite, keine Information über Geologie, sehr tiefer Kurvenkolk durch Engstelle, Sohle stabil
SS13	Fkm 40,0 - 22,0, mehrere Kolke auf beiden Seiten im Bereich wandernder Kiesbänke werden periodisch wieder zugedeckt
Plötzlicher Sohldurchschlag (PS)	
PS01	Fkm 59,3 - 55,8, Keine Information über Geologie auf der rechten Flußseite, Kiesmächtigkeit gering, sehr starke, weiterhin andauernde Eintiefung der mittleren Sohle
PS02	Fkm 48,5 - 46,0, Sohleintiefung wird durch Gesteinsrippe bei Fkm 46,6 stabilisiert. Bei Nachgeben dieser Rippe rückschreitende Erosion bis zum Oberndorfer Damm

Die angegebenen Strecken werden nach geologischer Situation bzw. ihrer Lage zu evt. gefährdeten Objekten in drei definierte Gefährdungsstufen eingeteilt und Abhilfemaßnahmen vorgeschlagen, s. 6.6.

6.2 Einordnung fachlicher Aussagen von GUS, Auenkonzept Salzburg-Nord und Kraftwerksplanungen

Parallel zu den WRS-Arbeiten wurde auf Salzburger Seite durch die Gesamtuntersuchung Salzach (GUS) eine Reihe von Fachbeiträgen erarbeitet, deren Ergebnisse und nachträgliche Ergänzungen kurz den Ergebnissen der WRS gegenübergestellt werden.

6.2.1 Flußmorphologische Studie (GUS-Teiluntersuchung 1.2/2.1.1)

Die Ausarbeitung dieser von BERNHART und OGRIS verfaßten Studie oblag schwerpunktmäßig Prof. Ogris und wurde im September 1994 vorgelegt [23]. Eine Approbation durch die Fachabteilung Wasserwirtschaft erfolgte nicht, stattdessen wurde ein Erweiterungsauftrag mit veränderten Rahmenbedingungen erteilt [157]. Diese Ergänzungsrechung wurde im Dezember 1996 vorgelegt [131] und approbiert. Die Seiten 11 und 12 (Aufgabenstellung, Methode und Ergebnisse) sind im Bericht der GUS „Gesamtübersicht und Kurzfassungen der Teiluntersuchungen“ vom Dezember 1996 enthalten, auf diese Kernaussagen bezieht sich i.w. die Einordnung der GUS-Ergebnisse aus der Sicht der WRS.

Untersucht wurde eine rd. 80 km lange Salzachteilstrecke zwischen Fkm 116,9 (Bischofshofen/Fritzbachmündung) und Fkm 37,8 (Landesgrenze zu Oberösterreich: Fkm 37,542). Es wurde das mathematische Modell WAGES eingesetzt, mit dem Wasserspiegel, Geschiebetrieb und generelle Sohlverformungen unter dem Einfluß von Abflußganglinien berechnet werden können. Im Vergleich zu den Geschiebetransportmodellen SEDICOUP und MORMO stellt WAGES ein wesentlich einfacher

strukturiertes Modell dar, z.B. wurden die Vorländer nicht hydraulisch erfaßt und die Beschaffenheit des Untergrundes wird nicht, z.B. durch einen Schichtaufbau, berücksichtigt. Die zur Verfügung gestellte Inputdatenmenge wurde in [23] auch für das einfacher strukturierte Geschiebetransportmodell WAGES als „gering“ empfunden.

Als Datengrundlage wurde eine 25jährige Jahresreihe 1962/86 verschiedener Pegel verwendet, ferner 16 Geschiebeproben aus den Jahren 1963/64 im Bereich Fkm 39,25 bis Fkm 78,60 und 17 Geschiebeproben von 1992 im Bereich Fkm 85,40 bis Fkm 119,77. Die Querprofile entstammten überwiegend den Jahren 1985/86. Mit WAGES ist es möglich, wesentliche Unstetigkeiten wie Zuflüsse, Abflüsse, Wehre, Sohlschwellen, Brückenpfeiler, Entnahmen und Zugaben einzelnen Profilen zuzuordnen, ferner können Abrieb und Deckschichtbildung nach GÜNTER berücksichtigt werden. Zur Modelleichung standen bayerische Profildaten für den Abschnitt Saalachmündung bis Landesgrenze Salzburg – Oberösterreich zur Verfügung und zwar für den Zeitraum 1953/92, von denen 6 innerhalb der Jahresfolge 1962/86 lagen (1969, 1973, 1975, 1977, 1981 und 1985).

Als wesentliche Konsequenz von Eingangsdaten und Modellaufbau von WAGES ergibt sich, daß Berechnungen nur dann zu aussagekräftigen Ergebnissen führen, wenn eine ausreichend mächtige Kiesauflage vorhanden ist, bzw. die Kornzusammensetzung von Flußsohle und Untergrund durch die verwendeten Geschiebeproben ausreichend repräsentiert wird. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Geschiebeeinträge nur auf groben Schätzwerten beruhen, die zwischenzeitlich mehrfach revidiert wurden und vom Genauigkeitsanspruch nicht zur wesentlich feiner differenzierten Berechnungsmethode eines mathematischen Modells passen.

Bei SEDICOUP und MORMO bestand immerhin die Möglichkeit aus relativ zuverlässigen Entnahmemengen (deren Zusammensetzung allerdings nur aus wenigen Proben bekannt ist) den Geschiebeeintrag über Sohlveränderungen der Berechnungsstrecke in einer zutreffenden Größenordnung rückzurechnen. Die Ergebnisdifferenzen zwischen GUS und WRS sind somit nicht allein modellspezifisch, sondern ganz wesentlich auch von den verfügbaren Eingangsdaten und Validierungsmöglichkeiten bestimmt. Z.B. bestehen wesentliche Unterschiede bei Kalibrierungszeitraum (WAGES: 1967/92, SEDICOUP und MORMO: 1977/92) und Kalibrierungsstrecke (WAGES: kurzer Teilabschnitt, SEDICOUP und MORMO: ganze Berechnungsstrecke).

Die Ergebnisse von [23] und [131] müssen daher wegen der im Gegensatz zur Modellannahme unzureichenden Kiesüberdeckung neu interpretiert bzw. revidiert werden. Der Einschätzung der GUS, daß die „großräumig ermittelten Trends“ als „durchaus sicher angesehen werden können“, kann nach den vorliegenden Erkenntnissen der WRS nicht zugestimmt werden, ebenso nicht der Auffassung: „Die mit Hilfe des mathematischen Modelles erzielten Resultate erlauben eine deutlich verbesserte Maßnahmenbeurteilung ...“. Vielmehr müssen Teilbereiche der Salzach wegen der fehlenden Kenntnis physikalischer Zusammenhänge bzw. nicht vorhandener oder ungeeigneter Berechnungsansätze derzeit als modelltechnisch nicht zuverlässig beherrschbar angesehen werden. Auch der für fein differenzierende mathematische Modelle (SEDICOUP, MORMO) erforderliche umfangreiche Datenbedarf kann derzeit noch immer nicht vollständig befriedigt werden.

Zu den Ergebnissen im einzelnen:

- Im Bereich Landesgrenze bis Sohlstufe Lehen wurde eine Eintiefungstendenz von 0,5 m in 100

Jahren angegeben. Wegen der unzureichenden Kiesüberdeckung sind im Abschnitt Sohlstufe Lehen bis Saalachmündung derartige Mittelwerte nicht aussagekräftig, vielmehr muß von worst-case Szenarien ausgegangen werden, die einen schleichenden bis schlagartigen Sohldurchschlag annehmen. Auch wurden zwischenzeitlich massive flußbauliche Gegenmaßnahmen erforderlich (Sanierung Kompressionskolk Autobahnbrücke Liefering, vgl. 5.1.1.3 und Abb. 19). Von den Geschiebetransportmodellen SEDICOUP und MORMO wurde für das Freilassinger Becken (Fkm 59,3 bis 49,0) für den Zeitraum 1995/2015 eine Sohleintiefung von 0,7 bis 1,0 m prognostiziert, im darauf folgenden Abschnitt bis Fkm 40,0 rd. 0,4 m [158].

- „Bereich Sohlstufe Lehen bis PWA-Wehr (Papierfabrik Hallein): Im wesentlichen stabile Sohlenlage mit nur wenig lokalen Veränderungen.“ Die Aussage steht im Widerspruch zu den Ergebnissen der WRS. Von einer stabilen Sohlenlage kann wegen des erosionsempfindlichen Untergrundes nicht gesprochen werden. Wegen der fehlenden Kiesüberdeckung ist mit einem Fortschreiten der Rinnenbildung in den nicht ausreichend staugestützten Bereichen (Unterwasser KW Hallein) zu rechnen, ferner wird sich die Sohle unterhalb des KW Urstein wegen des zu geringen Geschiebeeintrags in diese Strecke weiter in die Restkiesauflage bzw. das Ursteiner Konglomerat einschneiden.
- „Bereich PWA-Wehr bis Bischofshofen: überwiegend ungleichmäßige Anlandungstendenz von i.M. etwa 1,75 m in 100 Jahren, in Teilabschnitten auch lokale Eintiefungen“ Nach derzeitiger Einschätzung aufgrund der vorliegenden Auswertungen wird es unterhalb des Passes Lueg bzw. Lammermündung bestenfalls zu Sohlhebungen im Dezimeterbereich kommen. Diese Einschätzung stützt sich auf pessimistischere Geschiebeeinträge der Seitenzubringer als in [23] und [131]. Weitere Hinweise liefern Massenbilanzierungen im Zeitraum 1985/98 und die Tatsache, daß seit Einstellung aller Geschiebeentnahmen der Stauraum des PWA Hallein durch Spülungen freigehalten werden konnte (keine Sohlhebung). Diese Trendaussage muß aber als vorläufig angesehen werden und bedarf der Bestätigung aus Beobachtungen der nächsten 1 bis 2 Jahrzehnte bzw. detaillierterer Untersuchungen.

Zu der Aussage „Die Wirksamkeit flußbaulicher Maßnahmen, insbesondere der lokalen Sohlaufweitung, hat sich im mathematischen Modell eindrucksvoll darstellen lassen.“ sind ebenfalls Einschränkungen zu machen:

- In 5.7 wurde unter Verweis auf ZARN dargelegt, daß die Kolktiefe wesentlich eine Funktion der Gewässerbreite ist. Da im Ist-Zustand bereits ein Sohldurchschlag zu befürchten ist (unzureichende Kiesüberdeckung etc.), kann ein dauerhaftes, rinnenförmiges Eingraben des Gewässerlaufes in leichter erodierbare Schichten ebenfalls nicht ausgeschlossen werden, vgl. 5.13.
- HUNZINGER [87] gab 1998 Hinweise zur Dimensionierung von lokalen Sohlaufweitungen. Diese wurden auch von der WRS untersucht und als nicht zielführend ausgeschlossen [158]. Mit einer Aufweitungsbreite von 200 m, einem Sohlbreitenverhältnis von 2 und einer gewählten Länge der Verengung von 1000 m ergibt sich als Grenze zwischen kurzer und langer Aufweitung 640 m. Unter Einbezug des WRS-Geschiebeszenarios A (20.000 bis 40.000 m^3/a), verschiedener Werte für d_m (vgl. Tab 19 und Anlagen 24.1 und 24.2) und der Vorgabe, daß die mittlere Sohllage nicht tiefer als 1995 liegen soll, ergeben sich aber wesentlich größere Grenzwerte, so daß letztlich nur die durchgehende Aufweitung eines ganzen Beckens eine angemessene Lösung darstellt [159].

6.2.2 Auenkonzept Salzburg Nord

Im April 1994 wurde von den Regierungsparteien der Salzburger Landesregierung einvernehmlich die Erstellung eines Konzeptes und eines Maßnahmenkataloges zur Rettung der Salzachauen als sachlicher Themenschwerpunkt vereinbart. Das Untersuchungsgebiet umfaßte Areale im nördlichen Stadtgebiet von Salzburg bis zur Landesgrenze mit Oberösterreich. Im November 1995 wurde der Salzburger Landesregierung der Schlußbericht vorgelegt [160]. Im Regierungsbeschluß vom 27.11.1995 wurde von der Salzburger Landesregierung die Weiterverfolgung der Variante C mit der Intention „Wiederherstellen eines naturnäheren Zustandes" beschlossen. Vom Land Salzburg wurde eine Machbarkeitsstudie bezüglich einer Flußaufweitung im Bereich der Antheringer Au in Auftrag gegeben [161], deren Ergebnisse in die Endphase der Berichterstellung von [160] noch einflossen.

Im Auenkonzept Salzburg Nord wurden Zielvorstellungen entwickelt, wie die Wiederherstellung eines naturnäheren Zustandes (Variante C) aussehen sollte. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf dem Abschnitt Saalachmündung bis Oichtenmündung:

- Ein großflächige Tieferlegung der Au wurde wegen der Zerstörung wertvoller Lebensräume nicht empfohlen.
- Es soll eine durchgehende, abwechselnd links- und rechtsufrige Aufweitung (pendelnder Lauf) sowie Seitenarme geschaffen werden.
- Ungesicherte Uferstrecken sollen angestrebt werden.
- Eine weitere Schottergewinnung könnte als Nebennutzung im Rahmen der Flußaufweitung erfolgen. Ansonsten soll diese Nutzung nur mehr im Auenvorland ausgeübt werden.

Zu diesen Zielvorstellungen ist anzumerken:

- Eine großflächige Tieferlegung der Au kann auch aus geologischer Sicht (z.T. mehrere Meter mächtige Sandüberdeckung im ufernahen Vorland, dünne Kiesauflage) nicht befürwortet werden.
- Ein pendelnder Gewässerlauf mit Seitenarmen bedeutet eine Mischform aus allen drei Hauptgruppen von unterschiedlichen Flußmorphologien, s. 5.7.2. Alle drei Haupttypen sind flußmorphologisch in der Entstehung und Bemessung grundsätzlich unterschiedlich zu behandeln. In wieweit eine solche Mischform in Abhängigkeit von Geologie und übergeordnetem Geschiebehaushalt überhaupt machbar wäre, wurde im Auenkonzept Salzburg Nord nicht untersucht. Verzweigte Gerinne haben grundsätzlich die Eigenschaft Haupt- und Seitenarme zu verlagern. Die Schaffung von ortsfesten Seitenarmen ist zwar hydraulisch möglich (Nebengewässerdotation), nicht aber geschiebetechnisch (Folge: Laufverlagerung und/oder Verlandung zum Altarm). In einem gestrecktem Lauf können sich bei entsprechender Breite und Geschiebedargebot alternierende Bänke entwickeln, deren Lage nicht ortsfest ist. In [160] ist eine Prinzipskizze der angedachten Aufweitung mit pendelndem Verlauf enthalten, s. Abb. 154. Bei einer Salzachbreite von derzeit ca. 100 m würde eine vollständige Schwingung etwa 1 km Länge aufweisen und die Breite etwa verdoppelt. Mit dieser ausgeprägten Schwingung würde die freie Ausbildung alternierender Bänke behindert und das Entstehen ortsfester Bänke begünstigt. In der schematischen Darstellung wurde von einer durchgehenden Ufersicherung ausgegangen, aus ökologischen Gründen wurden jedoch ungesicherte Uferstrecken als erstrebenswert erachtet. Es ist fraglich, ob die Salzach ein solches Mischsystem ohne durchgehende Ufersicherung überhaupt annehmen und in Abhängigkeit von Geschiebedargebot und Geologie nicht eine ganz andere Sohl- und Laufentwicklung nehmen würde (Rinnenbildung und Sohldurch-schlagsgefahr, Rehnenbildung an Ufern und ufernahem Vorland, starker Bewuchs von selten überronnenen Kiesbänken, Ausbrechen aus dem schwach fixierten

Gewässerlauf mit der Gefahr einer Flußverwerfung).

- Die Salzach weist ein hohes Geschiebedefizit auf. Die Kiesvorkommen im ufernahen Vorlandbereich sind eher von geringer Mächtigkeit und limitieren z.T. die WRS-Konzeption einer Mäanderstrecke. Zudem sind diese Kiesvorkommen von z.T. mehrere Meter mächtigen Sandauflagen überdeckt bzw. liegen auf relativ hoch anstehenden sandig-schluffigen und Seetonlagen auf. Die Möglichkeit einer Schottergewinnung im Fluß- und Auenbereich der Salzach auf Salzburger Seite kann daher erst nach Erfüllung der Ziele der Sohlstabilisierung und ökologischen Verbesserung der Auen im Rahmen eines detaillierten Umsetzungskonzeptes beurteilt werden. Die Nebennutzung Schottergewinnung im Rahmen einer Flußaufweitung würde auf bayerischer Seite abgelehnt werden.

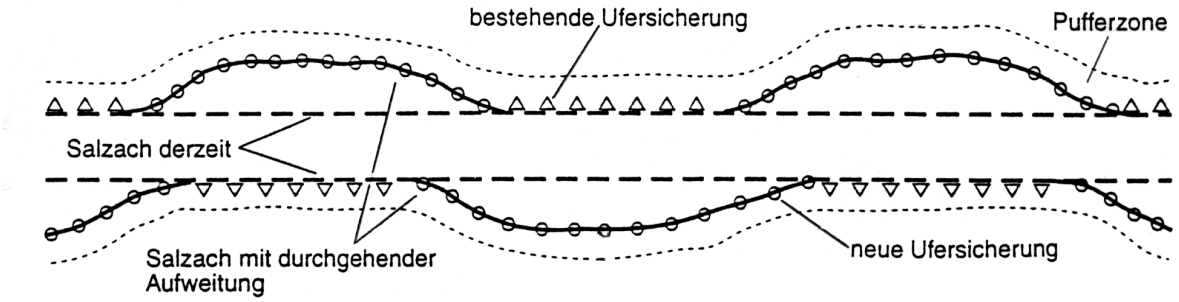


Abbildung 154: Schematische Darstellung einer durchgehenden Flußaufweitung, nach [160]

BERNHART entwickelt in der Machbarkeitsstudie zur Wiederherstellung eines naturnäheren Zustandes eine eigenständige Sicht [161] von ökologischen Lösungskonzepten. Ein technischer Ausbau mit Staustufen oder Stützschwellen wird wegen Geschieberückhaltung im Oberwasser und Sohlerosion im Unterwasser abgelehnt, aber auch andere Querbauwerke, zu denen z.B. Rampen gehören, werden als unökologisch abgetan: „Bei Lösungen mit Querbauwerken, die einen Aufstau nach oberstrom erzeugen, würde eine neuerliche Unterbrechung des Geschiebetransportes eintreten und die Sohlerosion unterhalb verstärkt einsetzten. Daher ist ökologischen Lösungskonzepten der Vorzug zu geben.“ BERNHART setzt sich nicht mit der Möglichkeit auseinander, den temporären Zustand der Anlandung oberstrom eines Querbauwerks im Unterwasser durch Seitenerosion zu kompensieren. Umgekehrt wird nicht erwähnt, daß im Unterwasser von lokalen Aufweitungen durchaus beachtliche temporäre Erosionszustände eintreten können, s. z.B. ZARN [71] und HUNZINGER [87], die mit denen von Rampen und Stützschwellen durchaus vergleichbar sind. Als ökologische Lösungsansätze bietet BERNHART an: Aufweitung des Flußbetts, Tieferlegung der Au und Ausleitung in neue Flußarme. Die Kombination der drei Elemente wird von ihm empfohlen, eine mögliche Sohlhebung wird nur unter dem Aspekt unkontrollierter (d.h. zu hoher) Abflußbedingungen in der Aue beleuchtet, nicht aber inwieweit sich eine Sohlhebung in Abhängigkeit von Geschiebehaushalt, Breite und Länge der Aufweitung überhaupt einstellen kann. In 6.1.1 wurde bereits dargestellt, daß lokale Aufweitungen im Freilassinger Becken von der WRS als nicht zielführend ausgeschieden wurden.

Die Machbarkeitsstudie geht nicht auf wesentliche Aspekte wie hoch anstehende, erosionsempfindliche Untergrundgeologie und relativ geringmächtige Kiesvorkommen in der Aue ein. Wesentliche und kritische Zwischenzustände einer Aufweitung werden nicht angesprochen. Zudem fehlen kritische Hinweise, inwieweit seine 2D-Berechnungsergebnisse von wesentlichen (flußmorphologischen) Voraussetzungen und unsicheren Rahmenbedingungen abhängen. Da die Machbarkeitsstudie diese we-

sentlichen Aspekte vernachlässigt, müssen ihre Ergebnisse stark relativiert bzw. als nicht zielführend abgelehnt werden.
Zudem fallen sprachlich stark unterschiedlich verwendete Begriffsinhalte auf. Im Schlußbericht des Auenkonzeptes Salzburg Nord [160] wurde die Wiederherstellung eines naturnäheren Zustandes mit gewässerökologisch geprägten Eigenschaften wie „Entstehen von mehr dynamischen Standorten im Auengebiet", „dynamischer Prozesse im Flußbett" und „Salzachfluß und Auen zu einem zusammenhängenden funktionsfähigen Ökosystem machen" umschrieben. OGRIS und BERNHART [23], [162] zählen die Errichtung künstlicher Sohlstufen wie Hallein und Salzburg/Lehen und Sohlaufweitung zu den dynamischen Methoden, während BERNHART in [161] Sohlstufen als technischen, nicht ökologischen Ausbau ablehnt.

Bei aller kritischen Betrachtung der entwickelten Zielvorstellungen und deren Machbarkeit wird aber das Hauptanliegen des Auenkonzeptes Salzburg Nord, vorhandene und beabsichtigte Nutzungen in Einklang mit gewässerökologischen Wünschen zu bringen, durchaus positiv gesehen. Erst die im Rahmen der WRS weiterentwickelten Planungsinstrumente zeigen die machbaren Lösungsvarianten auf zur Erfüllung der Planungsziele unter Berücksichtigung der grundlegenden Voraussetzungen:

- Erreichen einer dynamischen Sohlstabilität und
- keine Verschlechterung des bestehenden Hochwasserschutzes für Siedlungs- und wichtige Verkehrsflächen.

6.2.3 Kraftwerksplanungen

Während der Bearbeitung der WRS wurden insbesondere zwei Planungen bekannt, die mit den Belangen der WRS abzustimmen waren. Zum einen die Kraftwerksplanung Hagenau bei Salzach Fkm 61,85 und der Ersatzbau für das KW Rott/Freilassing unmittelbar flußabwärts des bestehenden Kraftwerks. Beide Projekte wurden bzw. werden von Dr. Floegl Hydro Consulting Engineers ausgearbeitet. Das Projekt Hagenau wurde der WRS am 01.10.1997 vorgestellt, das Projekt Rott/Freilassing ebenfalls am 01.10.1997 sowie am 09.10.1998.

In [163] wird die aktuelle Eintiefungstendenz der Salzach zwischen der Stadt Salzburg und Saalachmündung beschrieben und auf ein Gefälle der Unterwassereintiefung von 0,5 ‰ geschlossen: „Die Unterwassereintiefung stellt die Vorwegnahme der natürlichen Eintiefung dar und trägt mit den vorgesehenen Maßnahmen der Böschungssicherung zur Sohlstabilität bei. Der Flyschrücken im Bereich der Fischachmündung wurde als Endpunkt der Sohleintiefung angenommen." Im Bereich der Fischachmündung befindet sich die sog. Muntigler Schwelle. In diesem Bereich mündeten mit wechselnder Lage vor der Korrektion Saalach, Fischach und Glanbach. Diese Schwelle besteht jedoch nicht aus Fels o.ä. sondern aus einem Felssporn am rechten Ufer und am linken Ufer aus gröberen Deltaschottern und darunter aus einer würmzeitlichen Moräne (vgl. Anlage 6 und 12), die aber keinen nennenswerten Erosionswiderstand bieten. Der in [163] getroffenen Annahme muß daher widersprochen werden. In [163] wird diese Annahme mit der anschließenden Feststellung abgeschwächt, daß „eine längerfristige Stabilisierung wahrscheinlich nur mit Errichtung einer weiteren Wehrstufe unterhalb der Saalachmündung (z.B. Stauziel 402,0 müA) erreichbar" sei.

Die bisher zum Ersatzbau des KW Rott/Freilassing vorgelegten Konzepte [163], [164], [165] sahen Unterwassereintiefungen unterschiedlichen Ausmaßes vor, welche keinen Schutz gegen den bereits

erfolgten Sohldurchschlag bieten. Der bisher vom Projektanten vertretenen Ansicht, die bestehende Situation werde durch den Ersatzbau nicht weiter verschlechtert muß entgegengehalten werden, daß in der Unterwasserstrecke des Kraftwerks akuter Sanierungsbedarf besteht und die vorliegende Konzeption nicht in angemessener Weise darauf eingeht sondern eher dazu geeignet ist, die bestehende Situation weiter zu verschärfen. Ebenso ist die in [164] vertretene Ansicht abzulehnen, „daß zwischen km 1,4 und 1,6 die vorhandene Kieslage stabilisierend wirkt“. Bei dieser Kieslage handelt es sich um die letzten Kiesreste in der Unterwasserstrecke, vgl. Anlage 10 und 11, die wegen ihrer geringen Mächtigkeit über den sonst flächig anstehenden Sanden en bloc von Hochwasserereignis zu Hochwasserereignis tiefergelegt werden, vgl. 5.13.

Die zuständigen Wasserbauverwaltungen beider Anliegerstaaten vertreten daher nach wie vor die Notwendigkeit einer Abstimmung der neuen Kraftwerkskonzeption mit den Zielen der WRS, besonders auch im Hinblick auf einen geordneten Geschiebetransport. Eine Unterwassereintiefung steht jedoch im Widerspruch mit den Zielen der notwendigen Gewässerstabilisierung und einer angestrebten Verbesserung der Mündungsstrecke bis zur Salzach.

6.3 Geschiebeherde, Geschiebedefizite

Als Geschiebeherde werden hier nicht die geschiebeliefernden Anbrüche im Sinne der Wildbachverbauung bezeichnet, die in den Einzugsgebieten der Salzachzubringer und des Hauptflusses selbstverständlich eine große Rolle spielen; deren Einzelbeschreibung würde zu weit führen. Gemeint sind die Bereiche, aus denen Geschiebe in den Salzachlauf eingetragen wird. Hinzu kommen Strecken in der Salzach, aus denen infolge Seiten- und Tiefenerosion des Flusses eine gewisse Geschiebemenge in den Unterlauf verfrachtet wird. Geschiebeursprungsgebiete sind demnach die seitlichen Zubringer unterhalb des Passes Lueg:

- Das Einzugsgebiet der Lammer, die ihr Geschiebe im wesentlichen aus dem Haselgebirge, dem Ramsaudolomit u.ä. der Göll-Lammermasse sowie aus Moränen und pleistozänen Konglomeraten erhält. Seitenbäche aus dem Tennengebirge transportieren überwiegend Dachsteinkalk. Große Karstquellen geben der Lammer zeitweilig den Charakter eines Karstwasserbaches. Der mittlere jährliche Geschiebeeintrag wurde auf 25.000 m^3/a geschätzt.
- Das Einzugsgebiet des Torrener Baches (Dachsteinkalk, Wettersteinkalk/-dolomit, Adneter Kalk) mit seiner quartären Talfüllung und Wildbachcharakter. Der mittlere Geschiebeeintrag in die Salzach ist aber eher gering (geschätzt 1.000 m^3/a).
- Das Einzugsgebiet der Taugl in den Oberalmer Kalken mit Radiolariten des Jura sowie Schrambachschichten (kalkige Mergel) der Unterkreide. Massive Entnahmen der vergangenen Jahrzehnte haben die Geschiebefracht in die Salzach stark reduziert (von rd. 12.000 m^3/a auf rd. 4.000 m^3/a). Abb. 154a zeigt den Unterlauf der Taugl zwischen Römerbrücke und ÖBB-Brücke.
- Der Almbach ist als Geschiebezubringer nahezu vollständig ausgefallen (geschätzt rd. 1.500 m^3/a aus Sohlerosion mit abnehmender Tendenz).
- Das Einzugsgebiet der Königssee-Ache ist geologisch sehr ähnlich strukturiert wie das der Lammer, mit dem entscheidenden Unterschied, daß sie zwar kaum Karstquellen besitzt, dafür aber den Königssee geschiebefrei verläßt. Im Mittel- und Unterlauf wird langfristig keine größere Geschiebemenge bereitgestellt. Der mittlere Geschiebeeintrag in die Salzach wird auf 3.000 m^3/a geschätzt mit einer möglichen Bandbreite bis 5.000 m^3/a.

- Die Saalach ist neben der Lammer der wichtigste Geschiebezubringer für die Untere Salzach. Der natürliche Geschiebetransport in der Saalach ist seit 1913 an der Stauwurzel der Talsperre Kibling (Fkm 22) unterbrochen. Aufgrund von Entnahmestatistiken ging man früher von 80.000 bis 90.000 m^3/a aus, seit Beginn der 80er Jahre von rd. 50.000 m^3/a. Im Streckenabschnitt unterhalb der Kiblinger Sperre bis zur Mündung beeinträchtigen mehrere Querbauwerke den Weitertransport von Geschiebe in die Salzach. Die Kiessohle ist zudem in diesem Bereich weitgehend abgetragen und das erodierte Material aus der weichen Unterlage (Seeton und Eisrandsedimente) wird hauptsächlich als Schweb transportiert. Die Pidinger Ache, der einzig nennenswerte Zufluß in diesem Saalachabschnitt, entwässert hauptsächlich ein Flysch-Gebiet mit Sand-, Mergel- und Tonsteinen und liefert daher überwiegend nur Schwebstoffe. Die Unterbrechung des Geschiebetransports an der Talsperre Kibling, Transporthindernisse in der Unterliegerstrecke (Querbauwerke sowie naturnahe Strecken mit Überbreite) und die weitgehend fehlende Kiesauflage unterhalb Fkm 8 wirken sich auch auf den Geschiebehaushalt der Salzach aus. An der Saalachmündung dürfte heute die mittlere jährliche Geschiebefracht in der Größenordnung von 10.000 bis 15.000 m^3/a liegen, rd. halb so groß wie in vergangenen Jahrzehnten.

Abbildung 154a: Tauglunterlauf zwischen Römerbrücke und ÖBB-Brücke, Aufnahme vom 27.09.2000

Primär Lammer und Saalach, sekundär auch Taugl und Königssee Ache tragen zum Geschiebehaushalt der Unteren Salzach bei, d.h. zu dem Anteil, welchen sie selbst aus der Mittleren Salzach über die Schluchtstrecke des Passes Lueg antransportiert. Dieses Salzachgeschiebe (geschätzt: 33.000 bis 38.000 m^3/a) seinerseits stellt überwiegend nur noch den Anteil aus dem Blühnbachtal, Fritzbach und unmittelbaren seitlichen Einstößen dar.

Nach Abschätzung der Situation wird in Zukunft im Salzachabschnitt zwischen Lammer und Hallein eine Beruhigung der Geschiebedefizite eintreten, eine nennenswerte Sohlhebung bis Hallein ist eher unwahrscheinlich.

Im wesentlichen alimentieren sechs ”Herde” die Strecke bis Hallein bzw. Urstein. Der Einfluß der Seitenzuflüsse - von der Lammer bis zur Königssee-Ache - hängt davon ab, wie das in die Staubereiche der Kraftwerke gelangende Geschiebe (insbesonder KW Urstein) durch Stauraumspülung in das Unterwasser der Stufe gelangt.

Der natürliche Eintrag unterhalb des Kraftwerks Urstein kann fast nur noch aus der Sohlerosion bis Fkm 72 erfolgen. Der Klausbach als einziger nennenswerter Zubringer unterhalb Urstein bringt nur bei Hochwasser einzelne Geschiebestöße, aber keinen gleichmäßigen Transport. Der Geschiebeeintrag der Fischach ist vernachlässigbar.

Die Salzach unterhalb der Saalachmündung erhält von den Zuflüssen Sur, Oichten, Moosache und Götzinger Achen keine nennenswerten Geschiebemengen mehr.

6.4 Schwebstofftransport, Schwebstoffanlandung, Rehnenbildung

Die Grenze zwischen Schwebstofftransport und Geschiebebewegung ist stark abflußabhängig und liegt nach dem Berechnungsansatz von KRESSER zwischen Saalachmündung und Inn in der Größenordnung von 1 bis 2 mm bei Abflüssen zwischen 500 und 1500 m^3/s, vgl. 5.9, Abb. 79.

Die Salzach gehört, geogen bedingt, zu den Gewässern mit hoher Schwebstoffführung (Meßstelle Pegel Burghausen: 1.000.000 bis 2.000.000 t/a, vgl. 5.9 Tab. 23). Die Wasserkraftnutzung der Salzach verursacht Abflußschwankungen, die sich ebenso auf den Schwebstofftransport auswirken. In der Unteren Salzach werden primär im Stauraum des KW Urstein (Stauvolumen 2.500.000 m^3) größere Feststoffmengen akkumuliert und durch Spülungen konzentriert innerhalb weniger Tage im Jahr in das Unterwasser abgegeben (rd. 400.000 bis 800.000 m^3 je Spülung bzw. auf Jahresfrachten umgerechnet 240.000 bis 420.000 m^3/a [31]), vgl. 5.12.2.4, Abb. 123.

Die Folgen dieser schwebstoffreichen Spülstöße können besonders deutlich auf den ersten Kilometern der Unterwasserstrecke des KW Urstein beobachtet werden. Im Bereich von strömungsberuhigten Zonen der Uferböschungen ist es z.T. zu meterhohen Anlandungen gekommen, vgl. 5.5, Abb. 34, verbunden mit einer Reduzierung der Sohlbreite, Erhöhung der Sohlbeanspruchung und Sohlerosion. Diese Entwicklung dürfte vom Hochwasser 1959 initiiert worden sein (Freilegen und Auswaschen erosionsempfindlicher Sande zwischen Hallein und Salzburg) und wurde durch den Betrieb des KW Urstein seit 1971 verstärkt.

Unterhalb der Saalachmündung ist insbesondere das südliche Freilassinger Becken von Böschungsanlandungen betroffen, vgl. 5.9, Abb 80. Im Zeitraum 1953/98 landeten i.M. 20.000 m^3/a entlang der knapp 60 km langen Fließstrecke an. Dies entspricht bei einer Böschungsbreite von 20 bis 25 m rd. 1,5 cm/a Anlandungshöhe. Im Bereich der Meßstelle Pegel Burghausen sind die Anlandungen gering, der starke Anstieg im Zeitraum 1953/75 ist in erster Linie auf Änderungen der Profilgeometrie anläßlich der Hochwasserfreilegung Burghausen zurückzuführen.

Im Tittmoninger Becken kommt es bereits bei kleineren Hochwasserabflüssen zu Ausuferungen. Be-

sonders im unteren Bereich (Rückstaueinfluß Nonnreiter Enge) kommt es im ufernahen Vorlandbereich zur Rehnenbildung: Uferbegleitend bildet sich ein Wall aus Feinteilen, der rasch durch Aufwuchs verfestigt wird, der seinerseits wieder in der Lage ist die Feinteile einer ablaufenden Hochwasserwelle „auszukämmen“. Lokal wurde hier der uferbegleitende Treppelweg auf bayerischer Seite in den letzten 4 Jahrzehnten z.T. 1 bis 2 Meter überdeckt. Durch die Lauffixierung ist die Salzach aber nicht in der Lage, diese Rehnen periodisch zu durchbrechen und so die hydraulische Entkoppelung von Fluß und Vorland (s. Anlage 24.64) wieder zurückzubilden. Es ist es daher notwendig, die Verbindungen zwischen Fluß und Vorland im Zuge der Gewässerunterhaltung freizuhalten und angelandete Vorlandbereiche von Zeit zu Zeit zu räumen und von Bewuchs freizustellen.

Von dieser Entwicklung (Böschungsanlandung, Rehnenbildung) ist nicht nur die Salzach betroffen sondern auch zahlreiche andere oberbayerische Gewässer wie z.B. Saalach, Tiroler Achen, Mangfall und Ammer (vgl. 5.13.6, Abb. 145).

Verbauungsmaßnahmen im Einzugsgebiet haben zum langfristigen Wandel des Feststoffhaushaltes hinsichtlich Menge und Zusammensetzung beigetragen. Im Vergleich zum Zustand 1817 ist die Entwicklung der Salzach von einer wachsenden Geschiebearmut gekennzeichnet. Prägte 1817 der Geschiebeüberschuß das Erscheinungsbild bzw. Morphologie des Gewässers, so treten jetzt Erscheinungsformen in den Vordergrund, wie sie von schwebstoffreichen Flüssen bekannt sind, wie z.B. der nordbayerischen Itz deren Gewässertyp VOLLRATH [148] als „der gefälleschwache Fluß, der in der Unmasse seines feinkörnigen Sedimentationsgutes gefangen wurde“ umschrieb. Korrektionsmaßnahmen an der Salzach bewirkten eine Selbsteintiefung und Gefällereduzierung, im Freilassinger Becken z.B. von rd. 1,40 ‰ vor Beginn der Korrektion auf 0,97 ‰ (Mittelwert 1995).

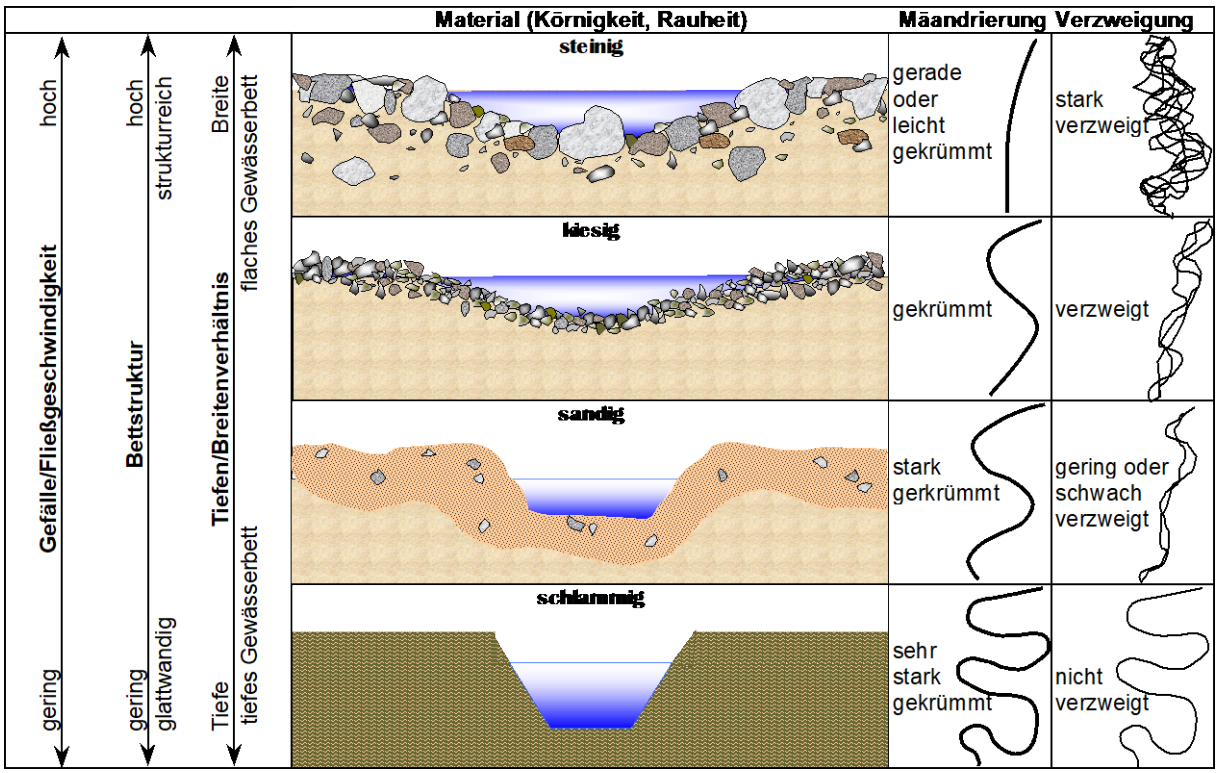


Abbildung 155: Materialabhängige Formen und Strukturen von Gewässern, nach [70] verändert

Durch das gegenüber 1817 reduzierte Geschiebeaufkommen, das Anschneiden erosionsempfindlicher, sandiger bis schluffiger Schichten und spülstoßgeprägter Schwebstoffverfrachtung hat sich die Feststoffzusammensetzung gegenüber 1817 deutlich geändert. ZARN hat darauf hingewiesen, daß mit feiner werdender Kornzusammensetzung ebenere Sohlformen begünstigt werden, d.h. ein Gewässer weniger zur Bank- und Kolkbildung neigt, vgl. 5.7. Bei schwebstoffreichen und gefällearmen Flüssen überwiegen natürlicherweise kastenförmige Profile mit einem stark mäandrierenden Gewässerlauf, vgl. Abb. 155.

Aus geologischer Sicht ist die Entwicklung der Unteren Salzach vom mit Feinteilen verlandeten See mit aufliegender „Grobkiesglasur“, welche anschließend fluvial überprägt wird (d.h. lokal mit tiefer liegenden Feinsanden durchmischt), zur Unterlaufstrecke mit durchschnittenen Engstellen und Tendenz zur Vergleichmäßigung des Laufgefälles vorgezeichnet. Bei dieser Entwicklung wird ein Fluß zunehmend stärker von den feineren Schichten unterhalb der Geschiebeauflage geprägt, in die er sich nach Überwinden der Engstellen einsenkt. Dieser Vorgang wurde durch Korrektionsmaßnahmen ganz erheblich beschleunigt. Natürlicherweise bzw. in geologischen Zeiträumen vollzieht sich diese Entwicklung langsam (in Jahrtausenden). Ähnlich langsam kann der Wechsel von Eiszeiten und Warmzeiten verlaufen, d.h. die oben skizzierte nacheiszeitliche Phase einer fluvialen Überprägung kann durch den Wechsel von Eiszeiten und Warmzeiten wieder an den Beginn der Entwicklung zurückgesetzt werden.

Aus flußmorphologischer Sicht ist zu ergänzen: Je stärker ein Fluß vom Geschiebenachschub abgeschnitten ist, desto stärker versucht er lokal Geschiebe aufzunehmen. Wird er daran durch eine Lauffixierung gehindert, greift er auf den Sohlspeicher zurück. Besteht dieser immer weniger aus Geschiebe wird auch die Flußgestalt immer weniger vom Geschiebe geprägt sein. Umgekehrt können bei Geschiebeüberschuß ganze Beckenlandschaften fluvial überprägt werden.

6.5 Flußmorphologisches Potential der Salzach

In 5.7 wurde versucht, aus den wenigen Unterlagen eine Zustandsbeschreibung der Salzach zum Zeitpunkt 1817 (erste ausreichend detaillierte Kartengrundlage vor Korrektionsbeginn) abzuleiten. Diese Überlegungen konnten erst im letzten Bearbeitungsjahr dieser Untersuchungen zusammengetragen werden und standen leider nicht zu Beginn der WRS-Variantenplanung zur Verfügung.

Ausgehend vom Zeitpunkt 1817 wurde versucht einen Kontext zu den viel längeren geologischen Zeiträumen herzustellen. Die nacheiszeitliche Untere Salzach vor der Korrektion ist primär als geschiebeführender Fluß mit zeitweiliger Überlast (vgl. Kartengrundlage 1817 in Anlage 16) einzuordnen. Das nacheiszeitliche Flußsystem der Unteren Salzach hatte sich etwa vor ca. 10.000 Jahren etabliert. Inn und Donau gaben die allmähliche Tieferlegung des Gesamtsystems vor, welche heute noch anhand der Terrassen nachvollzogen werden kann. Dabei dünnte die Schotterauflage allmählich aus bzw. wurde vom Fluß in die tiefer gelegenen feineren Sedimente eingearbeitet. Die erosionsempfindlichen Untergrundverhältnisse gewinnen zunehmend als systemverändernde Größen an Bedeutung, haben den Fluß bis zum Zeitpunkt 1817 aber noch nicht wesentlich beeinflußt. Die Korrektion der Unteren Salzach hat diesen langsamen Entwicklungstrend extrem beschleunigt.

Die Teilsysteme Obere-Mittlere-Untere Salzach können wegen der Durchbruchsstrecken Taxenbacher Enge und Salzachöfen weitgehend als entkoppelte Teilsysteme betrachtet werden, die aber bei größeren Ereignissen und schwerwiegenden anthropogenen Eingriffen als Gesamtsystem reagieren. Z.B. hätte im ausgehenden Mittelalter die stärkere Besiedelung und Nutzung des Oberen Pinzgaus ohne Gegenmaß-nahmen zumindest zeitweise zur einer Ankoppelung der Oberen Salzach über den Zeller See an die Saalach geführt.
In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts prägten zahlreiche extreme Ereignisse die Morphologie der Unteren Salzach. Zwischen 1736 und 1787 lagen am Pegel Burghausen drei Ereignisse mit Scheitelabflüssen von 3500 bis 4000 m^3/s deutlich über dem Hochwasser von 1899 (3350 m^3/s) oder dem derzeitigen HQ_{100} (3300 m^3/s). Begünstigt wurde diese Periode der Verheerungen durch intensive Holzfällungen im gesamten Einzugsgebiet (Salinenwesen, Bergbau, Schiffahrt, Bauholz). Der große Anteil freier Kiesflächen bzw. Flächen mit Pioniervegetation in den Lageplänen von 1817 ist als Reaktion auf die vorangegangenen Periode der Verheerungen anzusehen.

Die Reaktionszeit auf diese Periode von Systemveränderungen bzw. Angleichung an einen fiktiven Gleichgewichtszustand war zum Zeitpunkt 1817 vermutlich noch nicht ganz abgeschlossen.

Die Folgen der intensiven Waldnutzung haben entlang der Unteren Salzach den Flußcharakter des verzweigten (vgl. Abb. 155), zeitweise vom Geschiebeüberschuß gezeichneten Flusses überprägt, denn ohne diese anthropogenen Eingriffe wäre die Salzach zwischen Laufen und Golling sicher in Struktur und Lauftyp dem Tittmoninger Becken ähnlicher gewesen. Zumindest das Freilassinger Becken kann zum Zeitpunkt 1817 nicht als „nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört“ im Sinne der Entwurf-EUWRRL angesehen werden, vermutlich gilt diese Aussage für die gesamte Untere Salzach.

Die vorliegenden Texte deuten an, daß zum Zeitpunkt 1817 im Salzburger und Freilassinger Becken von einer Anlandungstendenz auszugehen war, der auf einem damals noch anhaltenden Geschiebeüberschuß beruhte. Vor Beginn der Korrektion wurden erosionsempfindliche Schichten bei seltenen Ereignissen lokal angeschnitten, aber infolge reichlicher Geschiebezufuhr ebenso rasch wieder überdeckt.

Das Phänomen der Rinnenbildung trat nach systemändernden Ereignissen vermutlich kaum in Erscheinung, da solche Ereignisse in den letzten Jahrzehnten vor 1817 mehrfach auftraten. Die natürlich ablaufende Entwicklung (Rinnenbildung, Vegetationsanteil wächst, freie Kiesflächen nehmen ab) wurde häufig unterbrochen und auf den Zustand der Systemänderung zurückgesetzt.

Zum Zeitpunkt 1817 hatte die Salzach alle Freiheitsgrade um ihr standortgemäßes Potential weitgehend ungestört auszuschöpfen. Als Folge auf den zeitweiligen Geschiebeüberschuß reagierte das verzweigte Gewässer insbesondere im Freilassinger Becken mit Störungen in der Form schuttkegelartiger Gebilde (vgl. Anlage 16.1). Dasselbe Erscheinungsbild zeigt die untere Saalach, deren Gefälle mit rd. 3,1 ‰ deutlich über dem der Salzach im Freilassinger Becken lag (1,9 bzw. 1,1 ‰). Die Salzach oberhalb der Saalachmündung ist kartographisch anders (einfacher) dargestellt, Abb. 8 in 5.1 legt aber die Vermutung nahe, daß auch hier die Verzweigung ähnlich stark, d.h. schuttkegelartig ausgeprägt war.

Abb. 156 zeigt ein Beispiel für einen solchen verzweigten, geschiebereichen Fluß. Die obere Bildhälfte zeigt den Metsovitikos im Nordwesten Griechenlands im Sommer 1993, die untere Bildhälfte im

Sommer 1998. Die klimatischen Bedingungen NW-Griechenlands lassen eine andere Flora gedeihen, das reichhaltige Geschiebedargebot (ungesicherte Einhänge der Talflanken) bedingt aber einen großen Anteil von Kiesflächen. Von den drei Faktoren, die einen geschiebeführenden Fluß maßgeblich steueren – Abfluß, Gefälle, Geschiebe – sind hier offensichtlich zwei – Abfluß und Geschiebe – besonders aktiv. Der reichliche Geschiebeanfall (der Fluß scheint nicht im Gleichgewicht zu sein) läßt die originale Rautenform der Geschiebebänke nur andeutungsweise entstehen und die sommerliche Abflußarmut baut dieses Gebilde nicht mehr um. Der gleiche Effekt würde eintreten, wenn entweder kein Geschiebe mehr nachkommt und/oder der Abfluß, warum auch immer, nachläßt und die übliche Rinnenbildung einsetzt. Die Geschiebebänke beginnen aufzuwachsen.

Abbildung 156: Verzweiger, geschiebereicher Fluß (Metsovitikos, NW-Greichenland Sommer 1993 und 1998); Aufnahmen Prokoph 370-05 und 593-08

Das zweite Beispiel – die Rhäzünser Rheinauen – (Abb. 157) zeigt einen Fluß, dessen Geschiebehaushalt bis vor kurzem noch im Gleichgewicht war, mit klassisch ausgeprägten rautenförmigen Geschiebebänken, was darauf hinweist, daß Abfluß, Gefälle und Geschiebe längerfristig in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander standen. Ein Geschiebeüberschuß ist nicht zu erkennen. Die rechte, obere Bildhälfte zeigt die Entwicklungsstadien einer Geschiebebank von links nach rechts (Fließrichtung von oben nach unten).

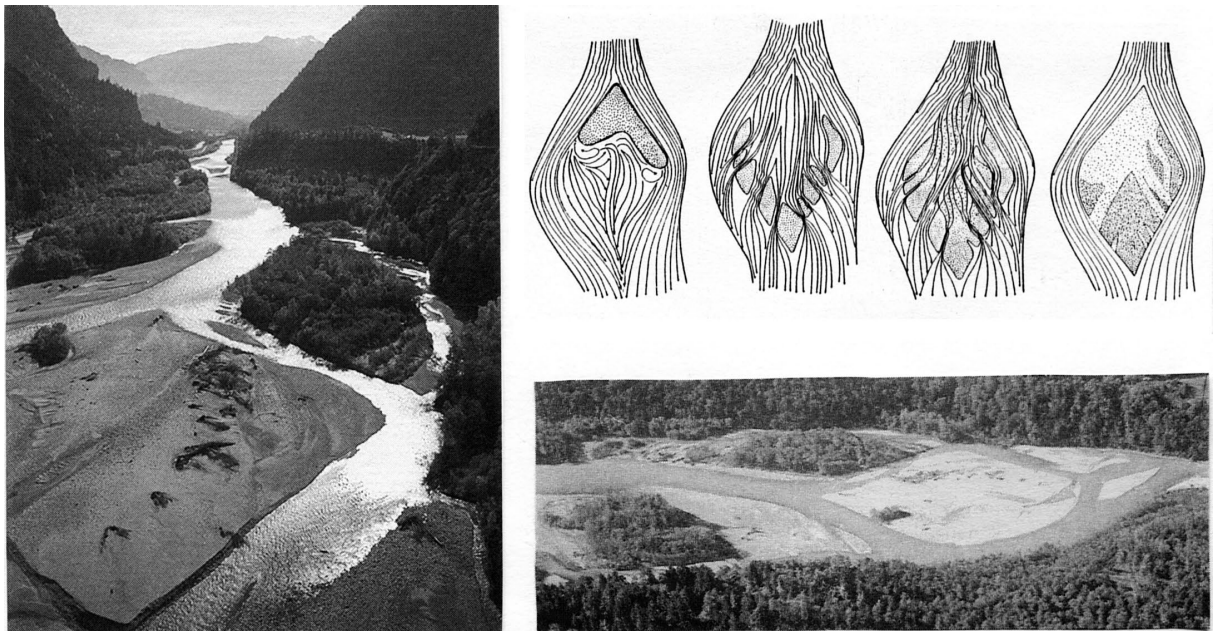


Abbildung 157: Rhäzünser Rheinauen, nach [73] und Entwicklung einer Kiesbank, nach [106] verän-

Infolge verschiedener Eingriffe (Geschiebeentnahmen etc.) läßt der Nachschub an Material nach, einige der nun selten über-ronnenen Rauten sind bereits mit Fichtenbewuchs bestockt. Können die Fichtenbestände nicht mehr durch Hochwässer oder künstlich abgeräumt werden, dann werden die Rauten als Inseln fest, Rinnenbildung tritt ein und bei weiterhin fehlendem Geschiebenachschub auch verstärkte Eintiefung bis u.U. hin zum Einzelgerinne. Auch die noch vegetationsfreie vordere Raute der linken Bildhälfte bzw. rechte Raute der rechten unteren Bildhälfte wird sich bestocken, wenn die Geschiebezufuhr unzureichend bleibt.

Seit Beginn der Korrektion ist ein langfristiger Wandel im Feststoffhaushalt eingetreten. Für die Morphologie besonders prägend ist die Entwicklung vom Geschiebeüberschuß (kurzzeitig) über „normale“ Geschiebeführung (langfristig) zur Geschiebearmut und der wachsende Anteil von Feinteilen am Feststoffhaushalt. Ein geschiebeführender, verzweigter Fluß reagiert in seiner Entwicklung grundsätzlich anders als ein Fluß mit defizitärem Geschiebehaushalt (längere zeitliche Entwicklung bei Geschiebedefizit bis zum Erreichen eines fiktiven Gleichgewichtszustandes, u.U. bewirkt aufkommender Bewuchs eine tiefere Gleichgewichtslage, vgl. 5.7.2).

Gegenwärtig weist die Salzach einen defizitären Geschiebehaushalt auf. Verbauungsmaßnahmen im gesamten Einzugsgebiet, Korrektionsmaßnahmen und jahrzehntelange Entnahmen im Fluß sowie Transporterschwernisse in der Form von Querbauten haben den ursprünglichen Geschiebereichtum

erheblich geschmälert.

Je geringer das Geschiebedargebot, desto geringer ist der überprägende Einfluß des wandernden Geschiebes auf eine andersartige (sandig-schluffige) Untergrundgeologie und desto stärker prägen lokale Gegebenheiten das Erscheinungsbild und die Morphologie eines Flusses. Weil weniger Geschiebe läuft, können sich lokale Fehlstellen in der Kiesüberdeckung zum flächigen Sohldurchschlag entwickeln und/oder die Rinnenbildung begünstigen.

Die Geschiebeentnahmen haben über Jahrzehnte hinweg den Geschiebehaushalt der Unteren Salzach stark geschwächt. Um die Jahrhundertwende erfolgten besonders massive Entnahmen. Der Salzach unterhalb der Saalachmündung wurden in knapp zwei Jahrzehnten rd. 120.000 m^3/a entzogen, s. 5.12.3.3, aber auch in neuerer Zeit waren die Geschiebeentnahmen nicht geringer. Der Salzach oberhalb der Saalachmündung wurden im Zeitraum 1960/90 rd. 60.000 m^3/a entzogen (Abb. 120 in 5.12.2.3), der Saalach im gleichen Zeitraum noch etwas mehr (rd. 80.000 m^3/a, Abb. 114 in 5.12.1.2). Hinzu kommen weitere 50.000 m^3/a, die der Salzach unterhalb der Saalachmündung entzogen wurden. Über drei Jahrzehnte hinweg lag die Summe aller Entnahmen somit in der Größenordnung der 2 bis 3 fachen Jahresgeschiebefracht der Salzach unterhalb der Saalachmündung. Als Konsequenzen dieses Aderlasses hat in Teilbereichen eine weitgehende Ausräumung des Sohlspeichers stattgefunden.

Zwischen Lammermündung und Hallein scheint sich der Sohlspeicher in den letzten Jahren langsam zu regenerieren, um diese Entwicklung sicher als Trendwende bewerten zu können bedarf es aber noch ein bis zwei Jahrzehnte andauernder Sohlbeobachtungen in kurzen Zeitintervallen. Die Kraftwerkskette der Mittleren Salzach konnte die bisher ankommende Geschiebefracht allein durch Spülungen bewältigen, was eher als Indiz für geringe Geschiebeführung gedeutet werden kann.

Ein geringeres Geschiebedargebot fördert die Entwicklung eines flacheren Gleichgewichtsgefälles. Dies entspricht dem labilen Gleichgewicht aller geschiebeführenden Flüsse, bei dem eine Änderung auch nur eines der drei Hauptfaktoren: Gefälle, Geschiebe, Abfluß – hier des Geschiebezulaufs – eine deutliche Änderung des Flußcharakters bewirkt. Nach dem DA SILVA Diagramm (Abb. 67 in 5.7.2) wäre das ehemalige Gefälle der Salzach nur mit Sohlbreiten größer 500 m erreichbar. Daraus ergibt sich, daß eine Rückführung der Salzach auf das sohlmorphologische Potential eines verzweigten Flusses in Anbetracht von Geologie und mageren Geschiebedargebots unrealistisch ist.

Es ist anzunehmen, daß sich auch die Zusammensetzung der Feststoffe seit Korrektionsbeginn verändert hat. Wie bereits erwähnt, ist das Geschiebedargebot zurückgegangen, dafür werden aber mehr Feinteile bei Stauraumspülungen freigesetzt und/oder in Bereichen ohne ausreichender Kiesüberdeckung mobilisiert. Mögliche Folgen wurden bereits in 6.4 angesprochen: Die Entwicklung der Salzach könnte „sandiger“ verlaufen, d.h. Erscheinungsbild und Morphologie entwickeln sich stärker in die Richtung schwebstoffreicher Fließgewässer (Abb. 153: Zunahme der Mäandrierung, Profilform mit abnehmender Breite und zunehmender Tiefe, Rehnenbildung, Sohlform wird ebener etc.).

Die in mehreren Abschnitten unzureichende Kiesüberdeckung erosionsempfindlicher Schichten bringt hinsichtlich der Abschätzung des Entwicklungspotentials einige Unsicherheiten mit sich, da die gängigen Berechnungsansätze nur für kiesiges Material gelten. Z.B. kann die Höhe von Sohlenformen (Bänke und Kolke) mit Berechungsansätzen von ZARN abgeschätzt werden. Diese Ansätze wurden aus

Modellversuchen unter Gleichgewichtsbedingungen für kiesiges Material entwickelt, sind aber noch nicht durch Naturmessungen erhärtet worden. In 6.7 wird kurz auf mögliche Konsequenzen eingegangen.

Die Salzach hat auf die Veränderungen seit Korrektionsbeginn entsprechend ihrem Entwicklungspotential reagiert:

- Durch die Korrektion wurde die natürlich und langsam in Jahrtausenden ablaufende Flußentwicklung auf die zeitliche Dimension einiger menschlicher Generationen extrem gerafft.
- Durch die Lauffixierung der Korrektion wurde der Salzach das Entwicklungspotential der Laufverlagerung genommen und eine Geschiebeaufnahme durch Seitenerosion unterbunden. Das Potential den kanalisierten Lauf zu verlassen und zu pendeln trägt die Salzach nach wie vor in sich.
- Die Reaktionszeit auf Extremereignisse oder Maßnahmen ist schwer einzugrenzen. Bezogen auf das Teilsystem Untere Salzach wird man sicher zwei bis drei Jahrzehnte ansetzen müssen um einen eindeutigen Trend in der Entwicklung feststellen zu können, die von einer Maßnahme (z.B. Einstellung aller Geschiebeentnahmen an Salzach und Saalach) ausgeht.
- Durch Begradigung und Einspannung wurde das Schleppvermögen erhöht, durch massive Geschiebeentnahmen wurde die Salzach gezwungen, das Geschiebe aus der eigenen Sohle zu entnehmen. Die Kiesreserven des Sohlspeicheres wurden inzwischen weitgehend abgetragen.
- Die alternierenden Kiesbänke vergröberten sich gegenüber der ursprünglichen Kornzusammensetzung, wie sie aus Bohrungen und Schürfgruben erhalten wurde (vgl. insbesondere d_m-Werte im Freilassinger Becken in 5.6.1, Tab. 19).
- Die alternierenden Bänke sind im Freilassinger Becken verschwunden, im Tittmoninger Becken sind sie im Abnehmen begriffen, vgl. Abb. 75 in 5.7.4.
- Der Eintiefungsvorgang des fixierten Gewässerlaufes führte ferner zu einer Reduktion der Sohlbreite, besonders im Freilassinger Becken. Vermutlich fand hier eine Verschiebung der Sohlmorphologie von alternierenden Bänken zur ebenen Sohle statt.
- Stellenweise wurden erosionsempfindliche Schichten freigelegt und erodiert. Diese Entwicklung wird zwar von der erwähnten Verschiebung der Morphologie verdeckt (die Talwege liegen nahezu auf einer Gerade, s. Abb. 74), die Restkiesauflage wurde jedoch erheblich ausgedünnt, so daß bei Extremereignissen Sohlveränderungen nicht mehr prognostizierbar sind (Sohldurchschlag).
- Die Wiederherstellung einer Morphologie wie in der Kartengrundlage 1817 dargestellt, ist aus der Sicht der Flußmorphologie nicht mehr erreichbar.

6.6 Untersuchungsbedarf

Der weitere Untersuchungsbedarf zielt schwerpunktmäßig auf den mit Lösungsvarianten überplanten Bereich (Saalachmündung bis zur Stauwurzel KW Simbach/Braunau) ab. Darüber hinaus besteht in den Zulaufstrecken Saalach unterhalb der Talsperre Kibling und Salzach unterhalb der Salzachöfen Untersuchungsbedarf hinsichtlich des zu erwartenden Geschiebeeintrages für die Salzach unterhalb der Saalachmündung.

6.6.1 Saalach (unterhalb der Kiblinger Sperre)

Im Unterwasser der Talsperre Kibling werden seit 1999 60.000 m³/a Geschiebe (50.000 m³/a Transport aus dem Stauwurzelbereich per Lkw + 10.000 m³/a durch Spülung) zugegeben. Mittels Luminophorenversuch wurde über Jahre hinweg der „Einzelsteinnachweis“ bis in die Salzach geführt, eine quantitative Bestimmung war aber nicht möglich, vgl. 5.6.5. In der Studie zur Sanierung der Saalach [171] wurden wesentliche Teilgebiete erarbeitet, z.B. ein Gewässerentwicklungskonzept, ein geologisches Bohrprogramm, [122], gewässerökologische Untersuchungen und eine Aktualisierung der flußmorphologischen Studie von 1986, [46].

Die geologischen Sachverhalte wurden erarbeitet und sollten durch eine Bewertung hinsichtlich der Erosionsempfindlichkeit und dem daraus resultierenden Handlungsbedarf ergänzt werden. Im flußmorphologischen Bereich steht eine Analyse der Geschiebetransportkapazität zwischen Talsperre Kibling und Saalachmündung unter Berücksichtigung der Gerinnegeometrie und Querbauten, wie z.B. in [145] erarbeitet, noch aus. Dazu wird es notwendig sein, in mehreren Teilschritten vorzugehen:

- Digitalisierung und Einpassung von Querprofilen aus der Zeit der Inbetriebnahme Talsperre Kibling in die Profildaten auf DBWas.
- Um die Weiterverfrachtung des Geschiebes zuverlässig beurteilen zu können sind neben den mindestens alle 3 Jahre durchzuführenden Profilaufnahmen im Abstand von 200 m noch detailliertere Flächenaufnahmen im Zugabebereich vor/nach der jährlichen Zugabe notwendig.
- Kornanalysen des jährlich zugegebenen Materials in repräsentativer Anzahl.
- Die Geschiebetransportkapazität der einzelnen Abschnitte für die derzeitigen Verhältnisse und zur Zeit der Inbetriebnahme der Talsperre Kibling sollten analysiert werden. Dazu sollten relevante mittlere Parameter und Berechnungsabschnitte gebildet werden. Ziel ist es vor allem, Relativwerte der Transportleistung von Saalachabschnitten zu erhalten bzw. wie sich diese Transportleistung seit der Inbetriebnahme der Talsperre Kibling durch Eintiefung und später errichtete Querbauten verändert hat. Daraus lassen sich Eckwerte für eine erforderliche Gerinnegestaltung ableiten. Die im Rahmen des WRS-Vorprüfungsverfahrens entwickelte tabellarische Berechnung könnte auch hier in modifizierter Form mit Erfolg eingesetzt werden, vgl. 5.11.6.
- Zur Klärung und flußbaulichen Optimierung kritischer Abschnitte und künftiger Entwicklungen sollte ein numerisches Geschiebetransportmodell hinzugezogen werden. Damit könnte vor allem die Fragestellung beantwortet werden, wann (zeitlicher Versatz ab der Zugabe) unter welchen betrieblichen Steuerungen (Kraftwerksnutzungen) und hydrologischen Bedingungen welche Geschiebemengen in welcher Zusammensetzung transportiert werden und letztlich an der Saalachmündung ankommen. Die WRS-Geschiebeszenarien könnten verifiziert werden und damit wichtige Voraussetzungen für ein Umsetzungskonzept von Maßnahmen an der Salzach (wann sind welche Teilschritte zu realisieren) geschaffen werden.

6.6.2 Salzach oberhalb der Saalachmündung

Der Bedarf an geologischen Aufschlüssen zwischen Bergheimer Schwelle und Saalachmündung wird in 6.6.3 mitbehandelt, da dieser Abschnitt unmittelbar mit den vorgeschlagenen Maßnahmen unterhalb der Saalachmündung zusammenhängt.

Der Bereich der Bergheimer Schwelle selbst ist vergleichsweise gut erkundet, so daß hier zunächst kein Bedarf gesehen wird (s. 6.1.2 und Anlagen 6.1, 6.2 und 12). Das gleiche gilt für den anschließenden Flußabschnitt im Stadtbereich von Salzburg bis ca. Fkm 69. Ab ca. Fkm 69 aufwärts werden die

Aufschlüsse spärlicher. Die vorhandenen Unterlagen und die bekannte allgemeine geologische Situation erlauben zwar die Interpretation (Anlage 8), für genauere Kenntnisse sind aber noch gezielte Erkundungen notwendig.

Insbesondere ist der Abschnitt zwischen Fkm 71 und 75 zu erkunden, um Lage und Mächtigkeit des Ursteiner Konglomerates festzustellen bzw. sein nördliches Ausstreichen in den Oberen Seeton bei etwa Fkm 72. Lage und Mächtigkeit der Konglomeratlage im Bereich Fkm 75 bis 77 können ausgespart bleiben, die Situation wird jedoch ab etwa Fkm 77 wieder interessant und sollte bis zum KW Hallein (Fkm 80,42) weiter erkundet werden, weil hier Konglomerat und Seeton unregelmäßig zu wechseln scheinen und dieser Bereich nicht vollständig durch den Rückstau des KW Urstein geschützt wird (rinnenförmiges Einschneiden der Sohle in den Untergrund, vgl. Anlage 22.10).

Die Lage der Bohrpunkte und Anzahl der Bohrungen ist den planerischen Erfordernissen anzupassen. Es sollten indessen geologische Querprofile erstellt werden, also wie bisher die Bohrungen auch beidseitig gesetzt werden. Zweckdienlich zur Erkundung sind – vor allem bei dem relativ harten Ursteiner Konglomerat – Rotationskernbohrungen.

Während an der Saalach die Menge und Zusammensetzung des zugegebenen Materials hinreichend genau bestimmbar ist, besteht ein Grundproblem der anderen Teilstrecke darin, daß beides i.w. unbekannt ist. Es liegen lediglich Schätzwerte zum Geschiebeeintrag vor (25.000 m^3/a aus der Lammer, rd. 33.000 bis 38.000 m^3/a aus der Mittleren Salzach, vgl. 5.12.2.1), die der Verifizierung bedürften.

Wesentliche Seitenzubringer (Lammer, Taugl, ggf. auch Almbach und Königssee Ache) sollten turnusmäßig mit wenig aufwendigen Methoden auf Sohlveränderungen untersucht werden (z.B. durch NW-Spiegelfestlegungen).

Aufbauend auf den Ergebnissen von [23] und [131] sollte die Transportleistung der Salzach zwischen Lammermündung und Hallein überprüft werden.

Ein besonderes Teilproblem bietet die staugestützte Stecke zwischen Hallein und Urstein. Hier müßte untersucht werden:

- Welche Geschiebemengen in welcher Zusammensetzung überhaupt durch die Stauräume transportiert werden.
- Ob Betriebsregeln in geschiebetechnischer Sicht ggf. optimiert werden sollten/könnten.
- Welche besonderen Probleme sich für den Geschiebetransport aus der fehlenden Kiesauflage bzw. aus schluchtartig eingegrabenen Rinnen im Gewässerbett ergeben.
- Wie könnte eine ausreichend mächtige Kiessohle in diesem Abschnitt wieder aufgebaut werden, wie lange würde dieser Prozeß dauern oder kann darauf im staugeregelten Bereich u.U. sogar ganz verzichtet werden ?

Im Abschnitt zwischen Urstein und Saalachmündung überwiegen Abschnitte mit unzureichender Kiesüberdeckung. Der größte Teil der Restgeschiebefracht wird derzeit aus dem Abschnitt Urstein bis Salzburg erodiert. Im Stadtbereich Salzburg wurden zur Sicherung der Infrastruktur bereits zahlreiche lokale Sohlsicherungen nötig. Es sollte untersucht werden, welcher Handlungsbedarf sich in dieser Teilstrecke bei nachlassendem bzw. sprunghaft erhöhtem Geschiebeeintrag ergibt. Aufbauend auf den

Ergebnissen von [23] und [123] sollte die Transportleistung dieses Abschnittes in Relation zu dem Abschnitt Lammermündung bis Hallein bzw. zu dem staugeregelten Abschnitt Hallein bis Urstein ermittelt und bewertet werden. In einem Konzept sollte erarbeitet werden, inwieweit es möglich erscheint in diesem Abschnitt wieder eine Kiessohle mit ausreichender Mächtigkeit aufzubauen bzw. Teilbereiche mit Querbauwerken und/oder Sohlsicherungen zu stabilisieren und wann mit welchen Mengen in welcher Zusammensetzung Geschiebe zur Saalachmündung gelangt (Verifizierung der Geschiebeszenarien für die Variantenumsetzung der WRS). Ferner sollte der Fragestellung nachgegangen werden, inwieweit die Anlandungen im Böschungsbereich vermieden werden können (Abhängigkeiten von periodischen Abflußschwankungen und Staulegungen, flußbauliche Verbesserungsmöglichkeiten).

6.6.3 Salzach unterhalb der Saalachmündung

Der im Folgenden skizzierte weitere Untersuchungsbedarf konzentriert sich primär auf die Bodenaufschlüsse. Die durchgeführten Bohrprogramme waren zunächst auf die Gewinnung von Übersichtskenntnissen ausgelegt, wurden aber wegen der unerwartet heterogenen geologischen Situation sowohl im Längsprofil wie beidseits des Flusses zügig nachverdichtet. Aus den insgesamt erhaltenen Informationen konnten die Anlagen 2, 3 und 4 erarbeitet werden.

Bei der weiteren Ausarbeitung mit z.T. weitergehenden Fragestellungen ergab sich die Notwendigkeit, an bestimmten Streckenabschnitten unterstrom der Saalachmündung noch genauere Kenntnisse über den Untergrund des Flusslaufes zu besitzen.

In Anlage 25 ist der künftige Bedarf aus gewässermorphologischer Sicht dargestellt. Hierzu wurde der geologische Längsschnitt (Anlage 3) in die linksufrige und rechtsufrige Hälfte aufgetrennt. Die jeweilige Aufschlußdichte wird durch eine über den Längsprofilen angebrachte Leiste mit der Buchstabenkennzeichnung A (hoch), B (gering), C (lückenhaft) bis D (keine Aufschlüsse) konkretisiert.

In Anlage 25.1 ist für das linke Ufer eine Serie von 10 weiteren Bohrungen in Bereichen eingetragen, wo erweiterte Kenntnisse über den Untergrund wichtig sind. Die vorhandenen Aufschlüsse zwischen Fkm 48 und 45 sind heute nicht mehr ausreichend, die Interpolation zwischen den Bohrpunkten ist zwangsläufig etwas großzügig. Gerade die Laufener Enge hat sich indessen als eine der Schlüsselstellen in der Längsentwicklung des Flusses erwiesen; ferner ist nicht genau bekannt, wie sich die Tertiärschwelle rechts zwischen Fkm ca. 44 und 40 entlang des linken Ufers fortsetzt bzw. ob sie auch dort morphologisch wirksam ist und die Schleife zwischen Fkm 47,8 bis 48,4 stützen kann. Deshalb wurden auch hier weitere Bohrungen als Bedarf eingetragen. Desgleichen erscheinen weitere Aufschlüsse am Übergang des Tittmoninger Beckens zur Nonnreiter Enge sinnvoll. Die seinerzeitigen Untersuchungen endeten bei ca. Fkm 15. Da der Untersuchungsbereich sich bis zur Stauwurzel der Stufe Simbach-Braunau erstreckt, fehlt hier die Fortsetzung. Die in der Anlage 25.1 eingetragenen und interpretierten Bohrungen in Burghausen müssen ggf. entsprechend ergänzt werden.

Die in Anlage 25.1 angegebene Zahl von insgesamt 10 Bohrungen ist als Mindestwert zu verstehen, wenn gewässermorphologische Aussagen über die Flußentwicklung zu vervollständigen sind. Das Geo-Team Salzach hat in seiner 6. Sitzung den notwendigen Untersuchungsbedarf in Teilbereichen

weiter präzisiert [173], die in Anlage 25.1 nicht eingetragen sind. So wurden im Laufener Bereich drei Standorte als prioritär angesehen (47,6; 46,8 und 46,4), zwei weitere als wünschenswert (47,2 und 46,6). Daran anschließend wurden bis ca. Fkm 44 sechs weitere Uferbohrungen als notwendig erachtet, um das Abtauchen der Tertiärschwelle auf der bayer. Seite in Verbindung mit der Stabilität der oberhalb liegenden Schleife zuverlässig beurteilen zu können.

Anlage 25.2 zeigt als vorrangig zu untersuchen die mit D gekennzeichneten Streckenabschnitte auf. Im Bereich Fkm 60 bis 57 kann auf 4 Bohrungen im Uferbereich aus den 80er Jahren (ca. Fkm 58,85; 58,65; 58,15 und 67,63 – nicht in Anlage 25.2 eingetragen) zurückgegriffen werden [173]. Die Strecke zwischen Fkm 51 bis 48 muß durch 3 Bohrungen (49,05; 48,5 und 48,15 – nicht in Anlage 25.2 eingetragen) nachverdichtet werden. Weitere Nachverdichtungen bei 46,6 und 44,2 (nicht in Anlage 25.2 eingetragen) sind zur Erhärtung gewonnener Erkenntnisse wünschenswert. Im Tittmoninger Becken wurde der Erkundungsbedarf mit 8 Bohrungen, zuzüglich einer bei ca. Fkm 35,5 in das Vorland abgerückten Bohrung, veranschlagt (vorgeschlagene Standorte, nicht in Anlage 25.2 angegeben: 38,8; 37,8; 27,2; 36,1; 34,2; 33,2; 32,6 und 31,4), [173]. Der Bereich zwischen den Fkm 30 und 19 ist für Erkundungen zwar nicht dringlich aber wünschenswert, da die Interpolation der bisherigen Aufschlüsse hier an die Grenzen einer plausiblen Aussage stieß. Anzahl und Positionierung sowie die Art der Aufschlüsse sind ggf. den Planungsnotwendigkeiten anzupassen. In der Durchbruchsstrecke zwischen Nonnreit und Burghausen wurden ca. 25 Nutsondierungen als ausreichend angesehen, da hier die Tertiäroberfläche dicht unter GOK ansteht.

Über den genauen Umfang der Aufschlüsse kann aber erst nach Vorliegen eines konkreten Lösungskonzeptes entschieden werden. Die Lage der Bohrpunkte ist den örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Aus Gründen der besseren Auswertungsmöglichkeiten werden Rotationskernbohrungen empfohlen. Sie erlauben die genauere Aussage über Schichtgrenzen und ergeben besseres Kernmaterial

Konkrete Maßnahmenvorschläge sind in der Worst-Case-Studie der RMD-Consult [153] enthalten. Die Studie unterscheidet u. a. „Bereiche mit schleichendem Sohldurchschlag“ und „Bereiche mit plötzlichem Sohldurchschlag“ (vgl. 6.1.3) und begründet ausführlich den Gefährdungsgrad einzelner Streckenabschnitte. Insgesamt werden 13 „erforderliche Maßnahmen“ (EM 01 bis EM 13) zur Morphologie (geologische Sondierungen, Überwachung, vorbeugende und sichernde Maßnahmen) vorgeschlagen. EM 01 bis EM 05 umfassen geologische Sondierungen, die für dringlich erachtet werden:

- EM 01 Fkm 59,3 - 57,2; rechtes Ufer,
- EM 02 Fkm 49,0 - 47,6; rechtes Ufer,
- EM 03 Fkm 47,2; 46,7; 46,5; linkes Ufer,
- EM 04 Fkm 17,6 - 17,0; rechtes Ufer und
- EM 05 Fkm 14,8 - 14,3; linkes Ufer.

Diese Vorschläge basieren auf den bisherigen Erkundungen, sind mit der WRS abgestimmt und wurden auftragsgemäß genauer lokalisiert, da die Gefahrenpunkte (Bauwerke, Wege und Straßen, Siedlungen etc.) entlang der Untersuchungsstrecke möglichst eindeutig benannt und der Gefährdungsgrad definiert werden sollte. Die sich daraus ergebenden kleineren Überschneidungen können jedoch mit den WRS-Vorschlägen jeweils zu einer Erkundungsmaßnahme zusammengefasst werden. Zwei Maßnahmen werden in der Studie als besonders vordringlich angesehen:

- Der Abschnitt zwischen Fkm 59,3 (Saalachmündung) und Fkm 57,2; rechts (EM 01).

- Die Laufener Enge zwischen Fkm 49,0 und 47,6; rechts (EM 02).

Der erste Streckenabschnitt ist stark sohldurchschlagsgefährdet und weist die größte Sohleintiefung seit 1920 (erste verfügbare Profilserie) auf. Befürchtet wird eine rückschreitende Erosion bis über Fkm 60 (Fischachmündung) hinaus zur Bergheimer Schwelle (ca. Fkm 62), u.U. auch noch in die Saalachmündung hinein. Die Planung von vorbeugenden Maßnahmen hängt von den Ergebnissen weiterer Sondierbohrungen ab, deren dringliche Durchführung angeraten wird. Dies deckt sich nahezu mit der oben vorgeschlagenen Erkundung bzw. Nachverdichtung ab ca. Fkm 60 flußabwärts.

Da die Möglichkeit eines plötzlichen Sohldurchschlags im gesamten Bereich zwischen den Fkm 59,3 bis 55,8 gesehen wird (plus möglicher rückschreitender Erosion bis ca. Fkm 60 und weiter), bietet sich an, WRS- und RMD-Consult-Vorschläge zu verbinden und eine einheitlich geplante Erkundung zwischen ca. Fkm 60 und Fkm 55 durchzuführen, wobei auch zu prüfen wäre, inwieweit auch linksufrig eine Nachverdichtung Sinn macht.

Der zweite Streckenabschnitt betrifft die Laufen-Oberndorfer Enge und einen Bereich unterstrom, etwa zwischen den Fkm 49,5 und 46. Hier werden mehr rinnenförmige Eintiefungen bzw. Sohldurchschläge erwartet. In der Engstelle treten immer wieder Nagelfluhbänke auf (Konglomeratlagen), die durch kalkiges Bindemittel verkittet wurden. Ihre Lagerungsform als relativ dünne Platten mit Mächtigkeiten zwischen ca. 0,5 m bis 1,5 m stellt bereits einen Gefahrenpunkt dar, da sie, wie wiederholt geschehen, vom Fluß leicht unterspült werden können und dann nachbrechen. Diese Lagen auch linksufrig zu erkunden und auf ihre Standfestigkeiten zu prüfen, wird in der Studie vorgeschlagen. Ferner ist zu erkunden, ob und wie sich die Tertiärschwelle rechts bei Fkm 47 linksufrig fortsetzt (Kap. 6.1.3) und somit vielleicht einen brauchbaren Sohlfixpunkt ergeben würde. Derzeit bestehen daran Zweifel. Die Studie sieht einen aktuellen Aufschlussbedarf bei den Fkm 47,2; 46,7 und 46,5; die Bohrpunkte sind gegenüber den WRS-Vorschlägen leicht verschoben.

Da rechtsufrig zwischen ca. Fkm 50,5 und 47,5 eine Aufschlußlücke existiert (Bereich D in Anlage 25.2), bietet sich auch hier an, ein einheitliches Untersuchungsprogramm zu konzipieren, bei dem Lage und Anzahl der Bohrungen festzulegen wären und die vorgeschlagenen Bohrpunkte bei den Fkm 40,0 und 38,0 einbezogen werden könnten.

Die Standortvorschläge für die weitere Verdichtung in Anlage 26 geben einen Zwischenstand wieder, wie ihn das Geo-Team der WRS vorbehaltlich einer geologischen Begutachtung im Detail vorschlägt [173]. In sensiblen Bereichen sollten im Abstand von wenigstens rd. 200 m Bohrungen vorliegen, die 15 bis 20 m tief abgeteuft werden (Bereich Oberndorf: bis 40 m). Ein Abstand von 500 m zwischen den Bohrungen sollte generell längs der beiden Ufer angestrebt werden. In dieses links- und rechtsufrige „Erkundungsgerüst“ sollen weitere maßnahmen- und geländespezifische Erkundungsmethoden eingefügt werden (z.B. Schürfgruben, Nutstangensondierungen, Geophysik etc.).

In Anlage 26 sind die Vorschläge von WRS und RMD-Consult im Bereich Laufener Enge (Abschnitt 2) beispielhaft dargestellt. In grau sind die Vorschläge der WRS, in violett die Vorschläge der RMD-Consult eingetragen. Der graue Doppelpfeil soll Alternativstandorte von WRS (graues Kreuz) und RMD (pinkfarbener Punkt) hervorheben, d.h. die RMD-Standorte 46,5 und 46,7 sollten zur Gewinnung der geologischen Situation in Querprofilen nach 46,4 bzw. 46,8 verlegt werden. Bei Bedarf könn-

te bei Fkm 46,6 beidseitig nachverdichtet werden. Unterhalb von Fkm 46,6 wird bis ca. Fkm 44,0 (Beginn Tittmoninger Becken) auf bayer. Seite ein mittlerer Abstand von rd. 300 m vorgeschlagen, wobei die bestehenden Bohrungen Variationen der Rasterweite vorgeben. Im Bereich EM 02 wurden von der RMD-Consult keine konkreten Bohrpunkte bzw. Abstände vorgeschlagen. Die Bohrpunkte wurden vom Geoteam [173] in Ergänzung der zahlreichen Bohrungen im Dammbereich mit geringer Tiefe konkretisiert. (s.o.).

Zusammen mit den vorgeschlagenen Bohrungen zwischen Fkm 17,6 und 17,0 sowie stromabwärts von Fkm 15,0 ergeben sich drei Aufschlußschwerpunkte, die in beiden Studien als vordringlich für präzisere Aussagen über die Untergrundverhältnisse unterstrom der Saalachmündung angesehen werden:

- Fkm ca. 60 bis ca. 55 rechts, u. U. auch teilweise links;
- Fkm ca. 49,5 bis ca. 46 (einschl. Fkm 40,0 und 38,0) beidseitig;
- Fkm 17,6 bis ca. Fkm 11 beidseitig.

In das vervollständigte links- und rechtsufrige „Erkundungsgerüst“ sollte vor allem die flächendeckende Erkundung der Mächtigkeit der Sandauflage und Kiesvorkommen inclusive deren Zusammensetzung im ufernahen Bereich (Aufweitungsbereiche und Mäanderstrecken) eingehängt werden. Die Kenntnis über die Kiesreserven in der Aue sind eine wesentliche Voraussetzung für das zeitlich-räumliche Umsetzungskonzept. Durch diese verdichteten Erkundungen besteht die Möglichkeit, die in 5.7 angesprochene neue geologische Modellvorstellung zu verifizieren (z.B. Erhärtung der These für die fluviale Entstehung der Kiesauflage im Tittmoninger Becken).

In dieser Untersuchung wurden oft Ansätze von ZARN aus der VAW-Mitteilung 154 „Einfluß der Flußbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluß, Morphologie und Geschiebetransportkapazität“ [71] verwendet. Seine Ansätze basieren auf Modellversuchen mit einer Kornzusammensetzung und unterschiedlicher Gerinnebreite. Der Gleichgewichtszustand wurde meist über eine geringfügige Anlandung erreicht. ZARN hat die Zusammenhänge zwischen Kolktiefe bzw. Bankhöhe und Morphologie herausgearbeitet, die Ansätze bedürfen aber noch einiger Absicherungen für:

- andere Kornzusammensetzungen im Modellversuch,
- verzweigte Gerinne mit $Y = B_F/h > 300$ bis 400, insbesondere Überprüfung der Sinuosität (verzweigter Fluß beginnt innerhalb der vorgegebenen Gerinnebreite zu migrieren, vgl. 5.7.2),
- Ungleichgewichtszustände im Modellversuch (insbesondere Erosionszustände).
- Die Modellversuche sollten im größeren Umfang durch Naturmessungen verifiziert werden (insbesondere sollte die „Verträglichkeit“ der Profilmeßdichte im Modell, daraus entwickelter Ansätze mit Profilaufnahmen vorgegebener Rasterweite (200 m Abstand), die vorzugsweise bei MW bis NW erfolgen, nachgewiesen werden).

Zur Bearbeitung flußmorphologischer und geschiebetechnischer Fragestellungen stehen Berechnungsansätze zur Verfügung, die ausschließlich kiesiges Material voraussetzen. Die Wechselwirkungen von Kies zu feineren (Sand) und kohäsiven (Seeton) Materialien sind noch kaum erforscht, gewinnen in der Praxis aber immer mehr an Bedeutung. Im Bereich kohäsiver Materialien ist es derzeit gängige Praxis mit einem Schubspannungsansatz zu arbeiten, das Erosionsverhalten von Seeton läßt sich aber damit nur unzulänglich beschreiben. SCHRÖDER und ZIMMERMANN [154] haben darauf hingewiesen, daß der Erosionswiderstand von kohäsiven Material in Zusammenhang mit seinem Resonanzverhalten zu sehen ist. Dieser Ansatz sollte weiterverfolgt werden. Daneben sollten systematische Untersuchun-

gen erfolgen, welche das Erosionsverhalten kohäsiver Materialien in Abhängigkeit von Luftzutritt, Licht, Temperatur und Frost klären. Solange diese Defizite bestehen, kann aus flußmorphologischer und wasserbautechnischer Sicht nur die Vermeidung nicht-kiesiger Sohlzustände empfohlen werden.

Der schwebstoffreiche Abfluß der Salzach stellt ein weiteres Problemfeld dar. Wünschenswert wären Erkenntnisse, wie periodische Abflußschwankungen und schwebstoffreiche Spülungen aus Stauhaltungen die Unterliegerstrecke beeinflussen. Es fehlen Empfehlungen, wie Rehnenbildung und Ablagerungen im Nebengewässersystem reduziert oder vermieden werden können. Zur Ermittlung von günstigen Randbedingungen, wie z.B. die sedimentologische Optimierung von Ein-/Überströmbereichen und das Freihalten von Abflußquerschnitten kann entweder über Naturversuche erfolgen oder besser vorausschauend in der konkreten Ausführungsplanung über den Einsatz von 2D-Abflußmodellen in Kombination mit einem Schwebstofftransportmodul.

Die Literatur im deutschsprachigen Raum zu den Themen Sohldurchschlag und Rinnenbildung wurde in dieser Untersuchung weitgehend aufgearbeitet. Darüber hinaus sollte eine sorgfältige Auswertung anderssprachiger Fachliteratur erfolgen, insbesondere in welchem Wirkungsgefüge diese Erscheinungen gesehen werden, vgl. z.B. der in 5.13. erwähnte ASCE Beitrag [165]. Darüber hinaus sollte der Fragestellung nachgegangen werden, ob und wie physikalische und mathematische Modelle zur Klärung dieser Erscheinungen sinnvoll eingesetzt werden können.

Für die Untere Salzach liegen umfangreiche geschiebetechnische Untersuchungen vor. Die direkte Messung des Geschiebetriebs bzw. Zusammensetzung des laufenden Geschiebes durch Geschiebefänger wird für die Untere Salzach als unpraktikabel angesehen, dagegen sollten Untersuchungen im Stauwurzelbereich des KW Simbach/Braunau intensiviert werden. Die Zusammensetzung des gebaggerten Materials wurde erstmals 1997 untersucht und sollte durch turnusmäßige Beprobung parallel zur Entnahme erhärtet werden.

6.7 Flußbauliche Gestaltungsmöglichkeiten

Die rein flußmorphologischen Hinweise zu den flußbaulichen Gestaltungsmöglichkeiten entstanden gegen Ende der Bearbeitung als Folge der in den Vordergrund getretenen Schwerpunkte. Sie waren nicht bzw. nur in Bruchstücken zu Beginn Variantenplanung bekannt und sind im Wechselspiel Planungsaufgabe – Grundlagenaufbereitung entstanden bzw. gewachsen. 6.7 ist als Zusammenfassung der in 5 herausgearbeiteten Teilaspekte knapp gehalten und wird im Fachbericht Nr. 9 “Wasserwirtschaftliche Planungs- und Bewertungsmethodik” flußbaulich weitergeführt.

Die Denkschrift über den gegenwärtigen Stand der Wasserbauten in Bayern aus dem Jahre 1909 [32] sah vor, bestehende Flußkorrektionen in den „normalen Unterhaltungszustand“ überzuführen. An größeren Flüssen sollte dies „durch Festlegung der Flußsohle in den vertieften Korrektionen mittels Profilerweiterung“ geschehen, an kleineren Flüssen waren als Regelbauweise Querbauten vorgesehen. An der Saalach unterhalb des Zollhauswehres kam es auf einer kurzen Teilstrecke auch tatsächlich zu einer geringfügigen Aufweitung (von 32,25 m auf 45 bis 50 m), ansonsten kamen immer wieder Querbauwerke zum Einsatz, da das Vorrücken von Nutzungen eine Rückverlegung der Ufer i.d.R. verhinderten, vgl. 5.1.1.2. An der Salzach haben sich derartige Restriktionen nur lokal entwickelt, so

daß über weite Bereiche noch große Gestaltungsspielräume bestehen.

Ein grundlegender Wandel seit Korrektionsbeginn ist im Feststoffhaushalt festzustellen. Dem Zeitpunkt 1817 waren mehrere Jahrzehnte mit extremen, systemverändernden Ereignissen vorangegangen, die das geschiebereiche Erscheinungsbild der Salzach prägten. In den folgenden zwei Jahrhunderten wurden systemverändernde Zäsuren wie: Verbauung des Einzugsgebietes, Lauffixierung aller Seitenzubringer und Geschiebeentnahmen geschaffen, so daß die Situation heute als irreversibel geschiebearm eingestuft werden muß.

Korrektion und über Jahrzehnte zunehmende Geschiebearmut bedingte die Freilegung der festgestellten erosionsempfindlichen Schichten und kurzzeitig wirksamer Fixpunkte (Bergheimer Schwelle), deren Existenz man sich zu Beginn der Korrektion noch gar nicht bewußt war.

Diese drei Faktoren (Raumbedarf, Geschiebearmut und erosionsempfindliche Geologie) sind die Eckpfeiler der flußbaulichen Gestaltungsmöglichkeiten zwischen Saalachmündung und Inn. Dazu kommen noch eine Reihe von fachlichen Aspekten und Wirkungszusammenhänge, die nachfolgend thesenartig vorgestellt werden. Alle flußbaulichen Elemente sollten so kombiniert werden, daß sie in Richtung des gewässerökologischen Leitbildes (Kartengrundlage 1817) wirken:

Alle Möglichkeiten nutzen, die Geschiebezufuhr der Salzach zu erhöhen: Die Geschiebezufuhr muß verbessert werden, um die flußbauliche Gestaltung in Richtung gewässerökologisches Leitbild (Kartengrundlage 1817) zu ermöglichen bzw. das den Planungen zugrunde liegende Geschiebeszenario von 40.000 m^3/a gegenüber der derzeitigen Geschiebezufuhr in der Bandbreite von rd. 21.000 bis 32.000 m^3/a überhaupt realisieren zu können:

- Die einzige, in absehbarer Zeit zum Zuge kommende Erhöhung der Geschiebezufuhr resultiert aus der Geschiebezugabe im Unterwasser der Talsperre Kibling in der Größenordnung einer Jahresgeschiebefracht der Saalach. Ob und wann diese Zugabe im benötigten Umfang (rd. 8.000 bis 19.000 m^3/a) im vollen Umfang der Salzach zu gute kommt, wäre noch nachzuweisen. Nach den bisherigen Erfahrungen könnte es ein bis zwei Jahrzehnte dauern, bis die Zwischenstrecke der Saalach ihr neues Gleichgewicht gefunden hat und durchlässig für die benötigte Fracht geworden ist. U.U. könnte es aber auch sein, daß Teilstrecken der Saalach die zusätzliche Fracht ohne Umgestaltung gar nicht bewältigen.
- Aus der Literatur ist bekannt (z.B. [71]), daß die Annäherung an einen Gleichgewichtszustand bei Geschiebeüberschuß wesentlich rascher erreicht wird als bei Geschiebemangel. Um lokal kritische Zwischenzustände zu vermeiden, sollten daher salzachnahe Kiesvorkommen genutzt werden, um möglichst rasch die prognostizierten Sohlenendlagen von Lösungsvarianten zu erreichen, bevor schädliche Erosionsprozesse an anderer Stelle einsetzen können.
- Die salzachnahen Kiesvorkommen, die über Aufweitungen und Seitenerosion mobilisiert werden könnten, sind aber nur von geringer Mächtigkeit und daher nur über einen begrenzten Zeitraum in der Lage, dem derzeitigen Geschiebedefizit entgegen zu wirken. Die Erhöhung der derzeitigen Geschiebezufuhr von oberstrom erhält dadurch noch mehr Brisanz.
- An sich wären auch lokale Geschiebezugaben sinnvoll um realisierte Teilschritte rasch umzusetzen (z.B. Autobahnbrücken Urstein und Liefering, Saalachbrücke im Unterwasser des KW Rott/Freilassing). Derartige Überlegungen werden von den Transportkosten, der Umweltbelastung und dem allgemein hohen Verkehrsaufkommen im Straßennetz begrenzt und sind daher höchstens

über einen kurzen Zeitraum vertretbar.

Um die **Eintiefung in den erosionsgefährdeten Untergrund zu stoppen** sollten möglichst alle flußbaulichen Möglichkeiten sinnvoll kombiniert werden:

- Die Salzach sollte maßvoll aufgeweitet werden. Maßvoll bedeutet in diesem Zusammenhang die Funktionsgrenzen morphologischer Systeme - soweit bekannt - zu beachten (eigene These).
- Natürliche Fixpunkte in ihrer sohlmorphologischen Funktion gestärkt werden bzw. als solche ausgebaut werden. Ggf. sollten auch neue Fixpunkte geschaffen werden, sofern es flußbaulich zielführend ist, z.B. durch Rollierungsstreifen oder Bereiche mit offener Belegung (Bändelbauweise [120], offene Deckwerke [174], [175] etc). Die Dichte solcher Fixpunkte richtet sich nach den Erfordernissen des Untergrundes und der angestrebten Sohlhebung. Die Gefälleverhältnisse im Bereich von Fixpunkten und Fließstrecken sollten sich nicht zu stark unterscheiden um einen Fließwechsel (Fr = 1) oder Fließzustände, die häufig dem Fließwechsel nahekommen, zu vermeiden. Für die Umsetzung solcher Bauweisen fehlen jedoch einschlägige Erfahrungen bzw. sind weitere Modellversuche unabdingbare Voraussetzung.
- Querbauwerke bieten durch Fließwechsel die Möglichkeit, lokal viel Energie schadlos umzuwandeln. Sie bieten sich besonders dann an, wenn größere Sohlhebungen erwünscht sind und abgetreppte Wasserspiegellagen akzeptabel sind. Wegen den kritischen Untergrundverhältnissen sind solche konventionelle Bauweisen von Vorteil (zeitlich/örtlich genauer definierbare hydraulische Belastungen, wasserbauliche Erfahrung). Die Gefälleverhältnisse sollten nur maßvoll reduziert werden, da bei schwebstoffreichen Flüssen wie der Salzach Probleme mit ufernahen Anlandungen (Rehnenbildung) zu erwarten sind.

Die **Funktionsgrenzen morphologischer Systeme** (Hauptgruppen der morphologischen Modellvorstellung) müssen beachtet werden:

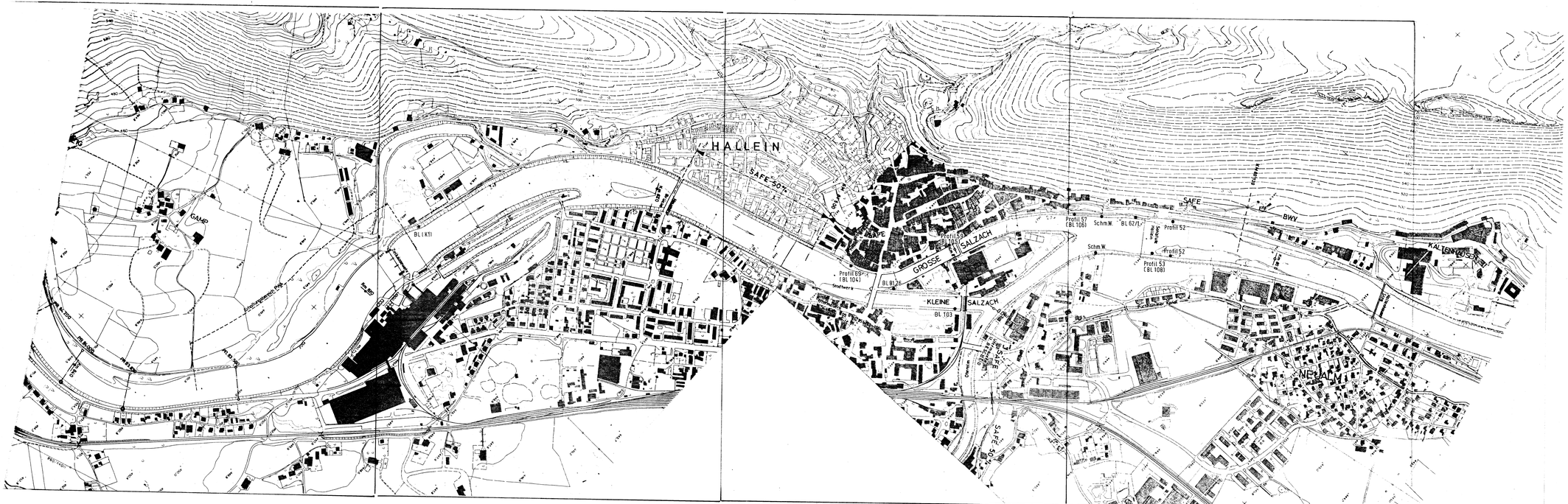
- Nach derzeitigem Kenntnisstand sind die Funktionsgrenzen morphologischer Systeme nicht exakt (mathematisch/physikalisch) formulierbar, sondern eher als Modellvorstellung zu sehen, wie vorhandenes naturwissenschaftliches Wissen systematisiert und angewandt werden sollte.
- Von der Modellvorstellung her bieten sich zwei Lösungskonzepte an, da die Salzach im Übergangsbereich von alternierenden Bänken und Mäanderstrecke liegt (vgl. 5.7, Abb. 67). Je nach Material entstehen bestimmte Morphologien (vgl. 6.4, Abb. 153). Ein verzweigtes System scheidet wegen des irreversibel gestörten Geschiebehaushaltes aus.
- Abgesehen von den Parametern Geschiebedargebot und Abflußregime können die Phänomene Sohldurchschlag und Rinnenbildung prägend für die Morphologie werden. Die Gefahr einer Rinnenbildung kann in direkter Abhängigkeit von Flußbettbreite und Abflußtiefe gesehen werden (die Gefährdung wächst bei kiesführenden Flüssen mit zunehmendem $Y = B_F/h$), läßt sich nach derzeitiger Erkenntnis aber nicht genauer quantifizieren.
- Eine Lösung mit alternierenden Bänken benötigt im Fall der Salzach Gewässerbreiten größer 200 m, um dem vorhandenen Gefälle und der Kornzusammensetzung in den Becken zu entsprechen. Damit alternierende Kiesbänke funktionieren (d.h. dynamisch wandern) ist ein ausreichendes Geschiebedargebot unerläßlich. Nur dann kann auch erwartet werden, daß Bereiche mit geringerer Restkiesauflage von wandernden Bänken und Kolken „überfahren“ werden, ohne dabei zu Problemstellen zu werden. Bestehen umgekehrt Zweifel, ob das Geschiebedargebot für eine Gleichgewichtslage der Sohle ausreicht, so ist eine ausreichende Mächtigkeit der Kiesauflage sicherzustellen (gefüllter Sohlspeicher), damit zeitlich/örtlich variable Geschiebedefizite nicht zu

Problemstellen werden, und/oder zusätzliche sohlstützenden Maßnahmen sind zu ergreifen. Große Breiten bedingen aber auch ein großes Gefährdungspotential durch Rinnenbildung (große Kolk/Bank-Amplituden, Einschneiden in erosionsempfindliche Horizonte und Feinteilanlandungen auf Kiesbänken mit anschließender Bewuchsverfestigung). Für große Aufweitungen (Y > 300 bis 400) fehlen derzeit gesicherte Erkenntnisse.

- Eine Lösung mit einer Mäanderstrecke kann mit geringeren Breiten auskommen als eine Lösung mit alternierenden Bänken und benötigt weniger Gefälle (Abb. 153). Um den laufbedingten Höhenunterschied zu überbrücken läßt sich eine Mäanderstrecke vorteilhaft mit Querbauwerken verbinden. Die Kiesbänke des geschwungenen Laufes liegen stationär in den Außenkurven, der Gewässerlauf kann gezielt in Bereiche mit größeren Kiesvorkommen bzw. geringerer Sohldurchschlagsgefährdung gelegt werden.
- In der Praxis können auch Mischformen entstehen, deren Entwicklung aber derzeit nicht zutreffend beschrieben, geschweige denn bemessen werden können. Insofern erscheint es zweckmäßig sich für eine Konzeption zu entscheiden, deren Entwicklungsschwerpunkt eindeutig belegbar ist.
- Da ein verzweigter Gewässerlauf als zielführende Lösung ausscheidet, ist es sinnvoll den Gewässerlauf vorzugeben innerhalb dessen Berandung sich die Entwicklung von alternierenden Bänken bzw. ortsfester Bänke vollzieht. Die Ufersicherung sollte, wo möglich, mit Buhnen erfolgen, um einen größeren Gestaltungsspielraum in den Uferbereichen zu ermöglichen (Anbrüche, Anlandungen, Umgestaltungsfreiraum in Ufernähe wirkt auch der Rehnenbildung entgegen).

Um die Sohlbeanspruchung im Flußbett zu reduzieren, ist eine **Anbindung der Salzach an die Aue** anzustreben. Die Schaffung eines lagemäßig fixierten Nebengewässersystems kann mit einer Reihe von derzeit nicht abschätzbaren Problemen (Verlegung der Ausleitungsstellen durch wandernde Bänke oder Rehnenbildung, Verlandung von Nebengewässern zu Altarmen, Verlandung von Teilbereichen der Aue bei zu geringer Durchströmung, Verwerfungsgefahr der Salzach bei zu hoher Belastung von Nebengewässern) behaftet sein. Umgekehrt kann ein nicht fixiertes Nebengewässersystem rasch funktionsuntüchtig werden oder Nutzungen und Hochwasserschutzeinrichtungen gefährden (unkontrollierte Entwicklung und Verlagerung von Rinnen bis hin zur Verwerfungsgefahr des ursprünglichen Hauptarmes). Trotz aller Einschränkungen ist der Lösungsbaustein “Anbindung der Salzach an die Aue” aus flußmorphologischer Sicht uneingeschränkt empfehlenswert.

Abschließend soll noch einmal betont werden, daß die relativ geringe Nutzungsdichte in den Becken von Freilassing und Tittmoning für einen Fluß in der Größenordnung der Salzach relativ große Gestaltungsmöglichkeiten bietet, denen ebenso flexibel in der Wahl von flußbaulichen Mitteln entsprochen werden sollte.



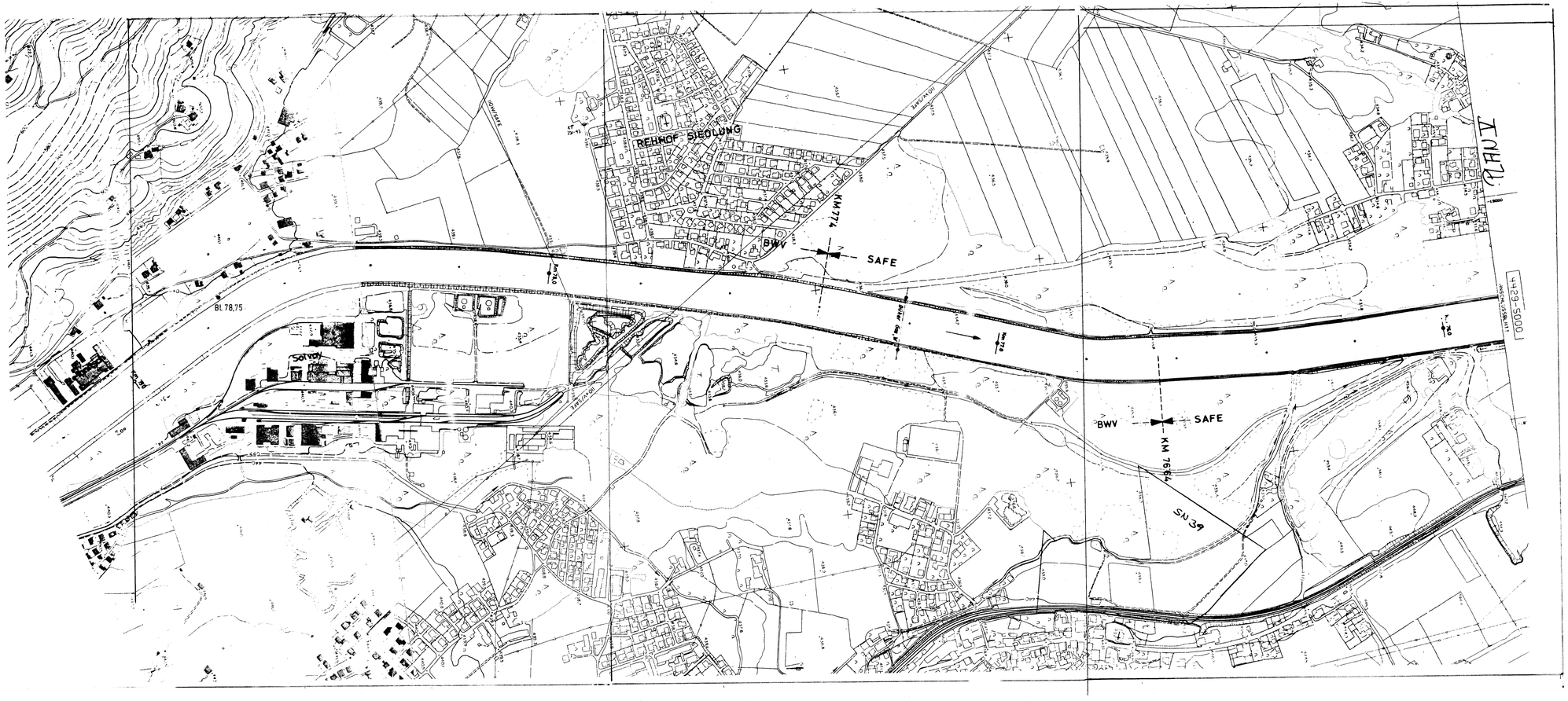
Anlage 1.1

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 84,0 - 80,6

M 1 : 5 000



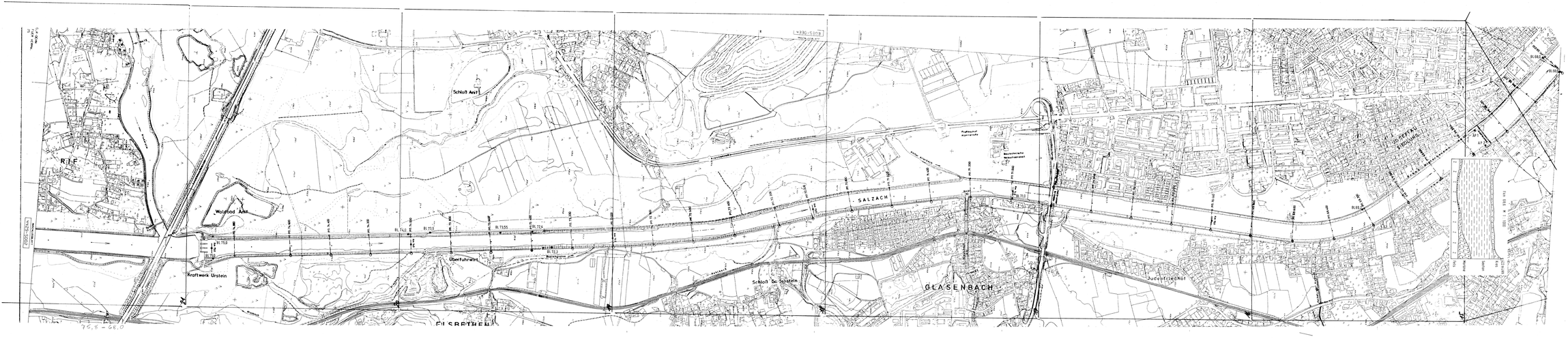
Anlage 1.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

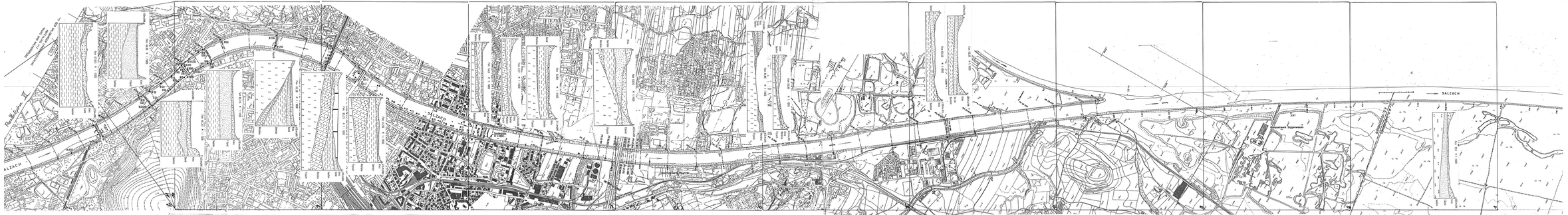
Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 79,0 - 76,0

M 1 : 5 000



Anlage 1.3

W R S	**Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach**
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach	
Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 75,8 - 68,0 M 1 : 5 000	



Anlage 1.4

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Fließmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 07.8 - 56.2

M 1 : 5 000

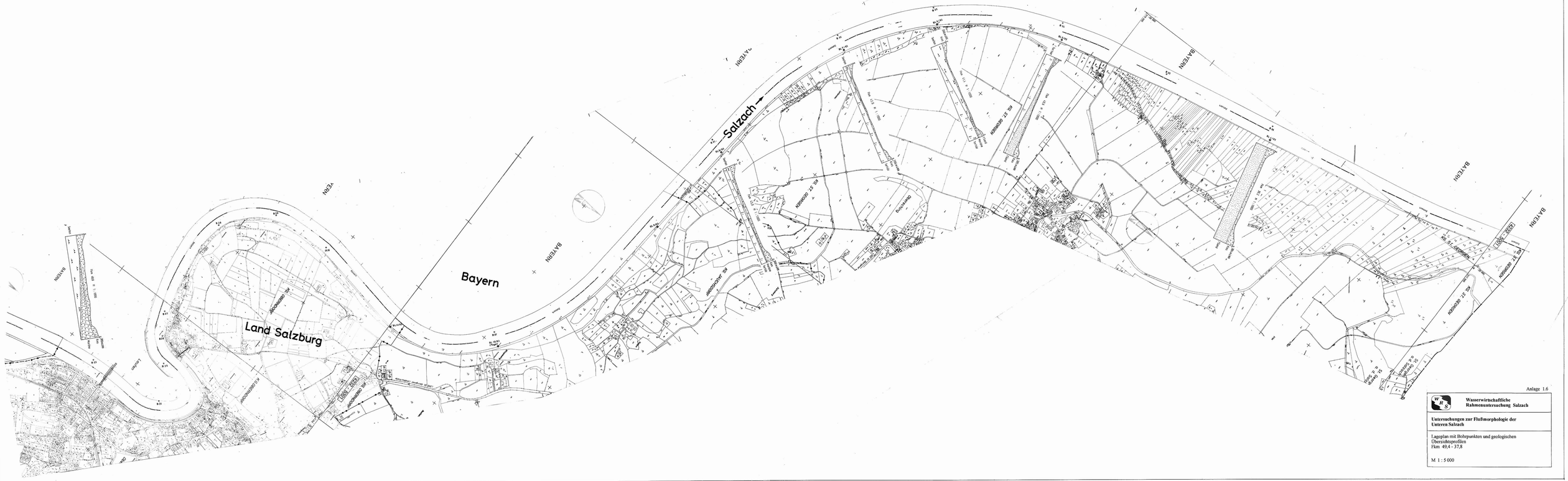
Anlage 1.5

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 60,0 - 50,0

M. 1 : 5 000



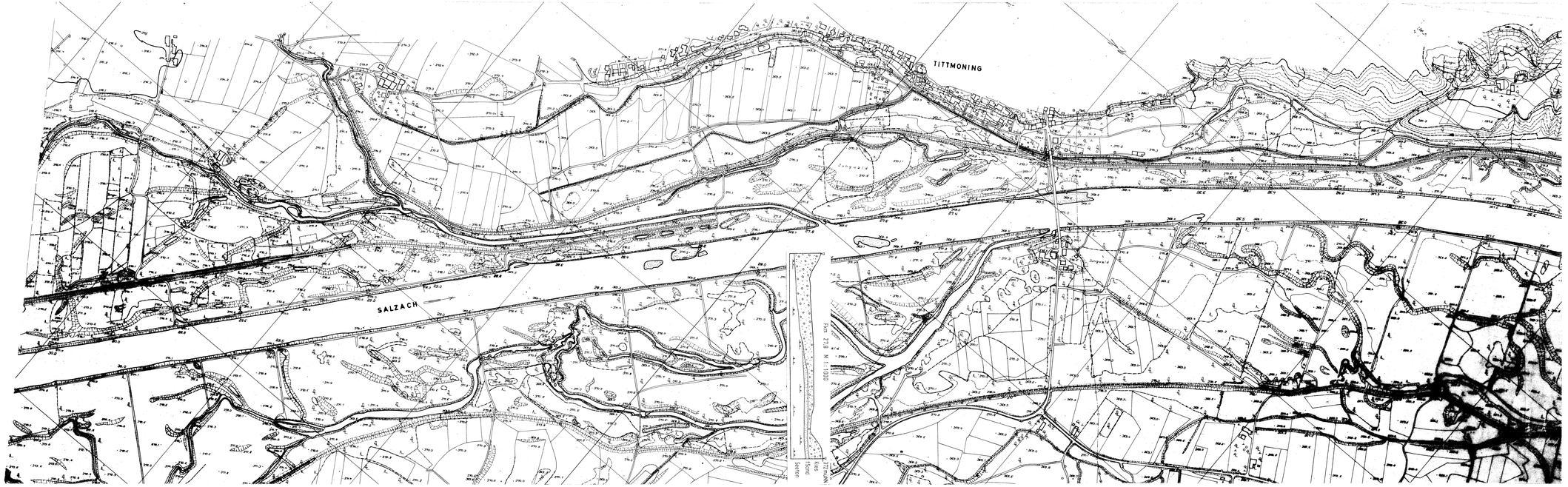
Anlage 1.6

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

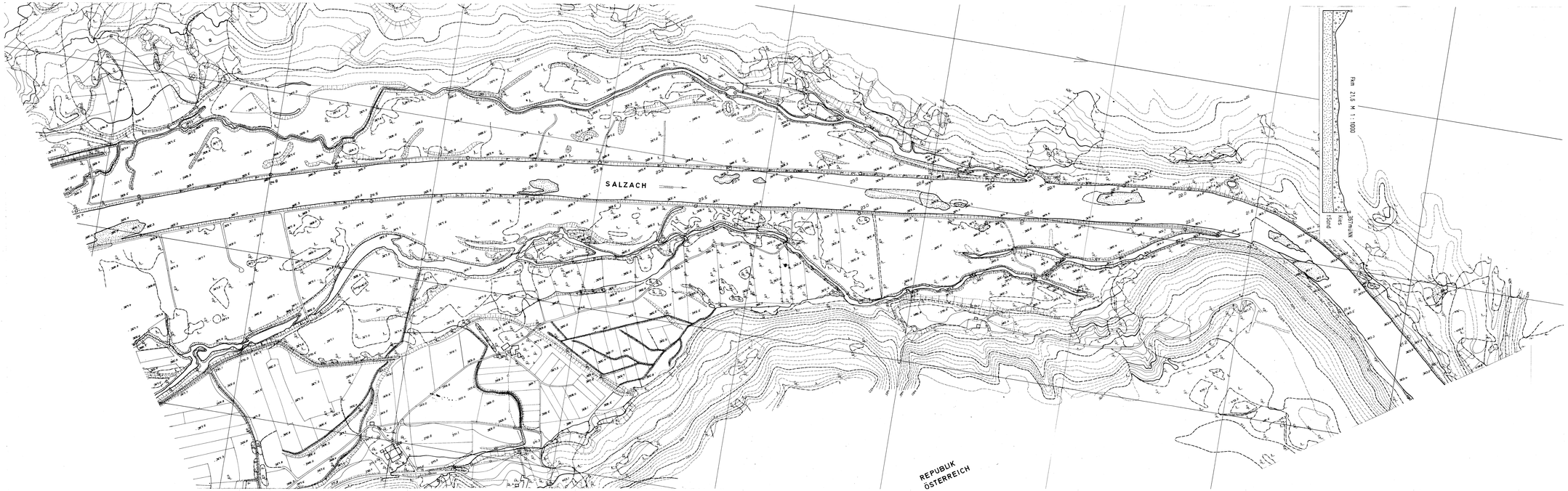
Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 49,4 - 37,8

M 1 : 5 000



Anlage 1.7

W R S	**Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach**
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach	
Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen Fkm 30,2 - 25,6 M 1 : 5 000	



Anlage 1.8

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 25,4 - 21,2

M 1 : 5 000

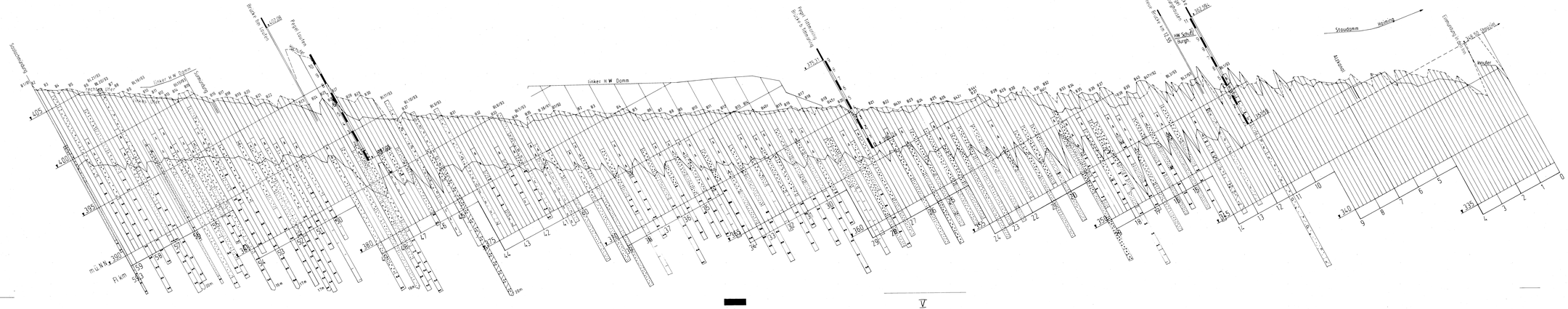
Anlage 1.9

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit Bohrpunkten und geologischen Übersichtsprofilen
Fkm 21,0 - 16,8

M 1 : 5 000



Auffüllung
Kies
Sand
Schluff
Ton
Sandstein
Braunkohle
Grundmoräne

Anlage 2

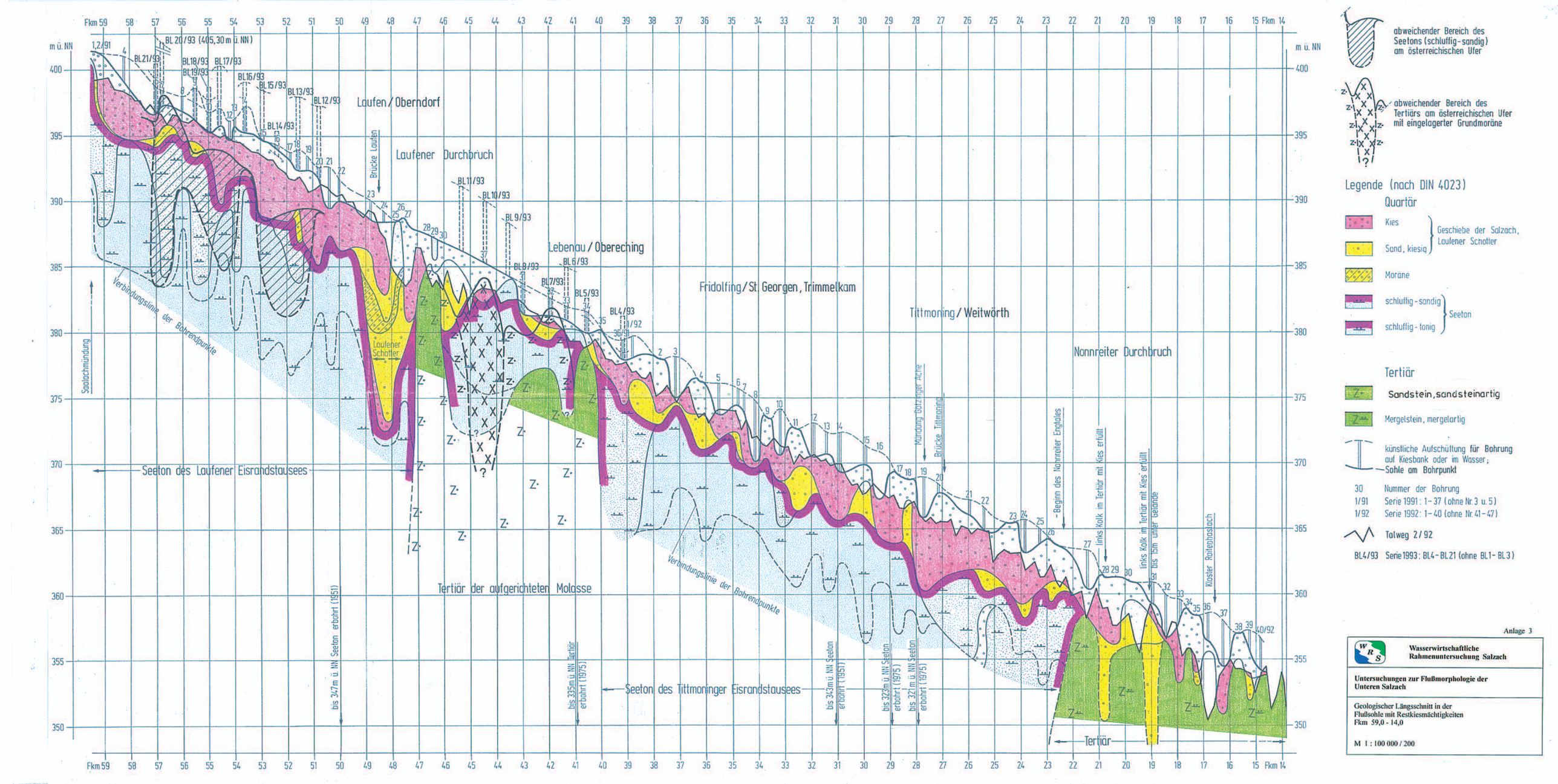
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Flußlängsschnitt mit Talweg
und geologischer Situation
Fkm 59,0 - 11,0

M 1 : 50 000 / 100

2



abweichender Bereich des Seetons (schluffig-sandig) am österreichischen Ufer

abweichender Bereich des Tertiärs am österreichischen Ufer mit eingelagerter Grundmoräne

Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies, Sand, kiesig } Geschiebe der Salzach, Laufener Schotter
- Moräne
- schluffig-sandig, schluffig-tonig } Seeton

Tertiär

- Sandstein, sandsteinartig
- Mergelstein, mergelartig

künstliche Aufschüttung für Bohrung auf Kiesbank oder im Wasser; Sohle am Bohrpunkt

30 Nummer der Bohrung
1/91 Serie 1991: 1–37 (ohne Nr. 3 u. 5)
1/92 Serie 1992: 1–40 (ohne Nr. 41–47)

Talweg 2/92

BL4/93 Serie 1993: BL4–BL21 (ohne BL1–BL3)

Anlage 3

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle mit Restkiesmächtigkeiten Fkm 59,0 - 14,0

M 1 : 100 000 / 200

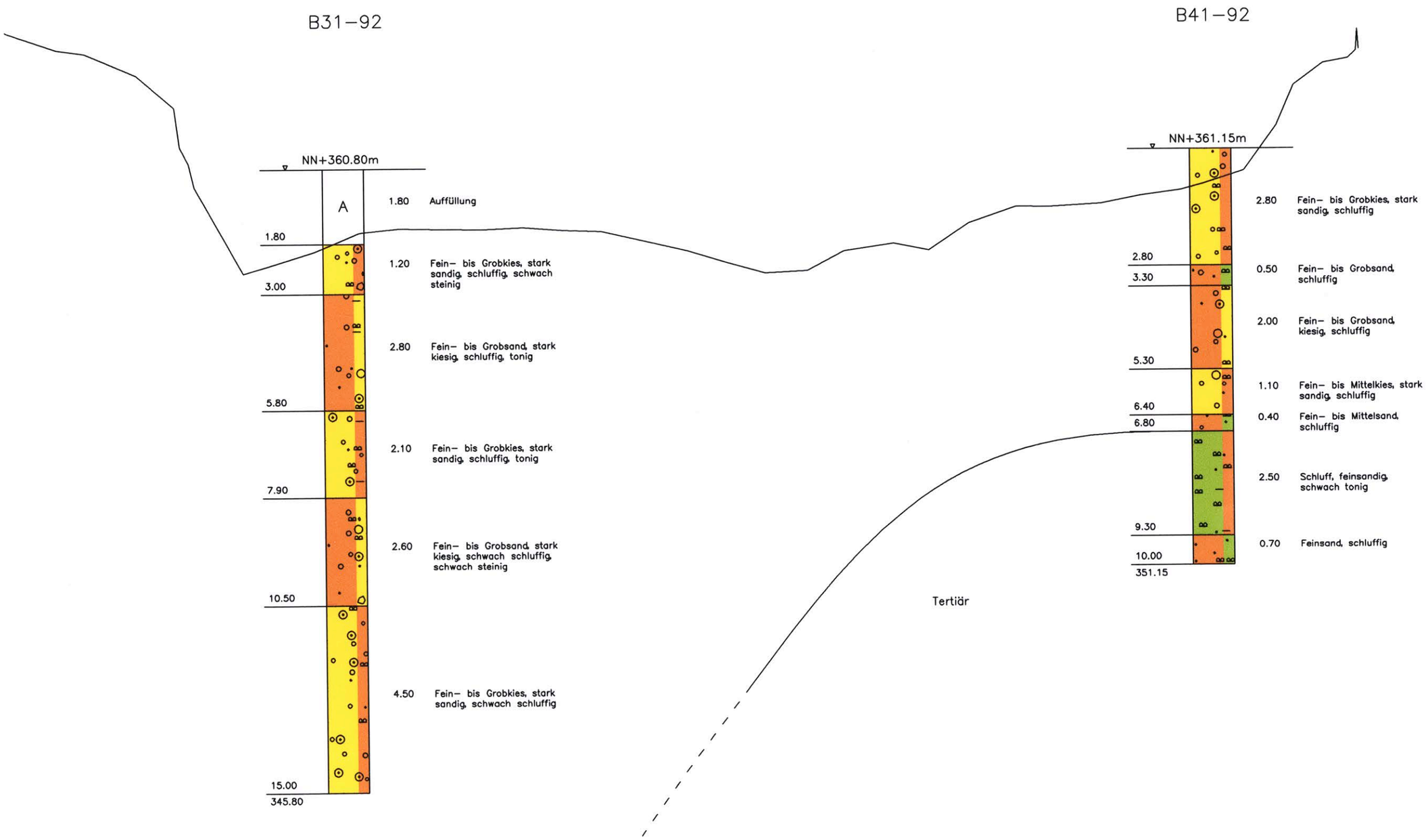
Flußquerschnitte

mit geologischer Situation (19 Querprofile)

Fkm 19,0 - 57,0

Anlage 4

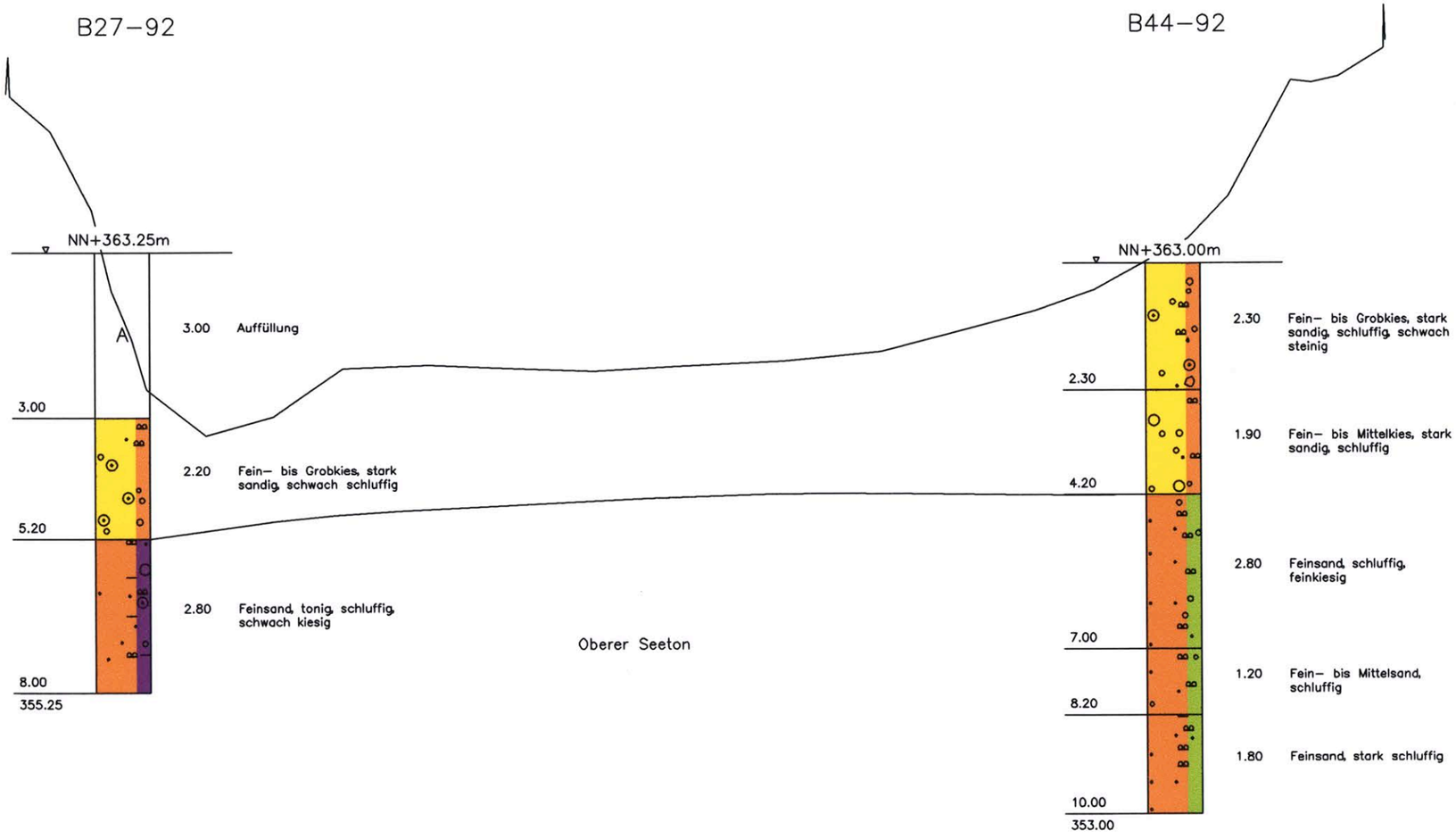
Flußkilometer 19,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

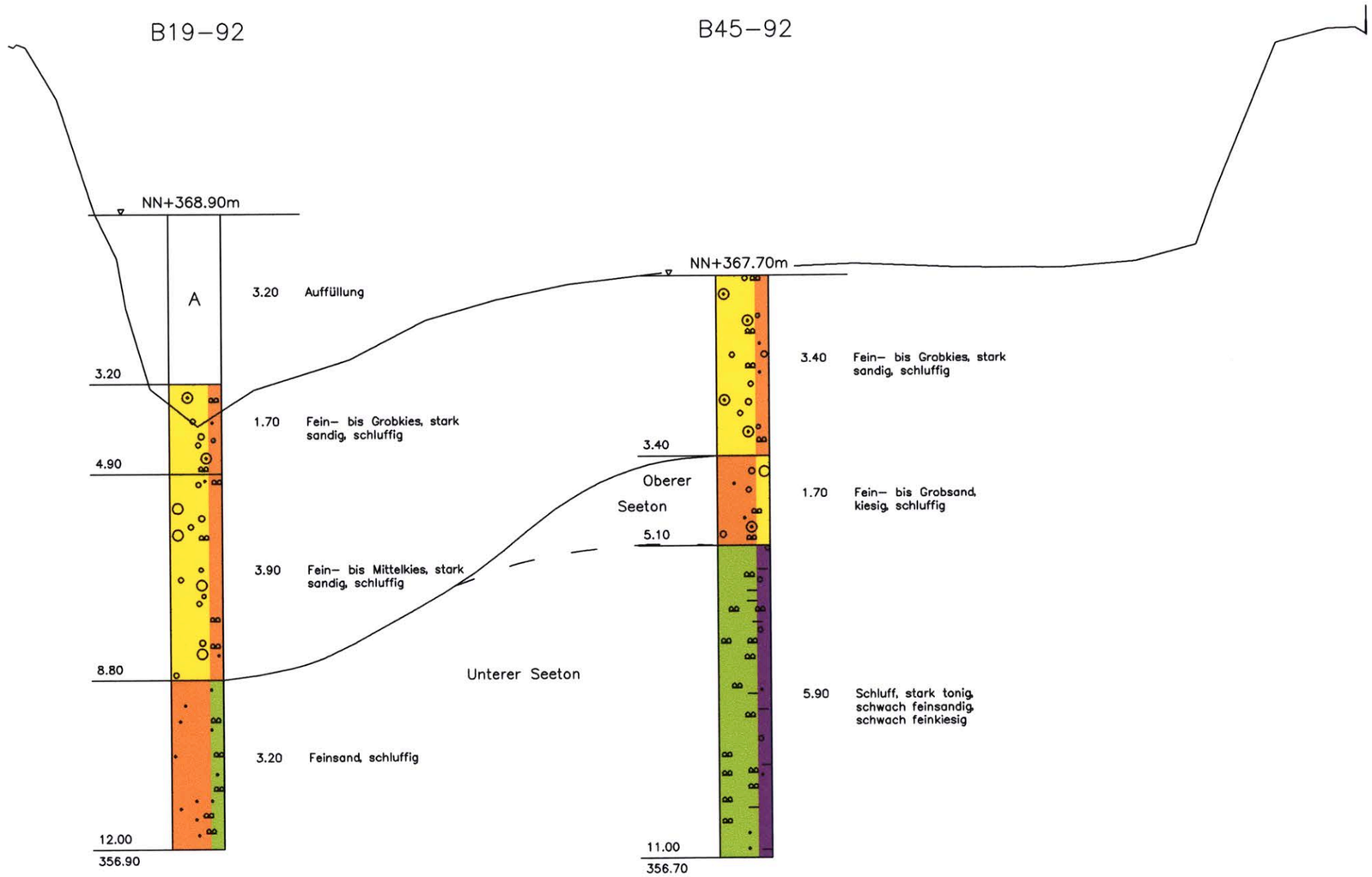
Flußkilometer 21,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

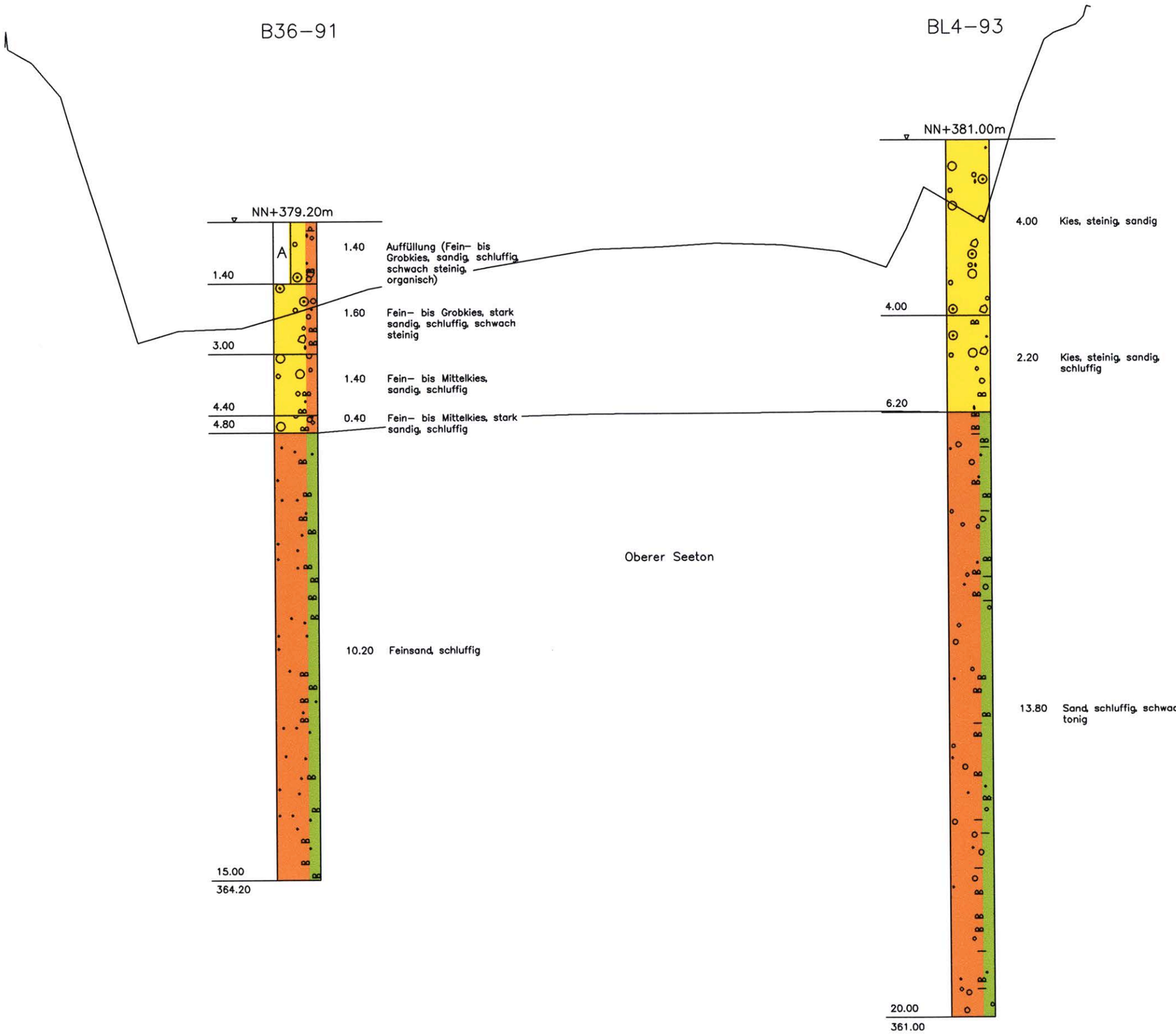
Flußkilometer 27,800



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

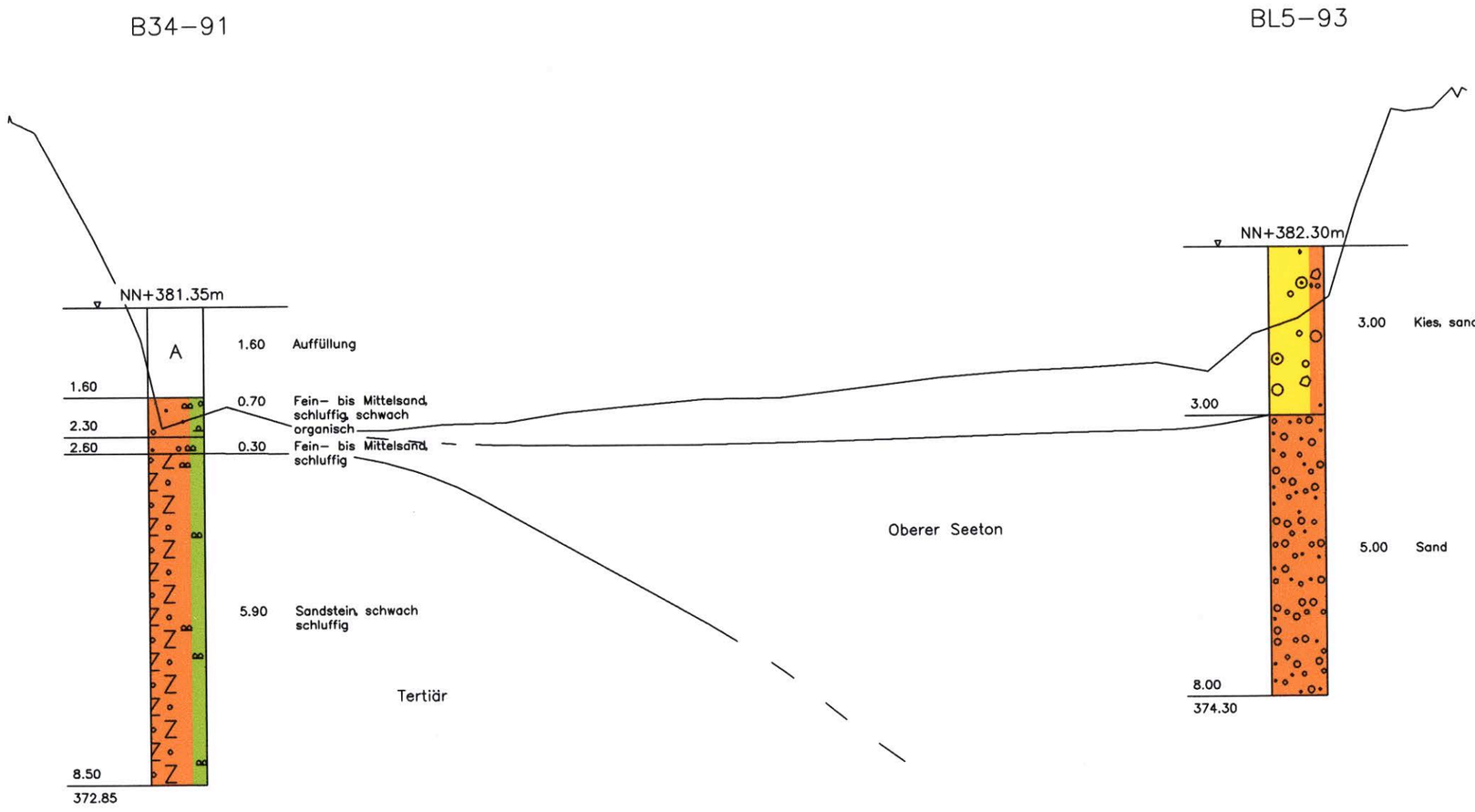
Flußkilometer 39,200



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

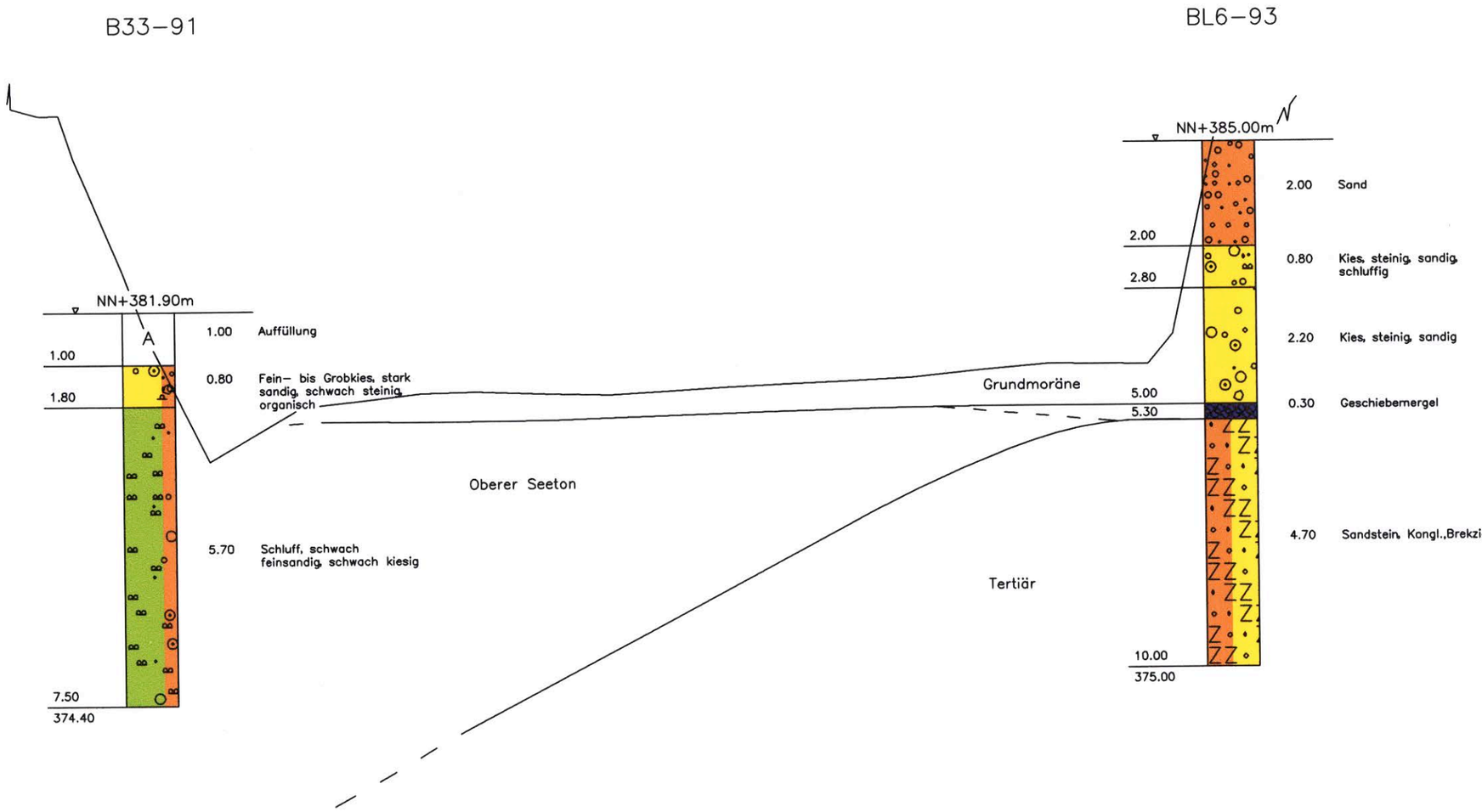
Flußkilometer 40,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

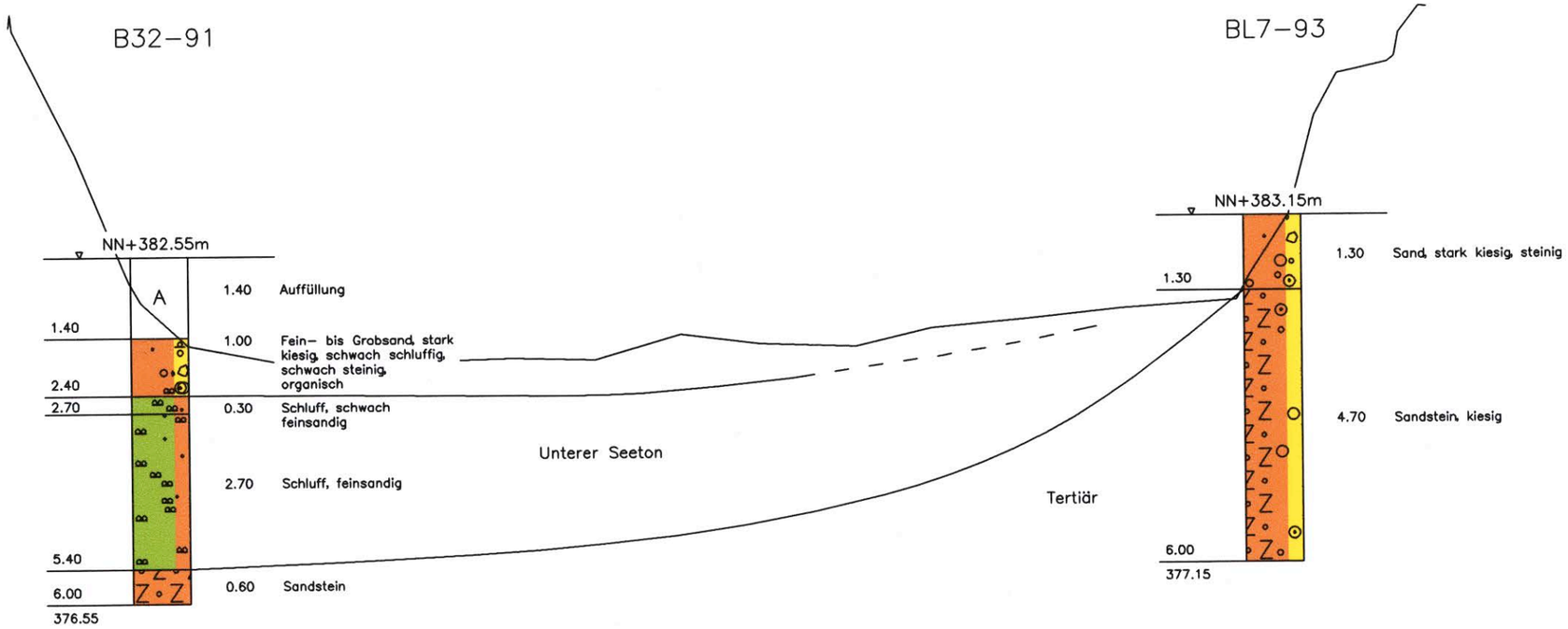
Flußkilometer 41,400



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

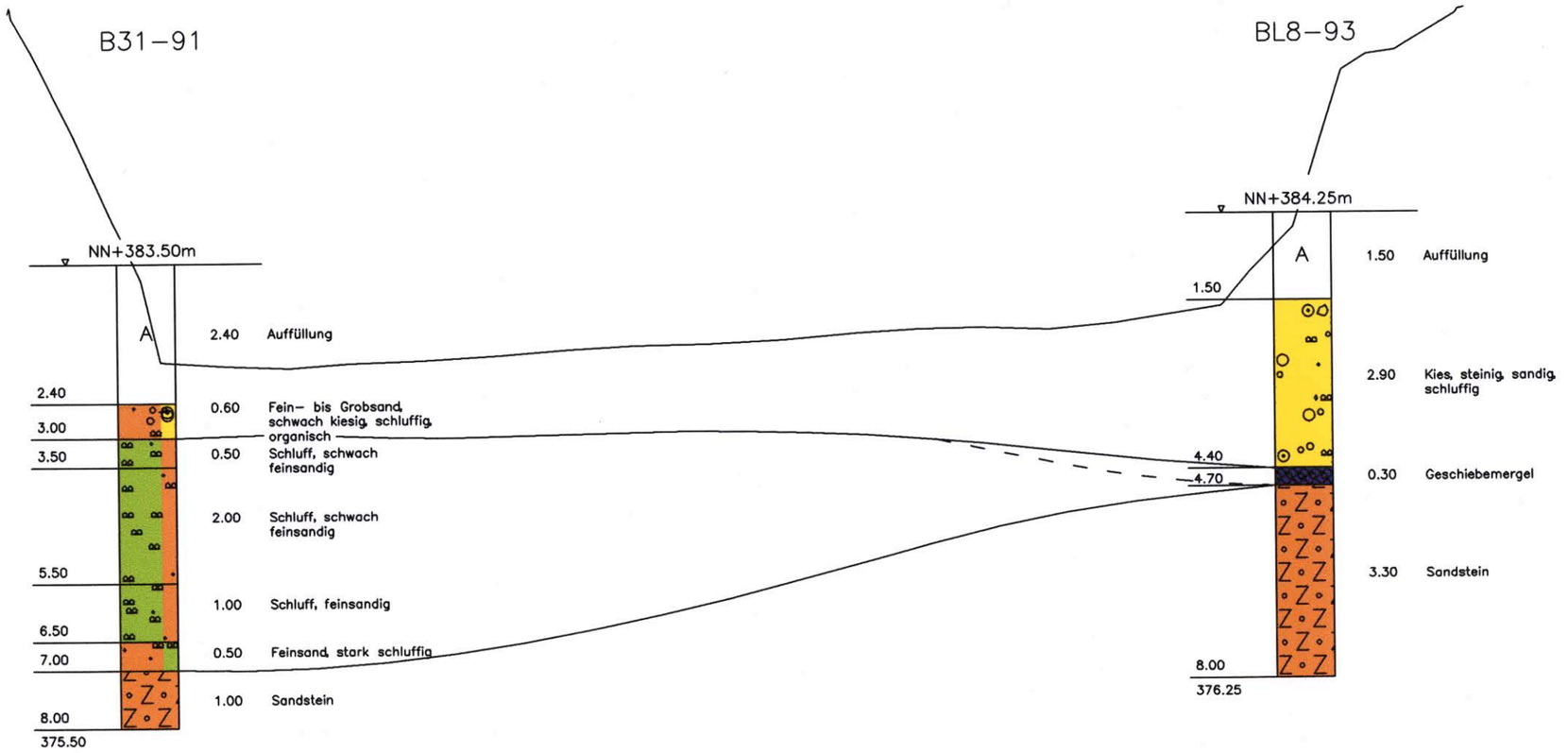
Flußkilometer 42,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

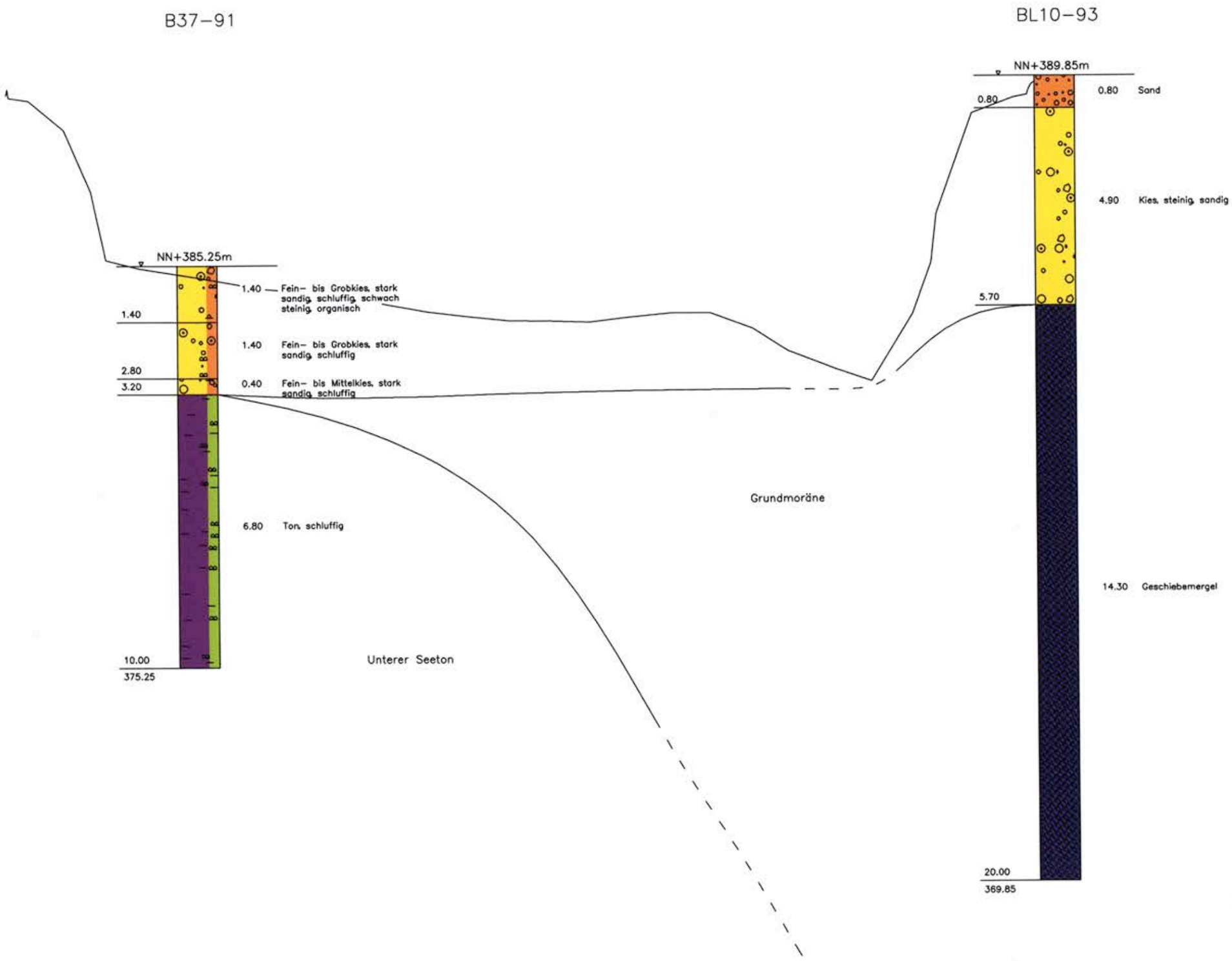
Flußkilometer 43,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

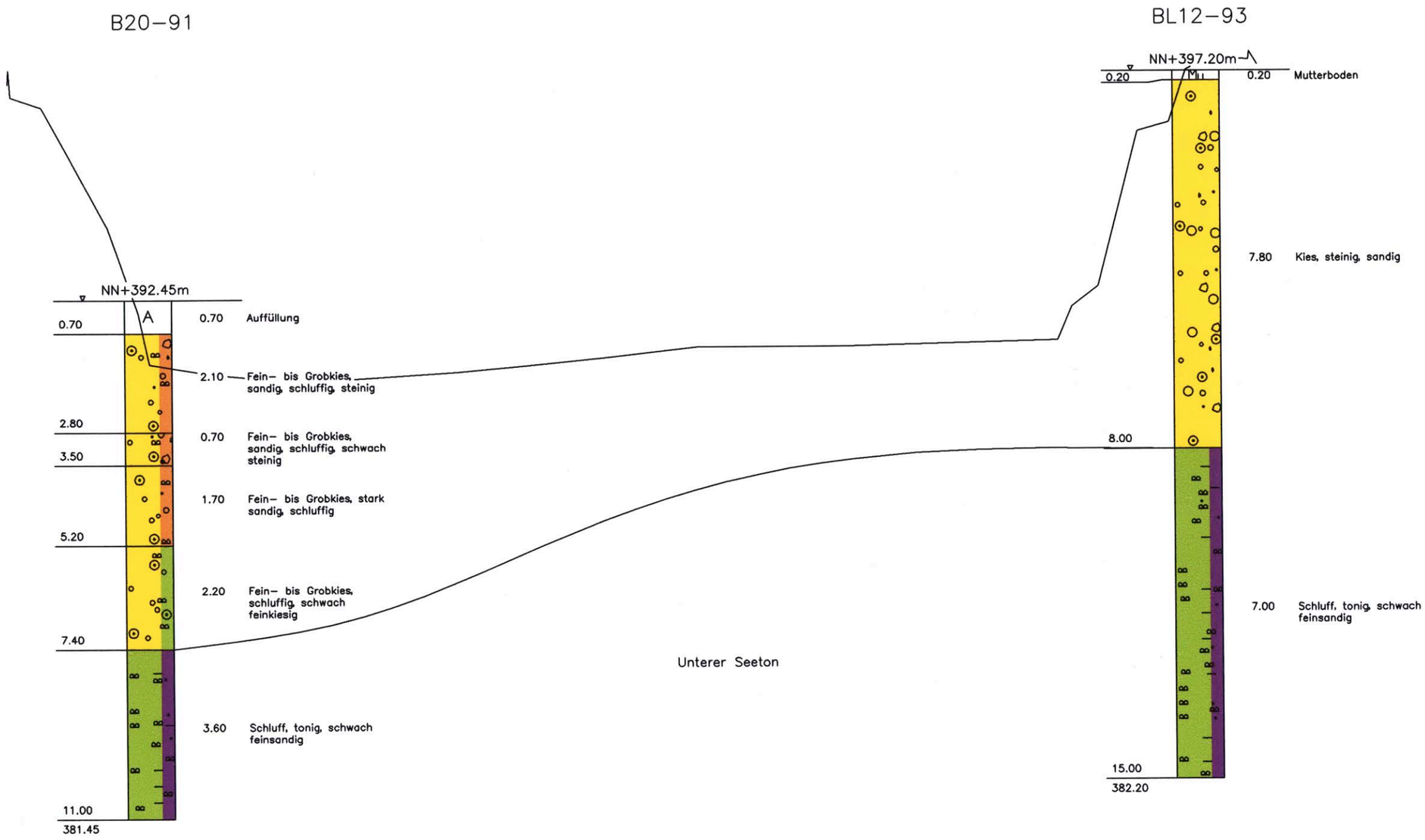
Flußkilometer 44,800



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

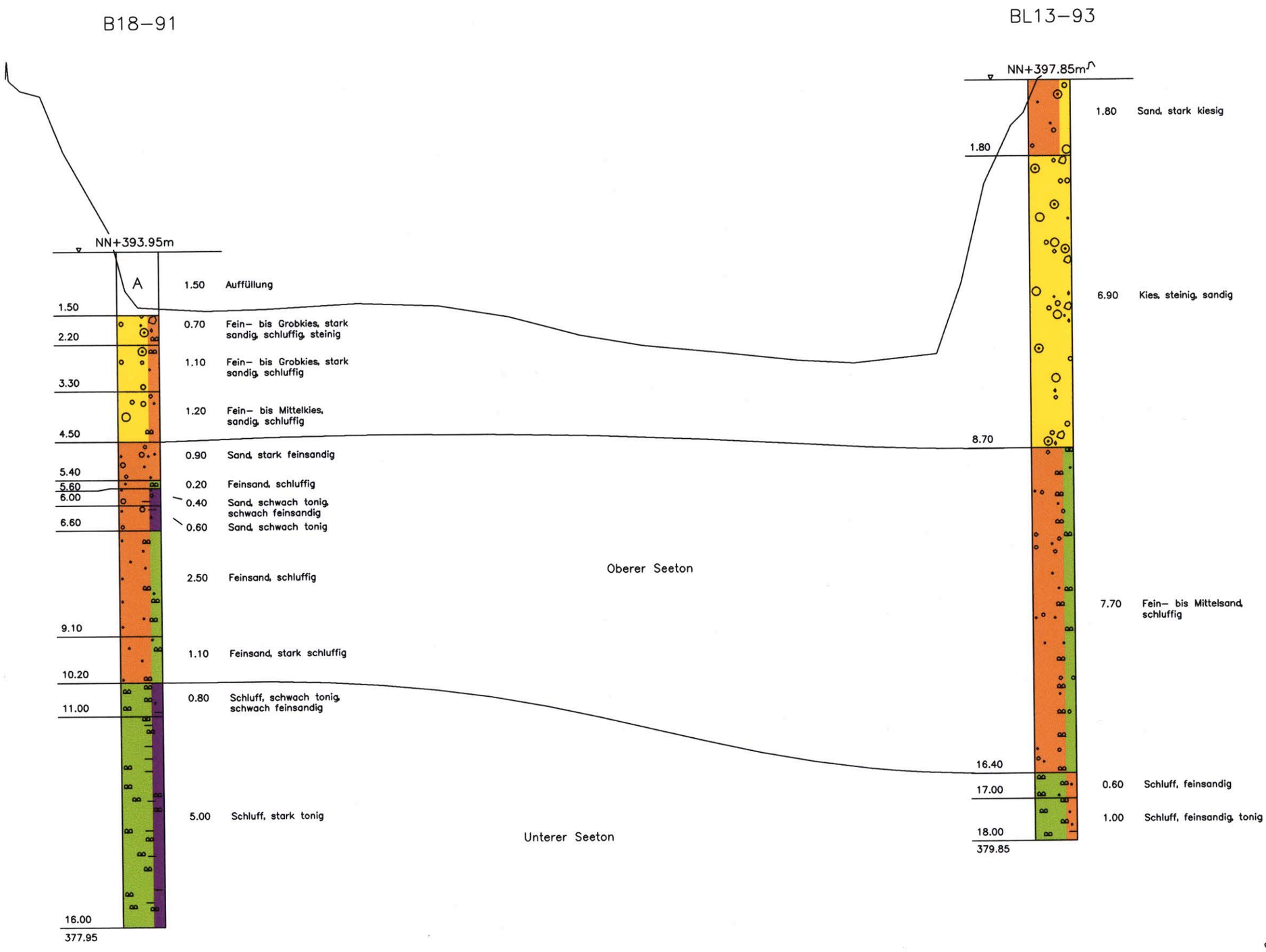
Flußkilometer 50,800



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

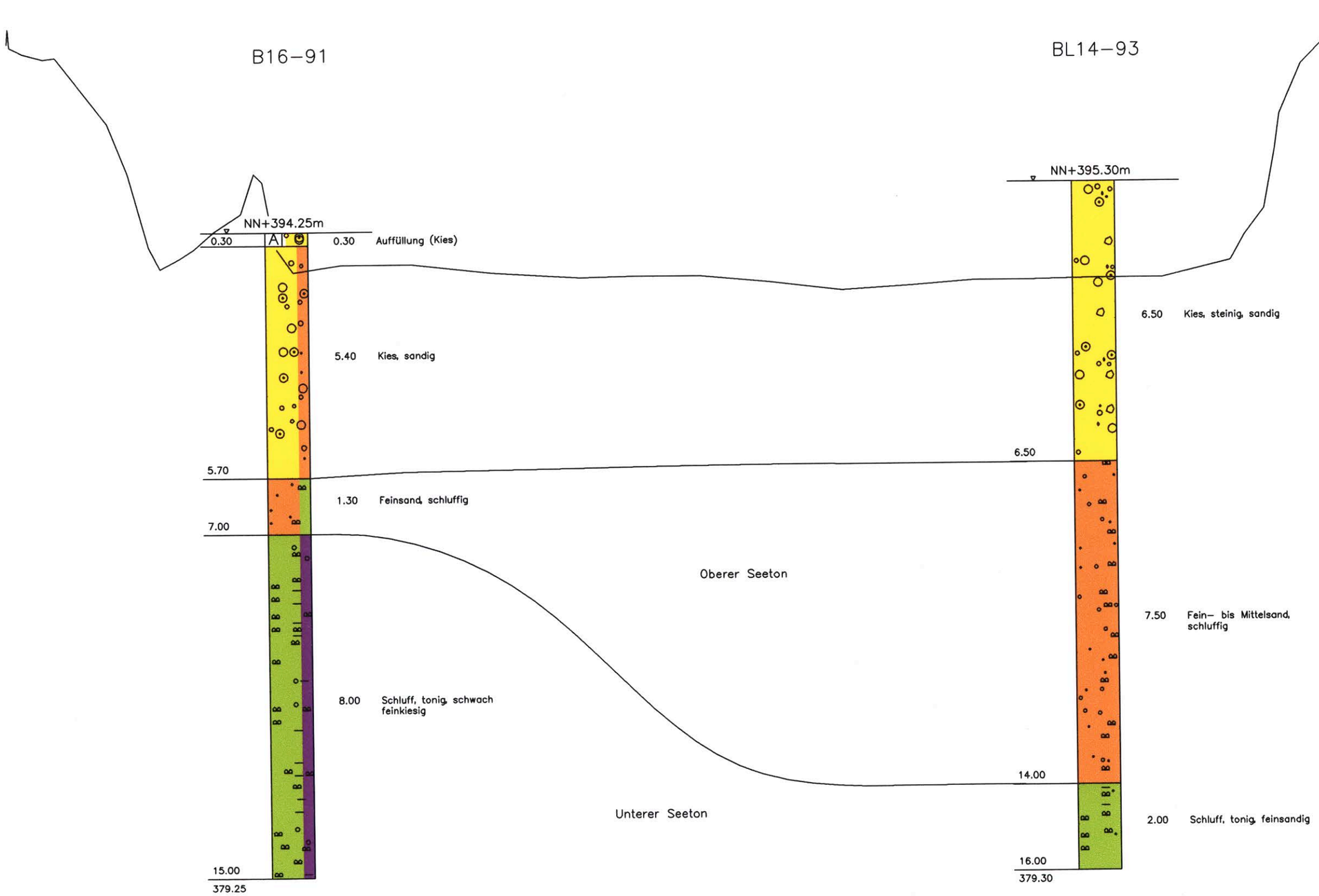
Flußkilometer 51,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

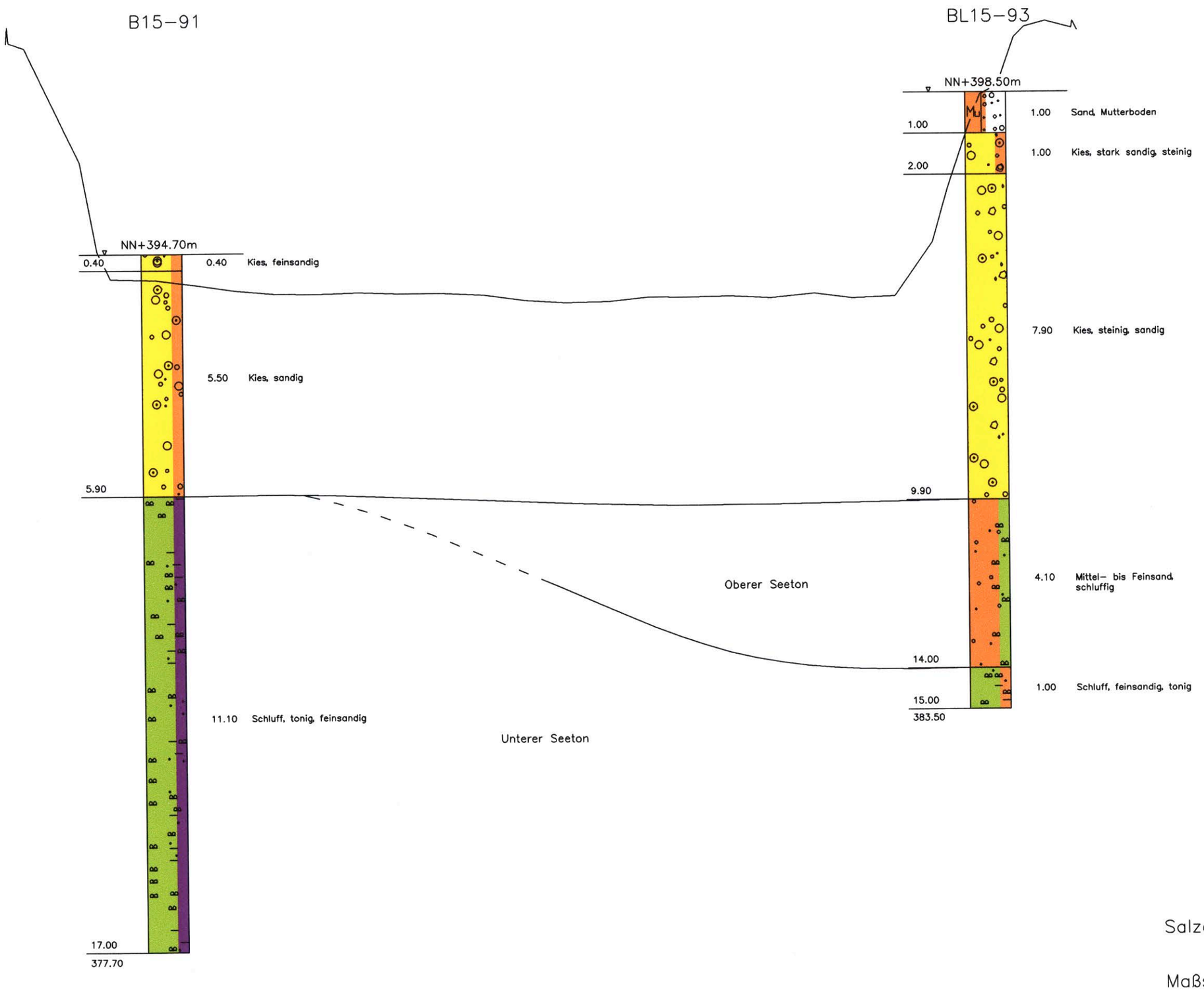
Flußkilometer 52,400



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

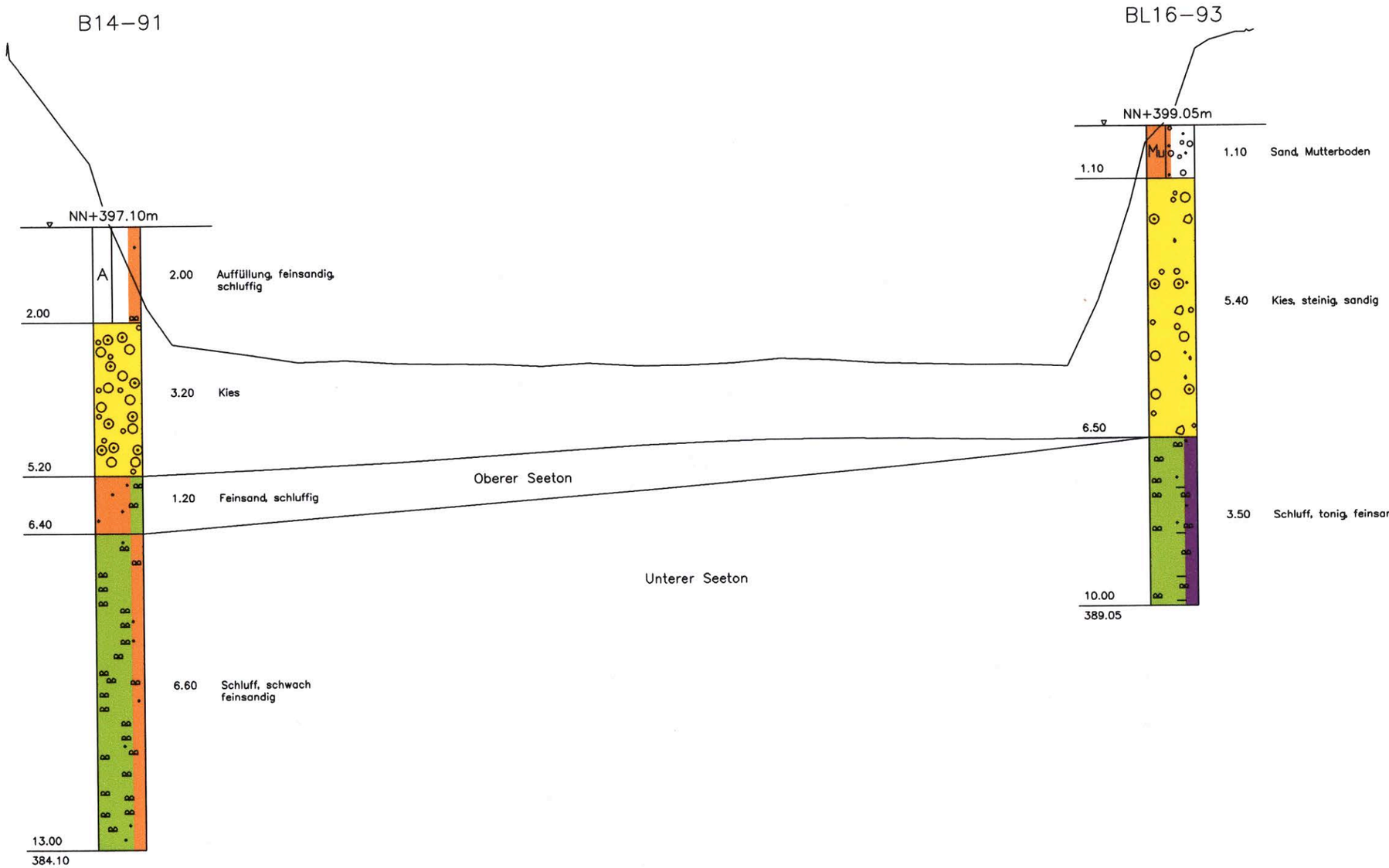
Flußkilometer 53,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

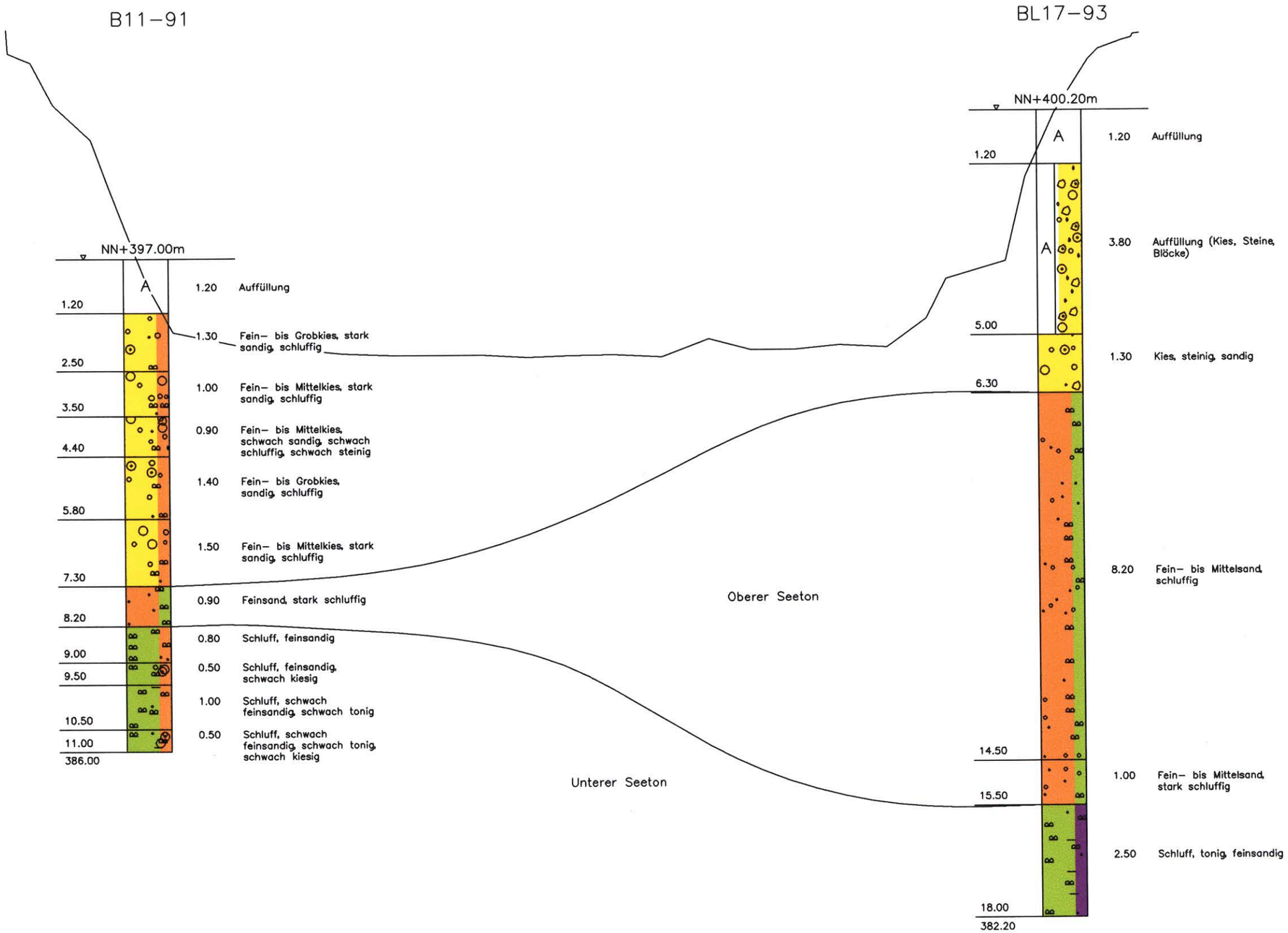
Flußkilometer 53,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

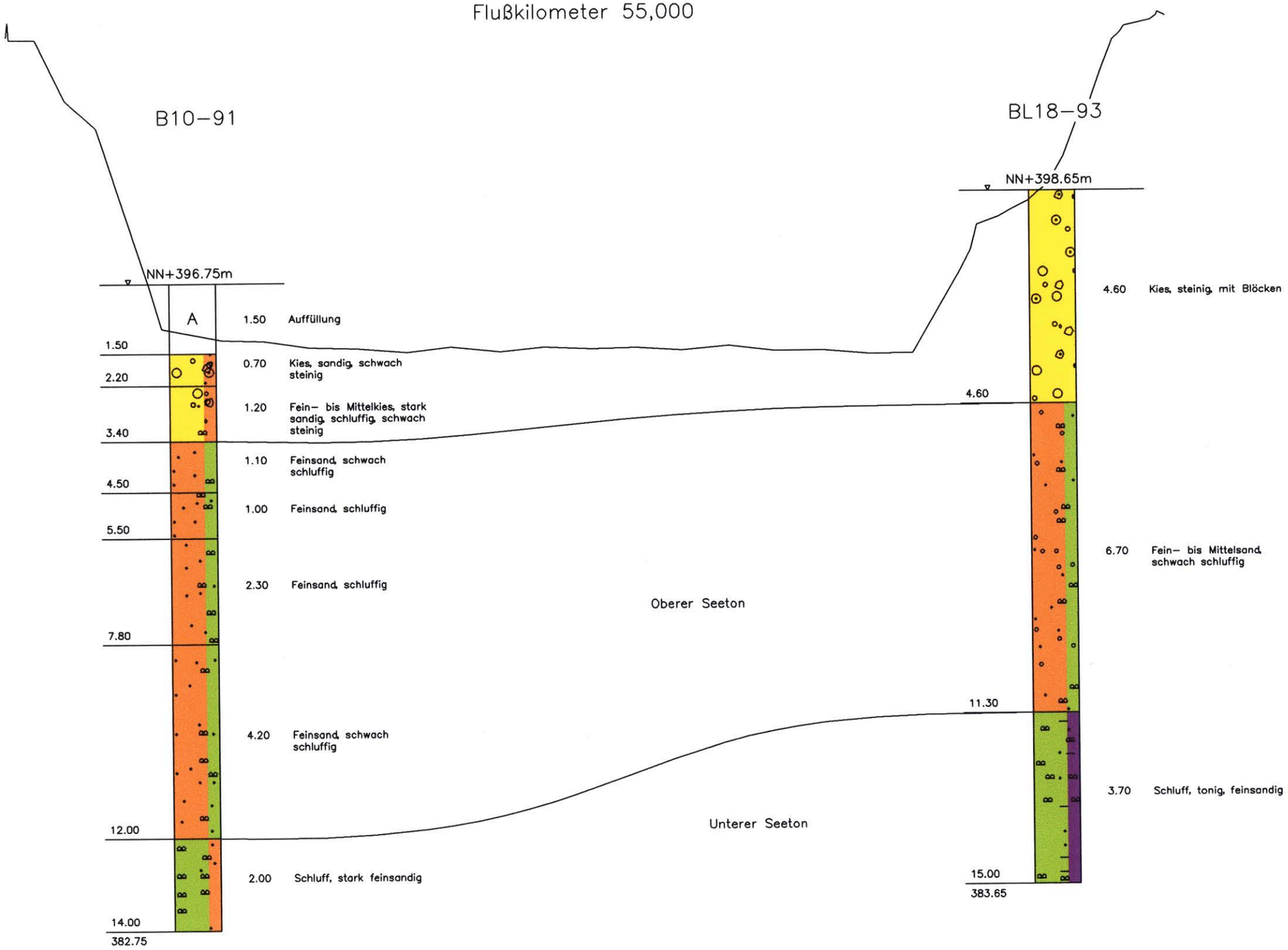
Flußkilometer 54,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

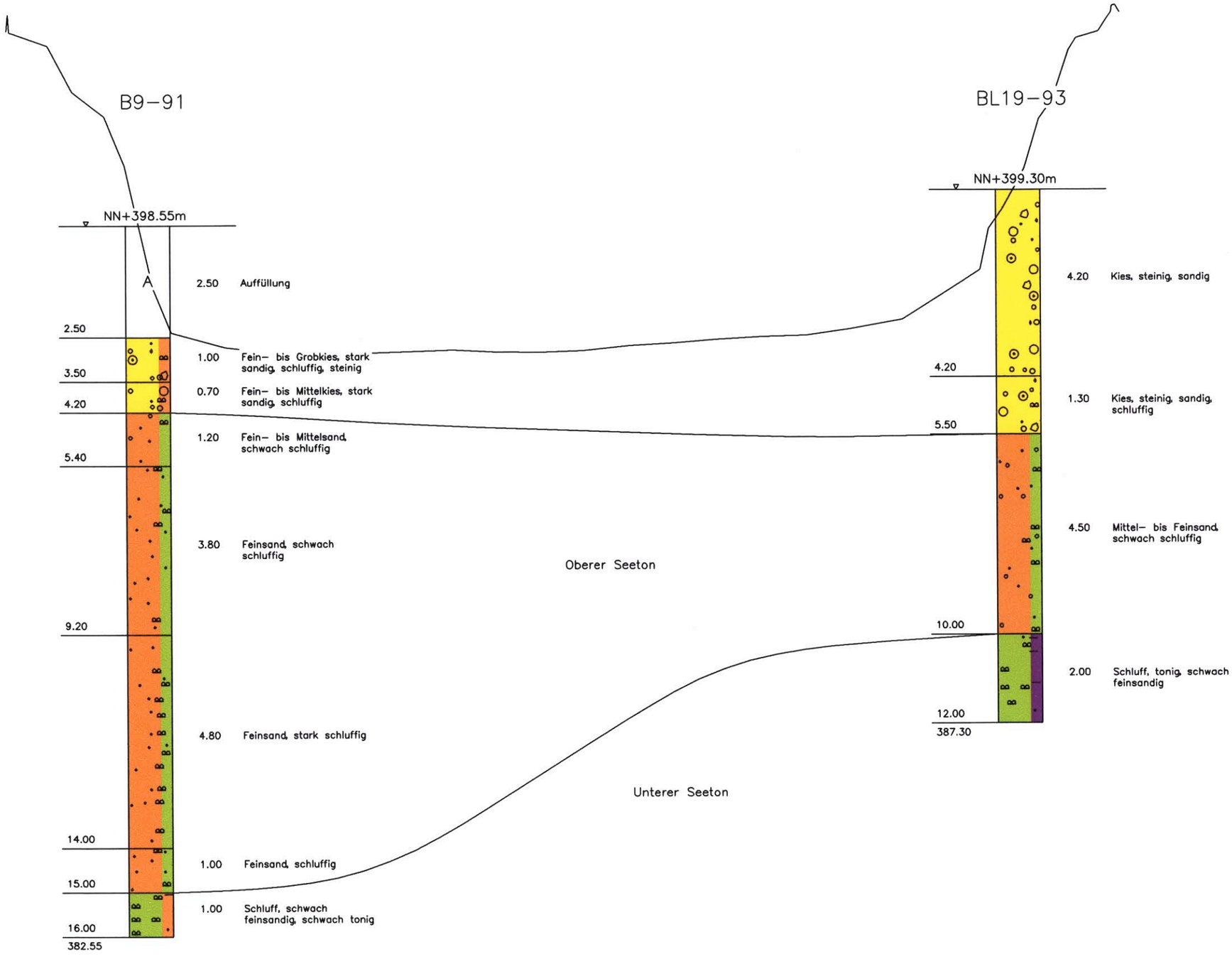
Flußkilometer 55,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

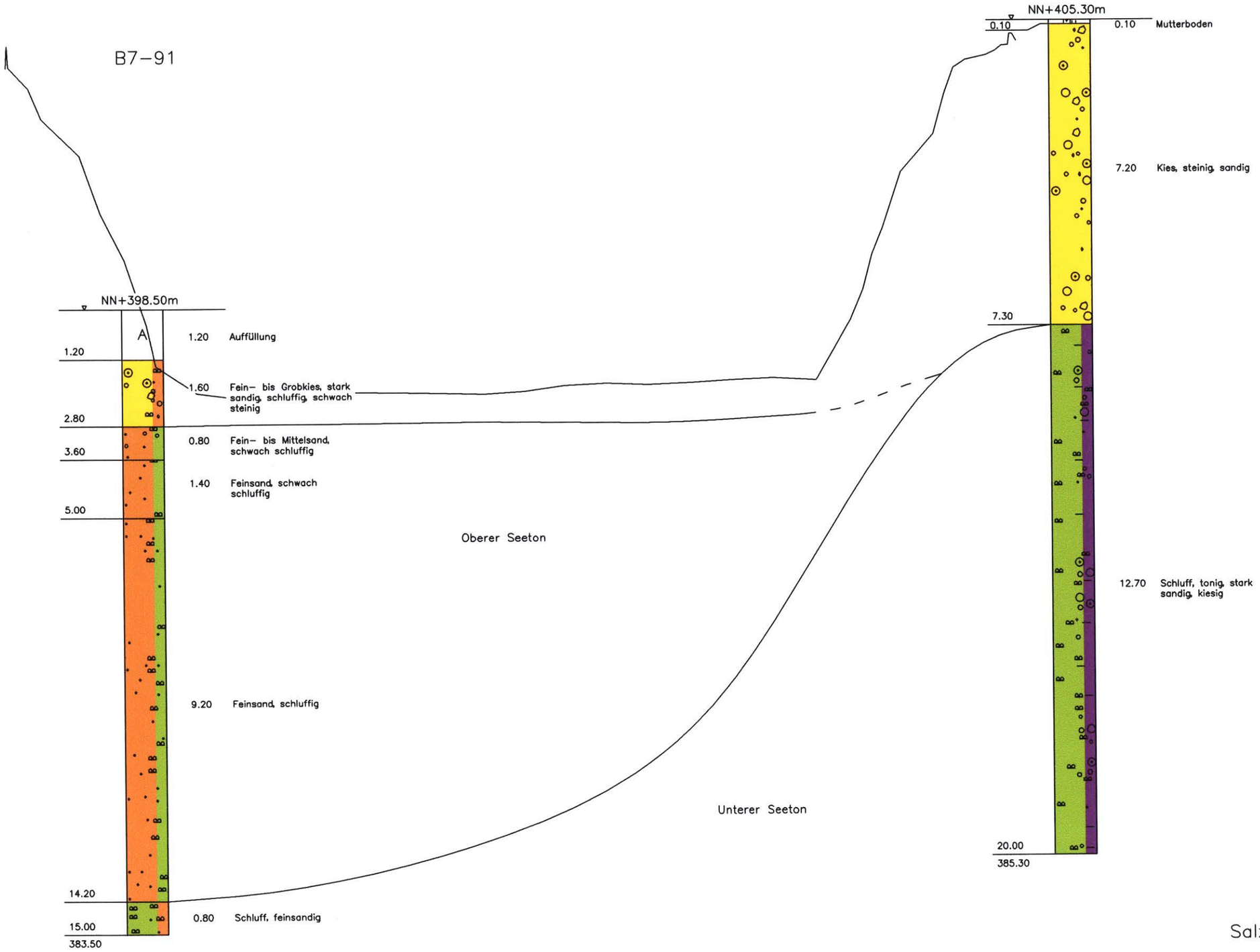
Flußkilometer 55,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 56,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 57,000

B6–91

BL21–93

NN+398.65m

NN+400.45m

A

2.00 Auffüllung

1.80 Fein– bis Grobkies, stark sandig, schluffig, schwach steinig

0.40 Feinsand, schluffig, schwach kiesig

2.30 Feinsand, schluffig

2.50 Feinsand, stark schluffig

1.80 Schluff, stark feinsandig

4.20 Schluff, feinsandig

4.30 Kies, steinig, sandig

13.40 Fein– bis Mittelsand, schwach schluffig

2.30 Schluff, tonig, feinsandig

2.00

3.80

4.20

6.50

9.00

10.80

15.00

383.65

4.30

17.70

20.00

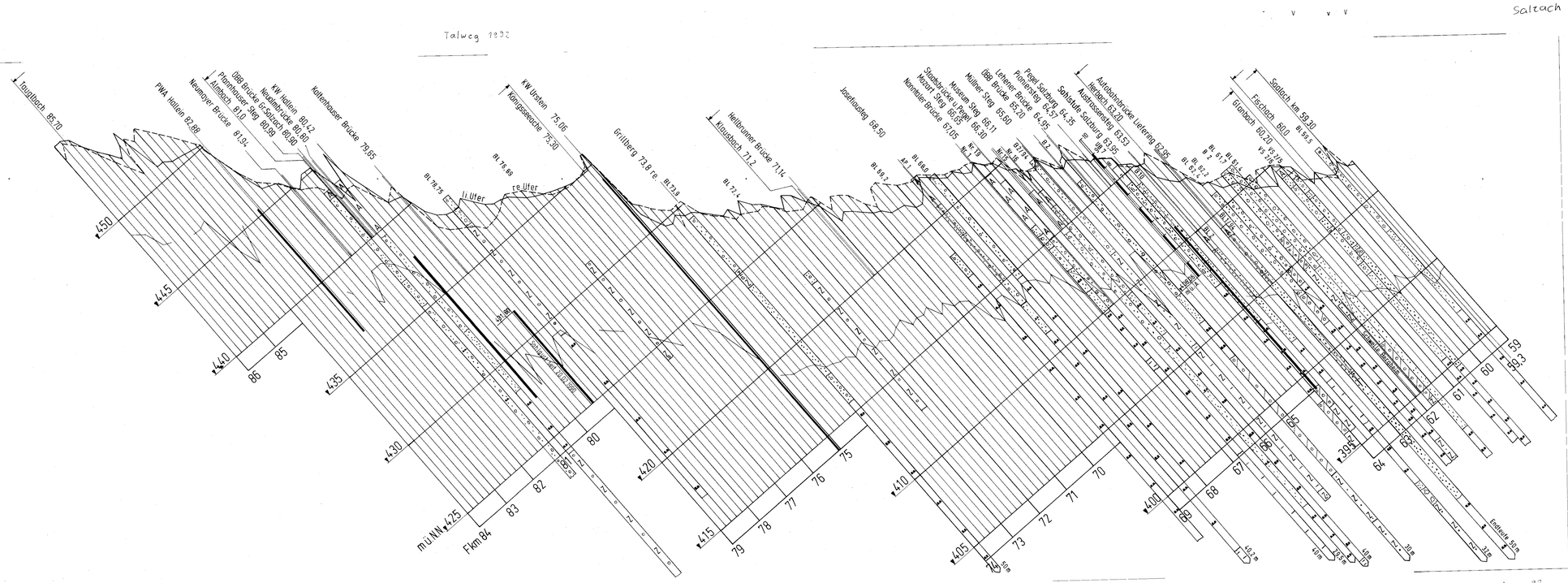
380.45

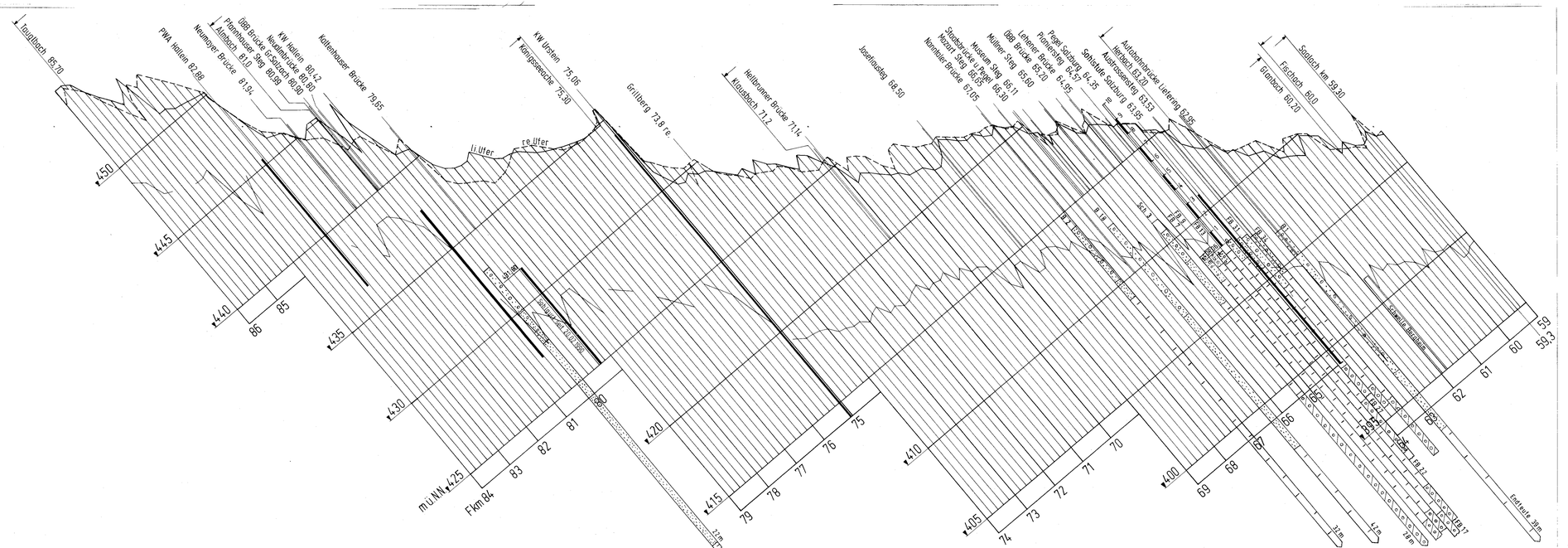
Oberer Seeton

Unterer Seeton

Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100


Talweg 1992
Salzach
Talweg 92
Tiroglbach 85,70
PWA Itzlsen 82,88
Neuhoyer Brücke 81,94
Kalmbach 81,0
Pionierhausen Steg 80,98
EBB Brücke Pionierhausen 80,90
Neumühlbrücke 80,60
KW Itzlsen 80,42
Kohlenhauser Brücke 79,85
Bl. 78,75
li. Ufer
re. Ufer
Bl. 78,69
KW Ursteln 75,06
Königsseeache 75,30
Grillberg 73,8 re.
Bl. 73,8
Heilbrunner Brücke 71,14
Klausbach 71,2
Bl. 71,4
Josefausteg 68,50
Bl. 68,2
Bl. 68,0
Autobahnbrücke Lehrenau 62,36
Hierach 63,20
Ausflugsgaststätte 63,53
Schlachte-Salzburg 63,95
Bl. 64,35
Pegel Salzburg 64,35
Pionierssteg 64,55
Lehener Brücke 65,20
EBB Brücke 65,50
Müllner Steg 65,61
Müllner Pegel 66,30
Mozart Steg 66,65
Stockhofbrücke 66,95
Nonntaler Brücke 67,05
Bl. 67,3
Bl. 67,4
Bl. 67,5
Bl. 67,6
Bl. 67,7
Bl. 67,8
Bl. 67,9
Bl. 68,0
Bl. 68,1
Bl. 68,2
Bl. 68,3
Bl. 68,4
Bl. 68,5
Bl. 68,6
Bl. 68,7
Bl. 68,8
Bl. 68,9
Bl. 69,0
Bl. 69,1
Bl. 69,2
Bl. 69,3
Bl. 69,4
Bl. 69,5
Bl. 69,6
Bl. 69,7
Bl. 69,8
Bl. 69,9
Bl. 70,0
Bl. 70,1
Bl. 70,2
Bl.



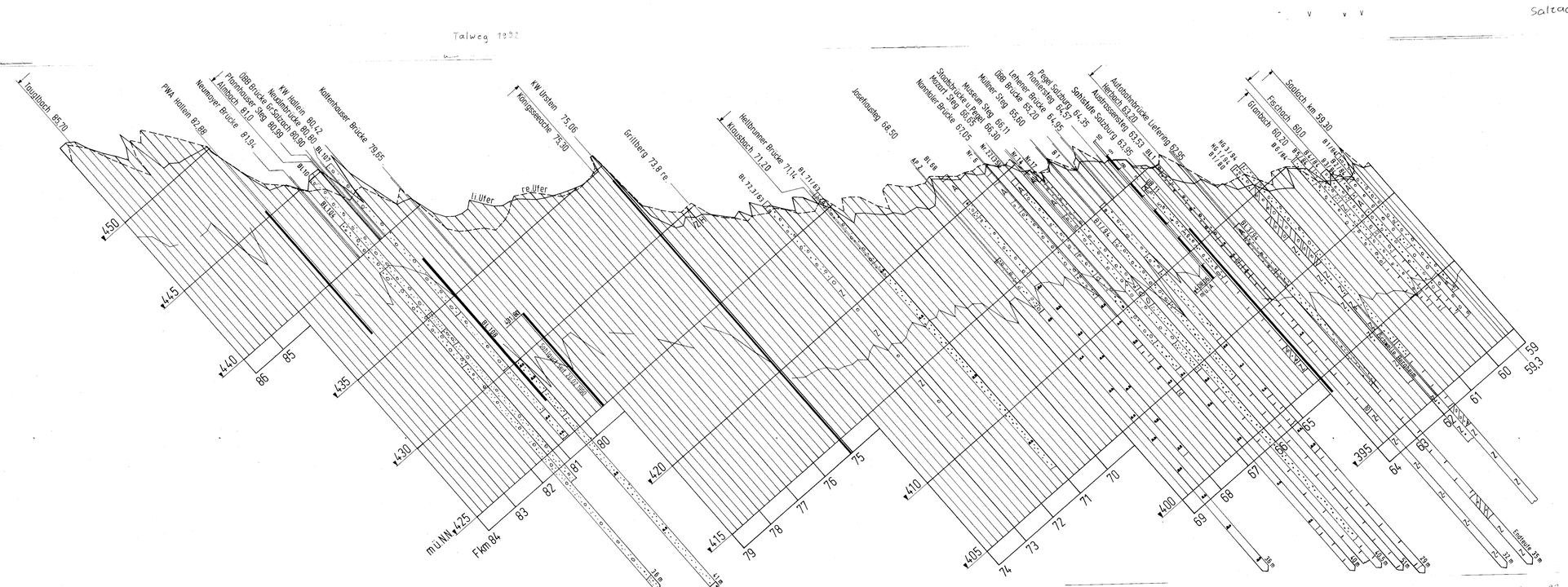
Anlage 5.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Flußlängsschnitt mit Talweg und Flußbohrungen
Fkm 86,0 - 59,0

M 1 : 50 000 / 100



Anlage 5.3

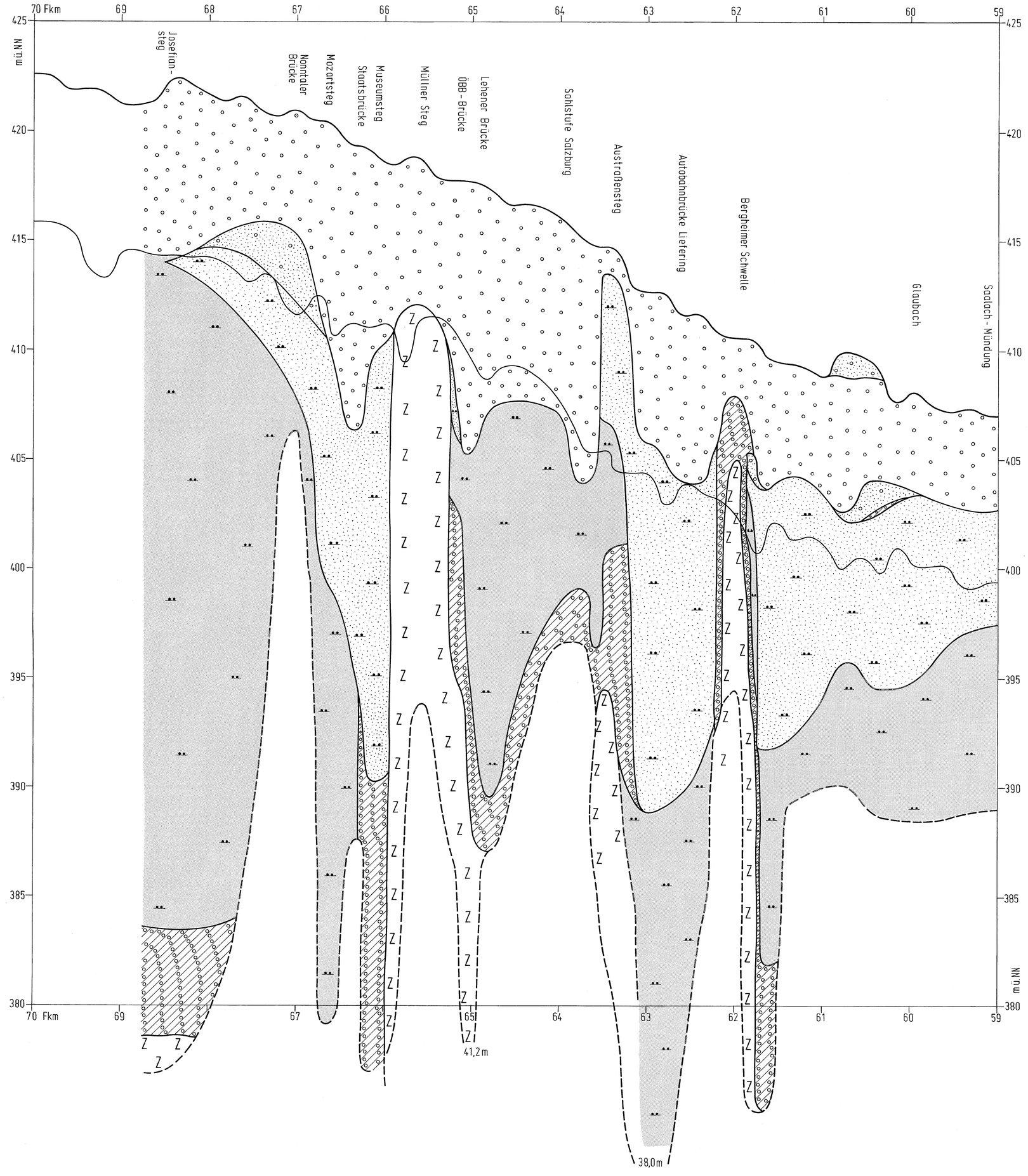
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Flußlängsschnitt mit Talweg und Uferbohrungen rechts
Fkm 86,0 - 59,0

M 1 : 50 000 / 100

5.3



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies
- Sand, kiesig
- schluffig - sandig
- schluffig - tonig

} postglazial

} Seeton (spätglazial)

- Moräne, würmzeitlich
- Z — Fels, allgemein
- Verbindungslinie d. Bohrendpunkte
- Talweg 1992

Anlage 6.1

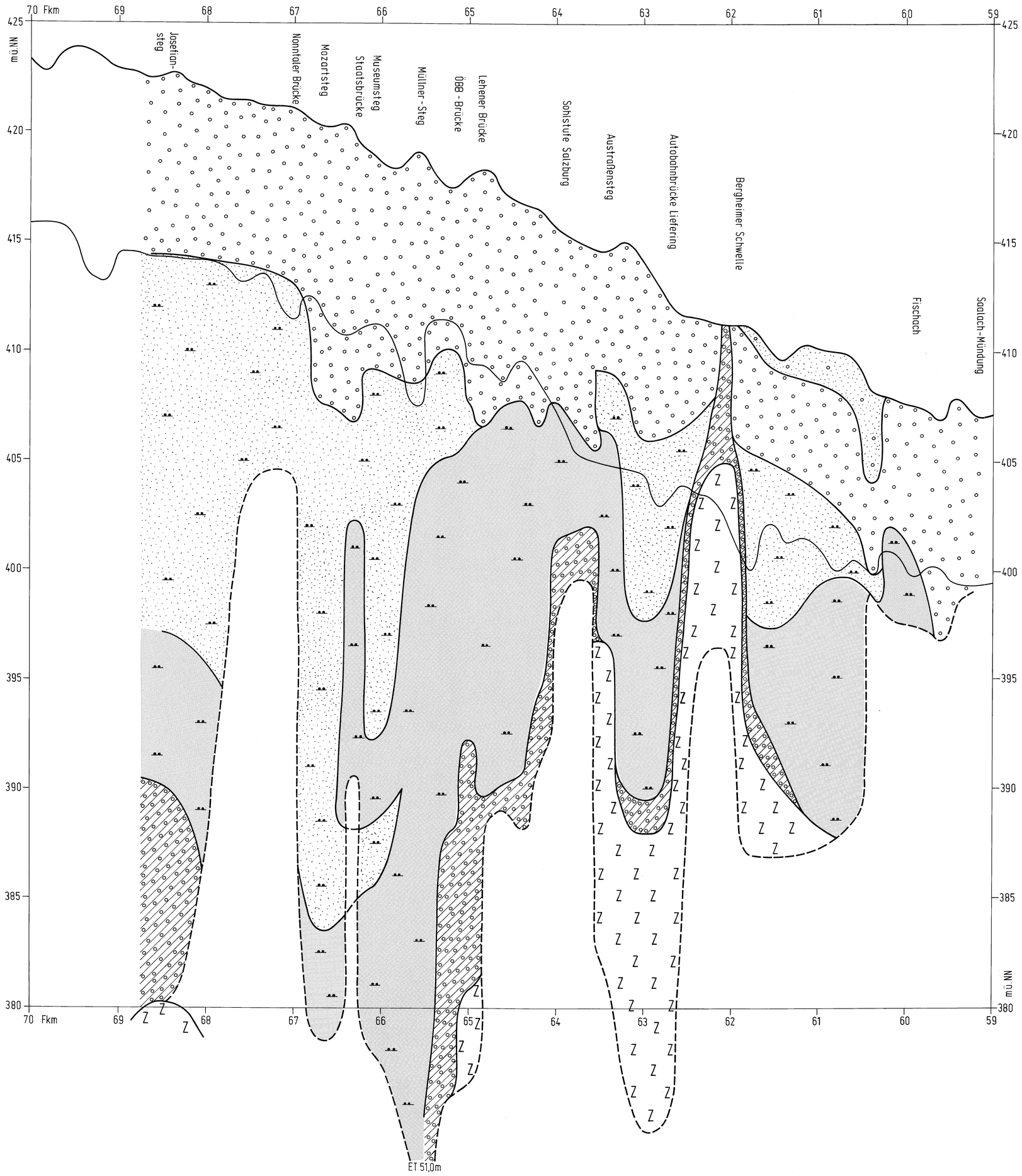
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt im Stadtbereich Salzburg, linkes Ufer
Fkm 70,0 - 59,0

M 1 : 25 000 / 100

1:25000/100



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

	Kies	postglazial
	Sand, kiesig	
	schluffig - sandig	Seeton (spätglazial)
	schluffig - tonig	
	Moräne, würmzeitlich	
Z	Fels, allgemein	
– – –	Verbindungslinie d. Bohrendpunkte	
———	Talweg 1992	

Anlage 6.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt im
Stadtbereich Salzburg, rechtes Ufer
Fkm 70,0 - 59,0

M 1 : 25 000 / 100

Flußquerschnitte

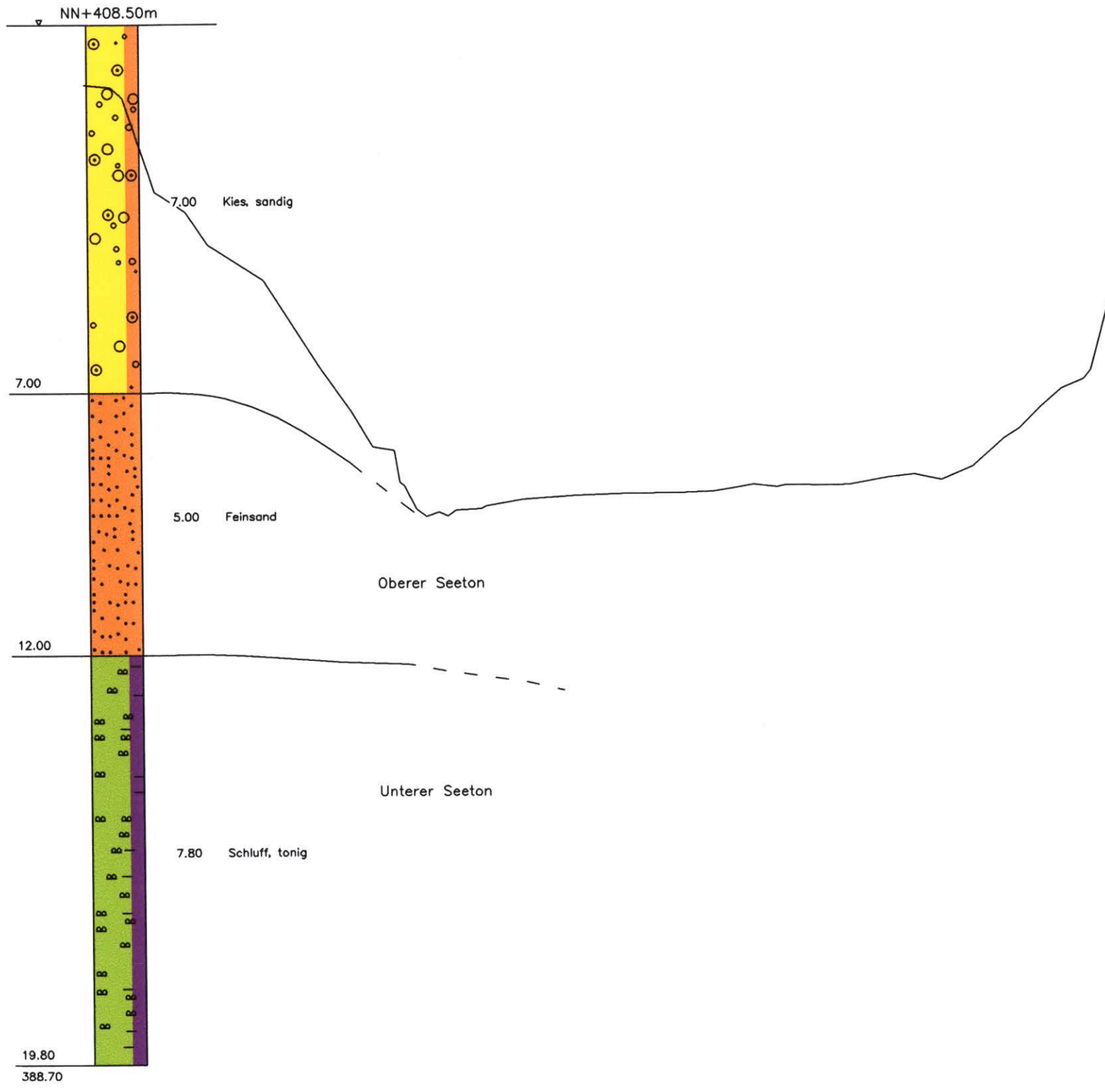
mit geologischer Situation (16 Querprofile)

Fkm 59,498 - 68,6

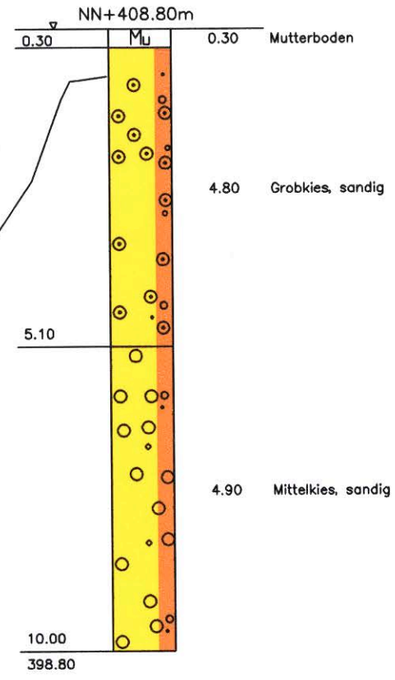
Anlage 7

Flußkilometer 59,498

BL59,5



B1

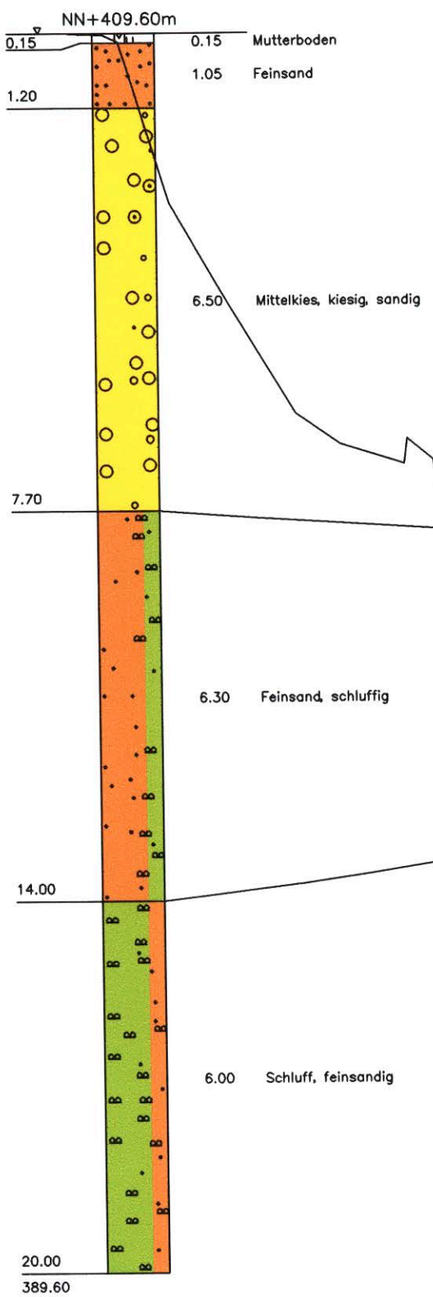


Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 60,600

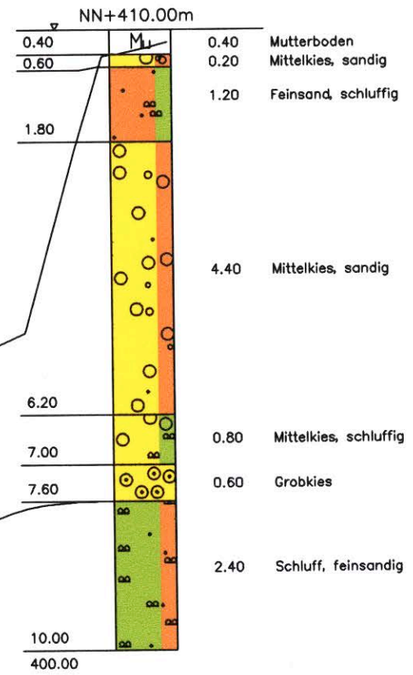
VS–2–6



Oberer Seeton

Unterer Seeton

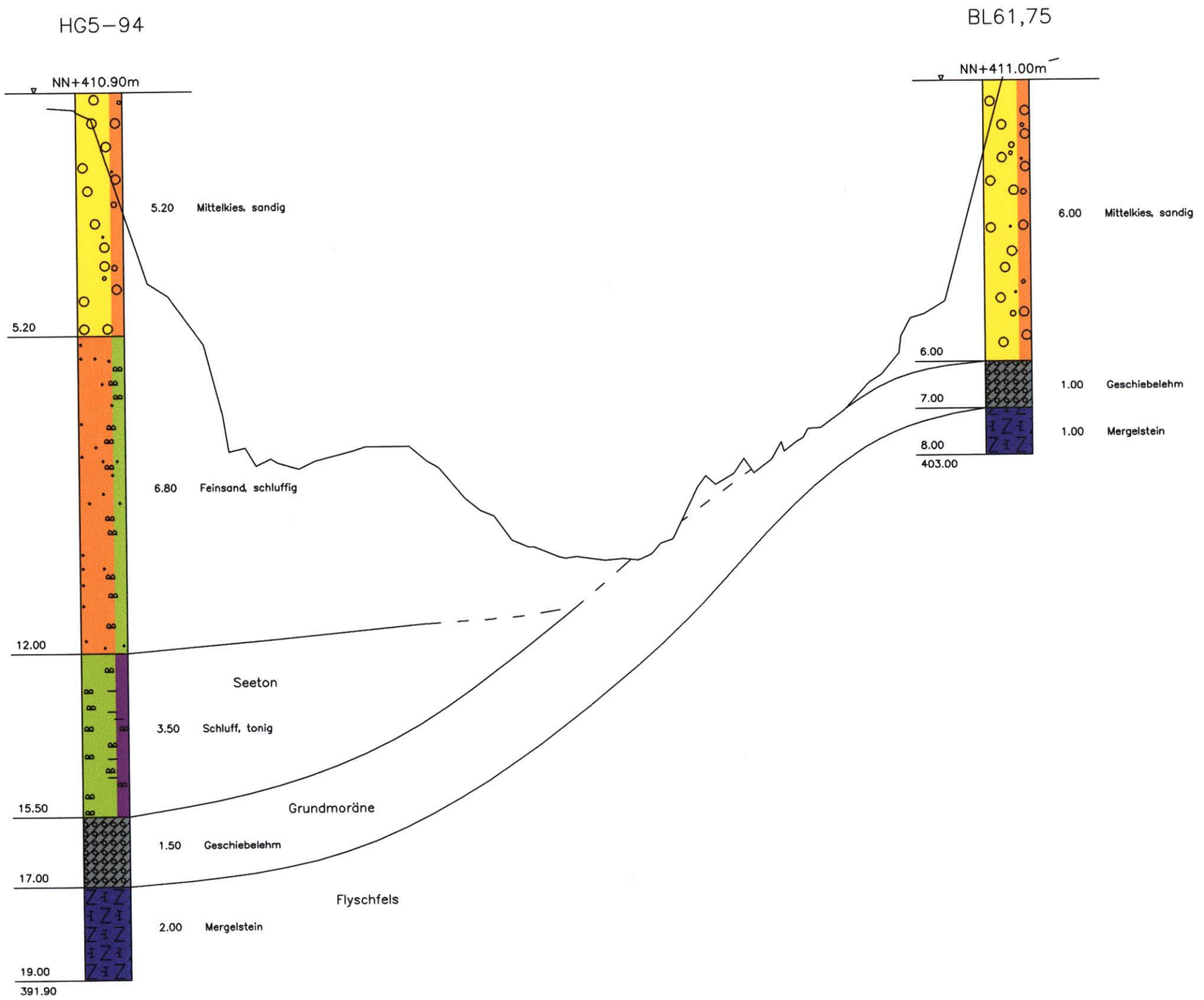
B6



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 61,800

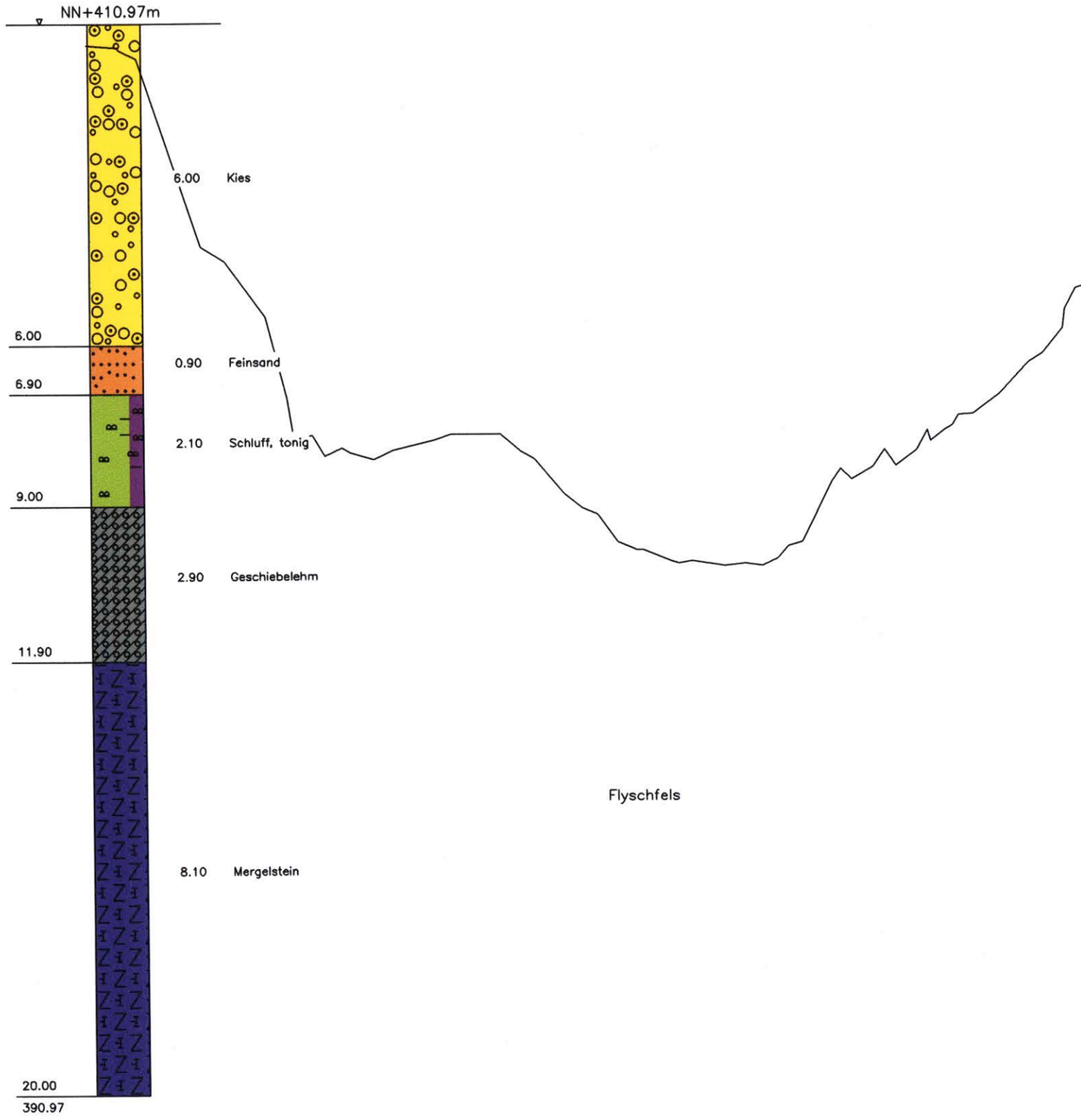


Salzach

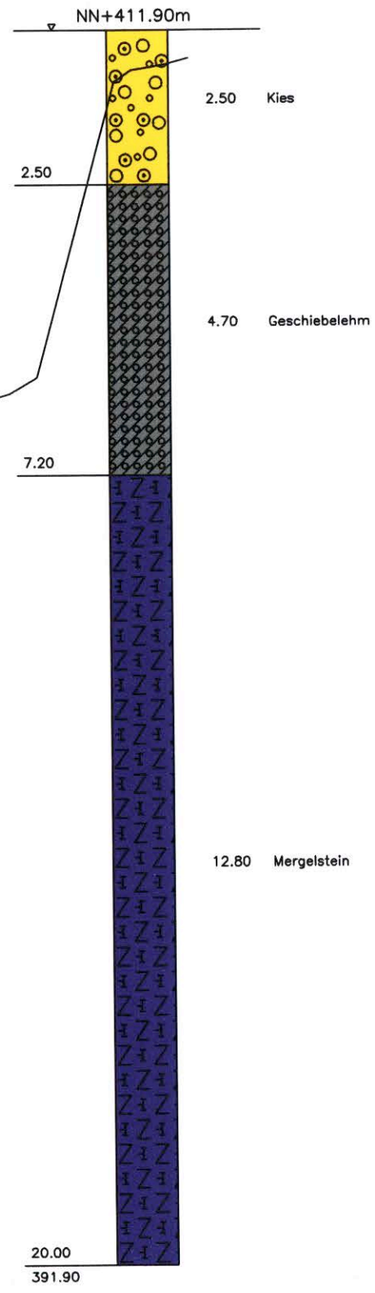
Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 61,850

HG2–94



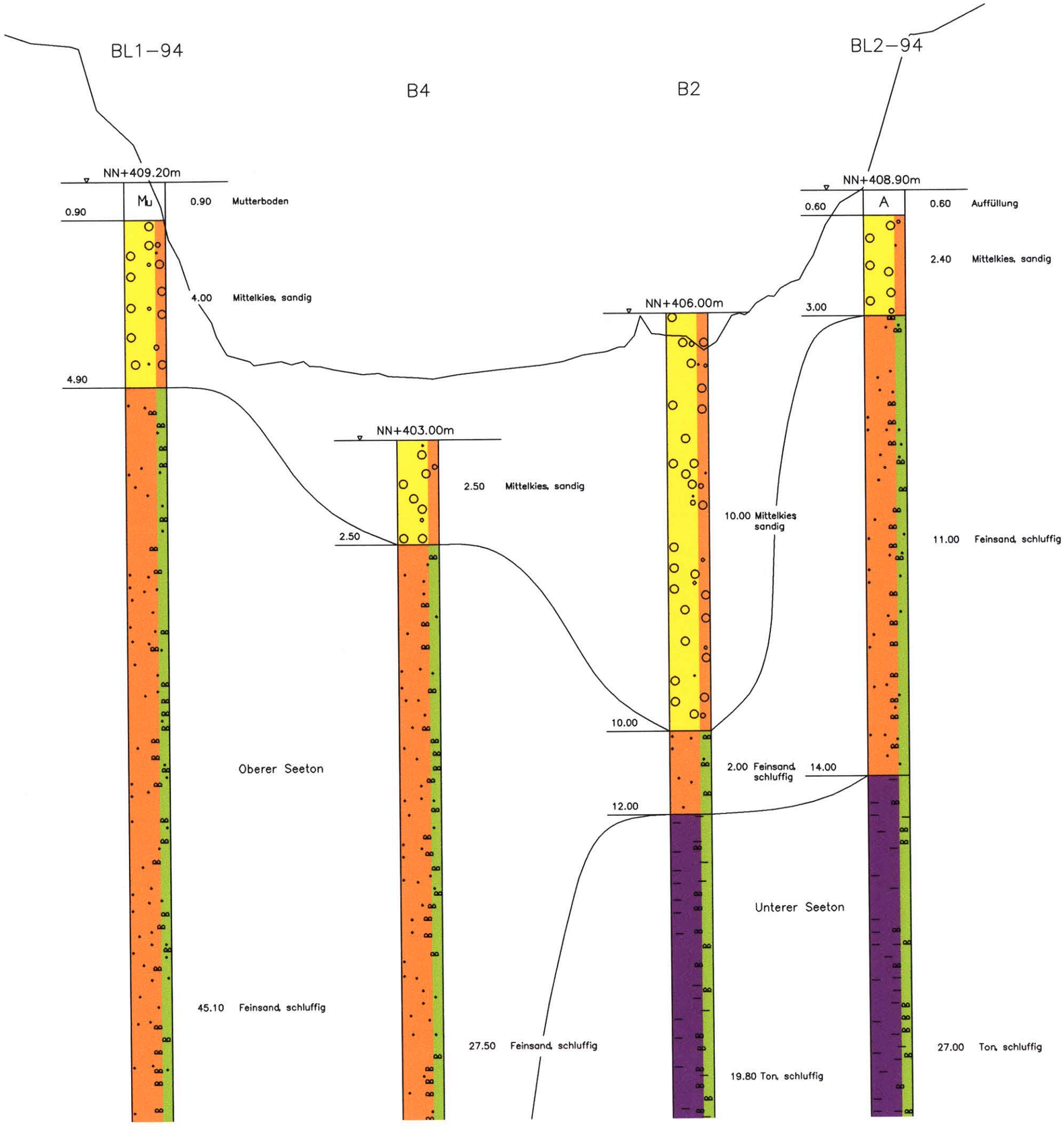
HG1–94



Salzach

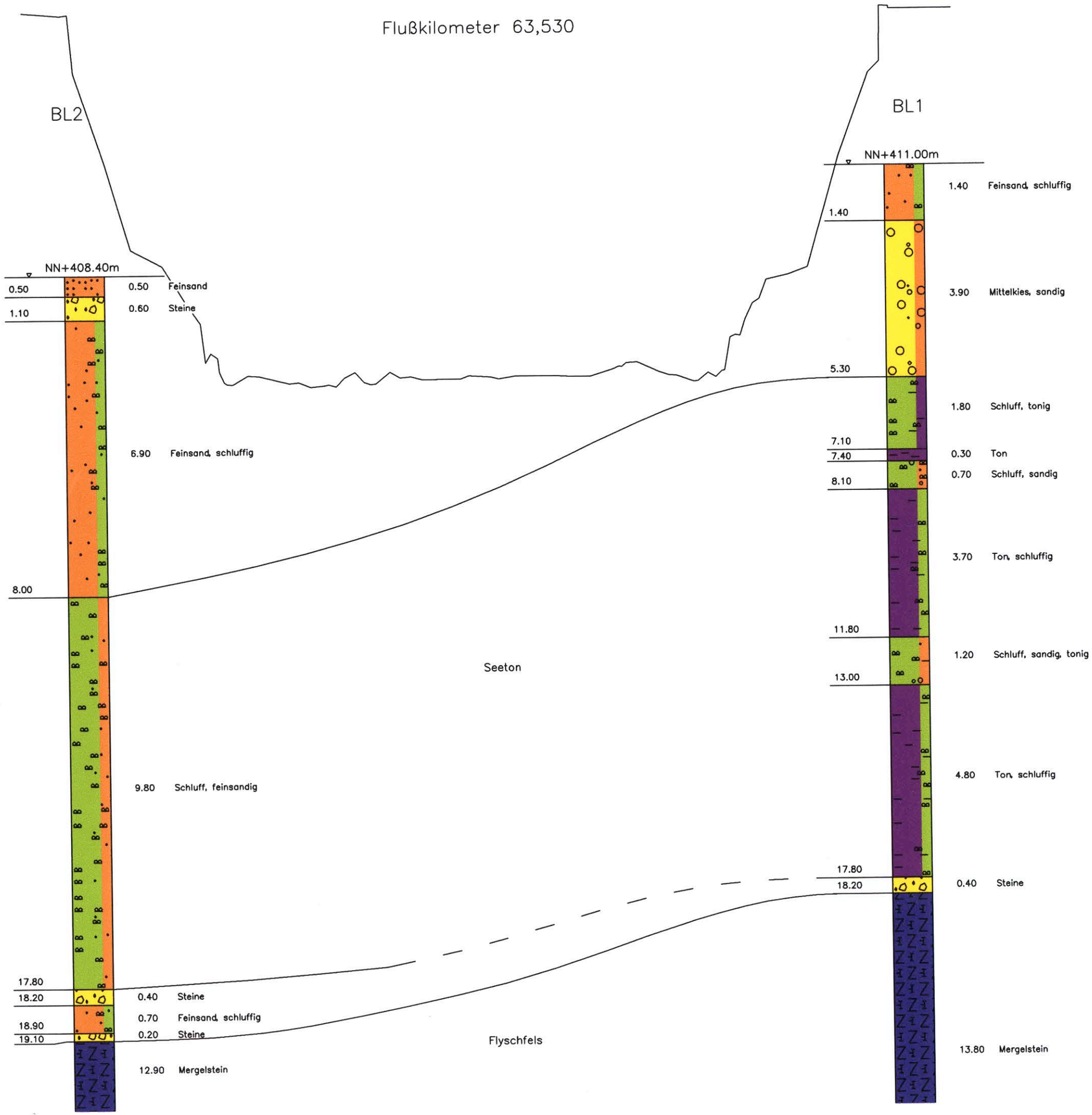
Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 63,000



Salzach

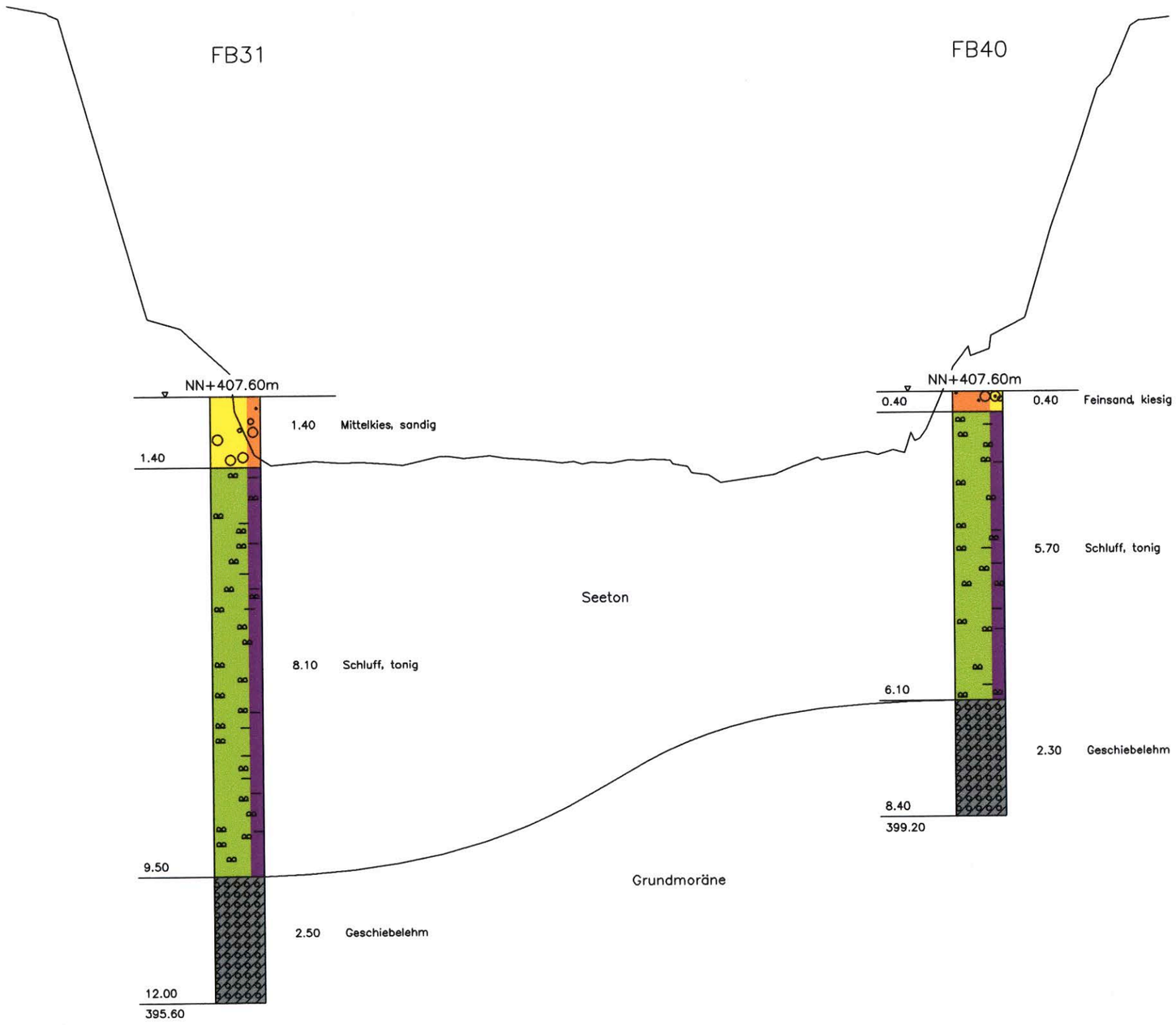
Maßstab 1 : 500 / 1 : 100



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

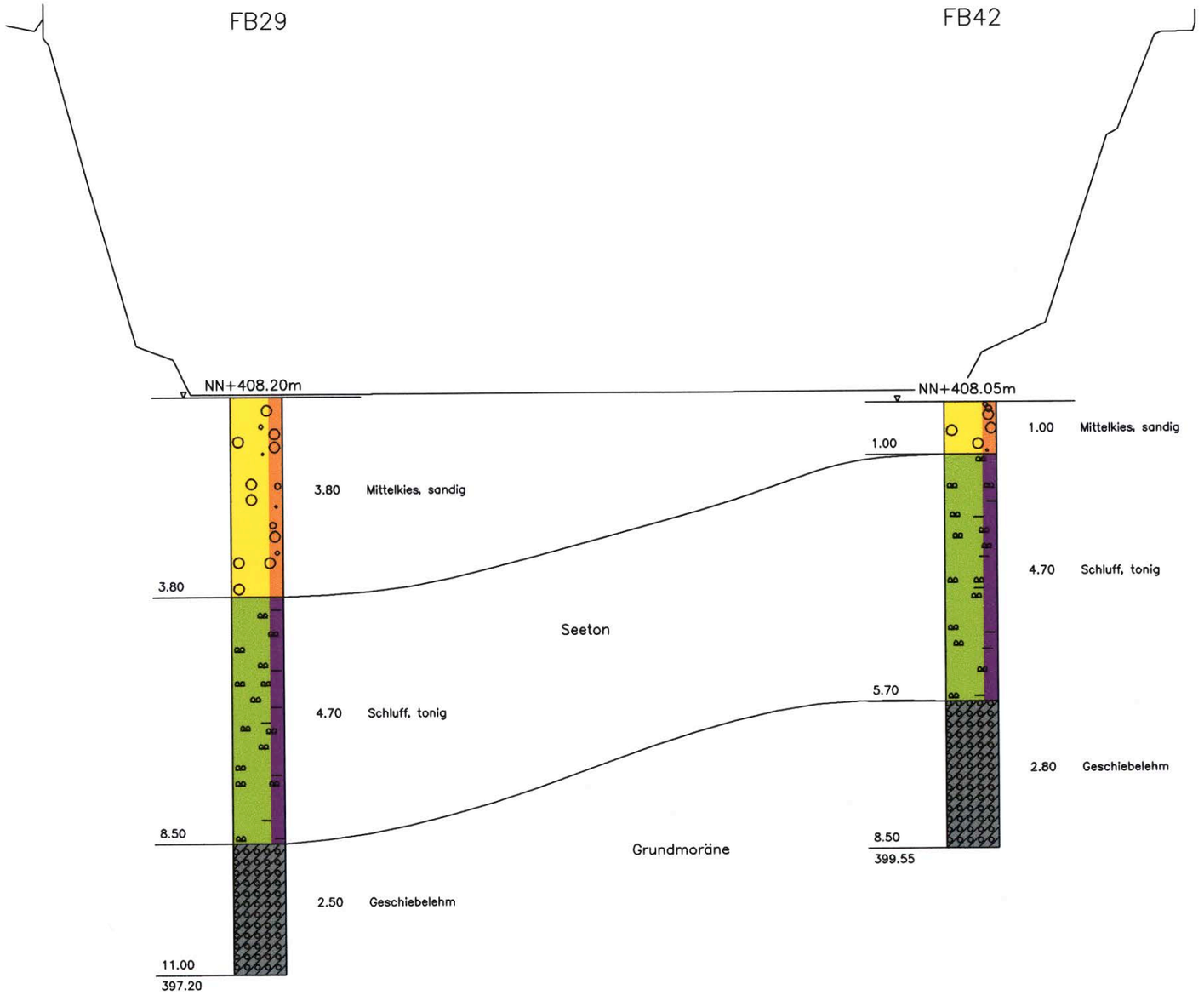
Flußkilometer 63,700



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

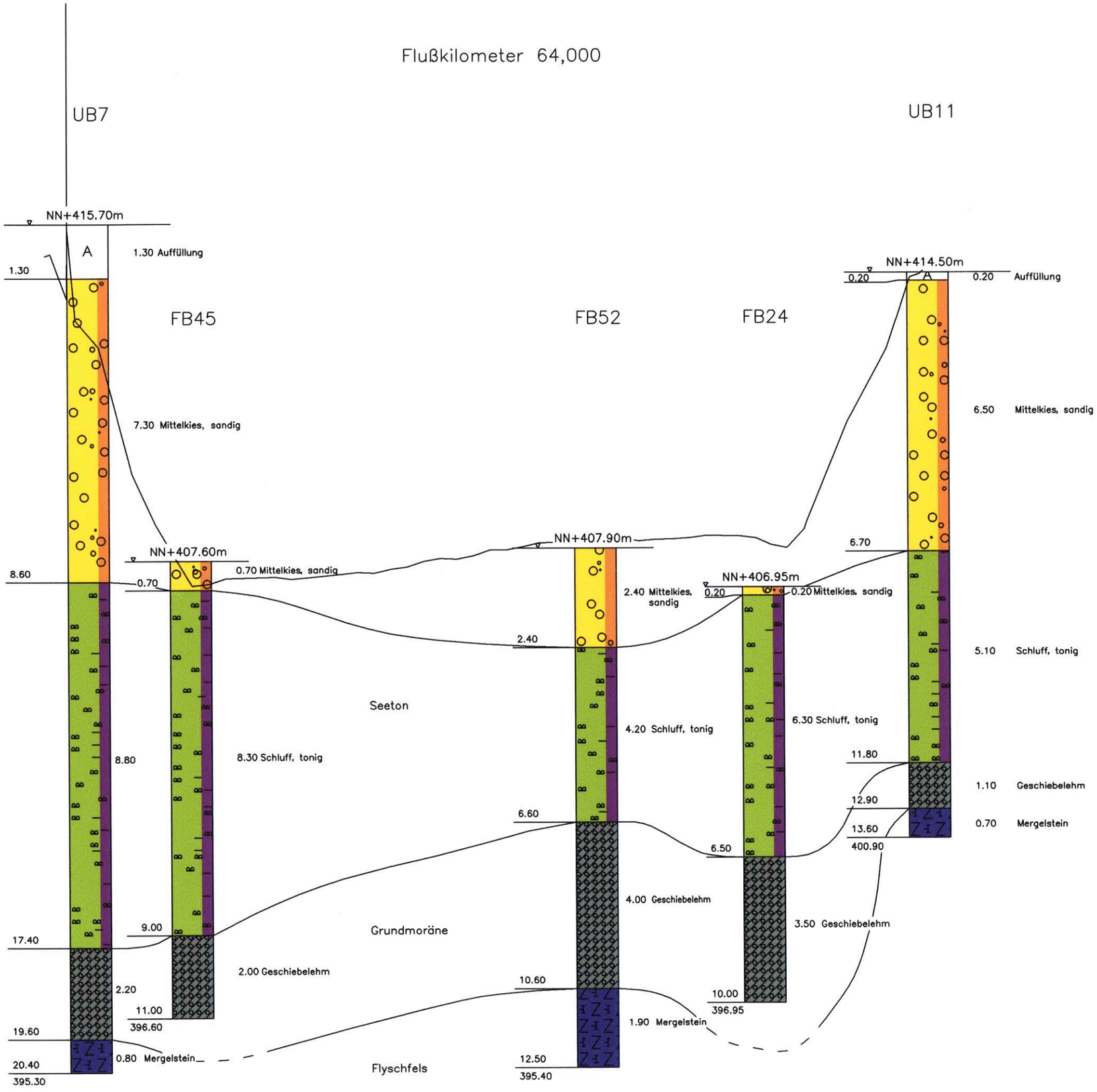
Flußkilometer 63,800



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

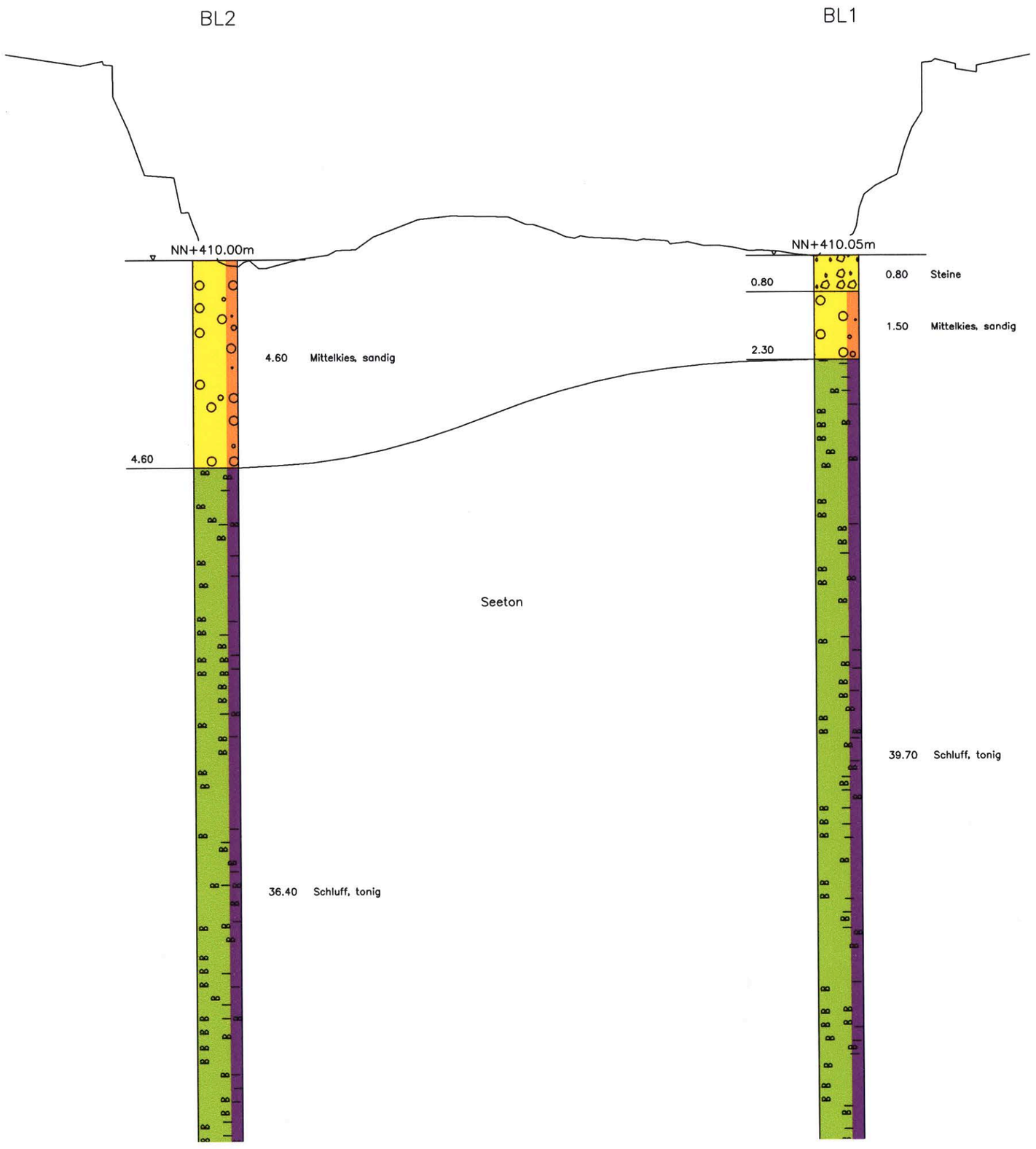
Flußkilometer 64,000



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

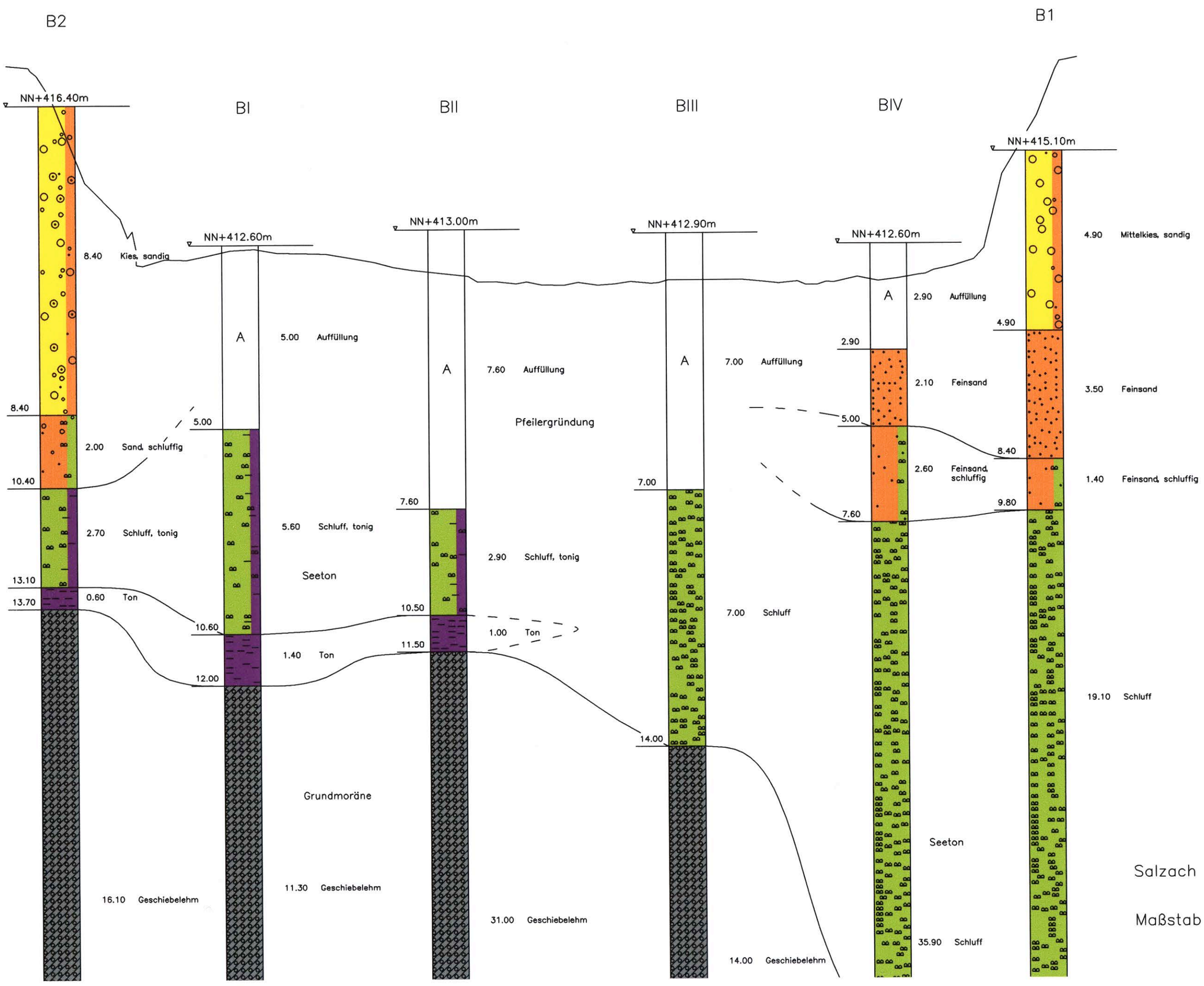
Flußkilometer 64,950



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

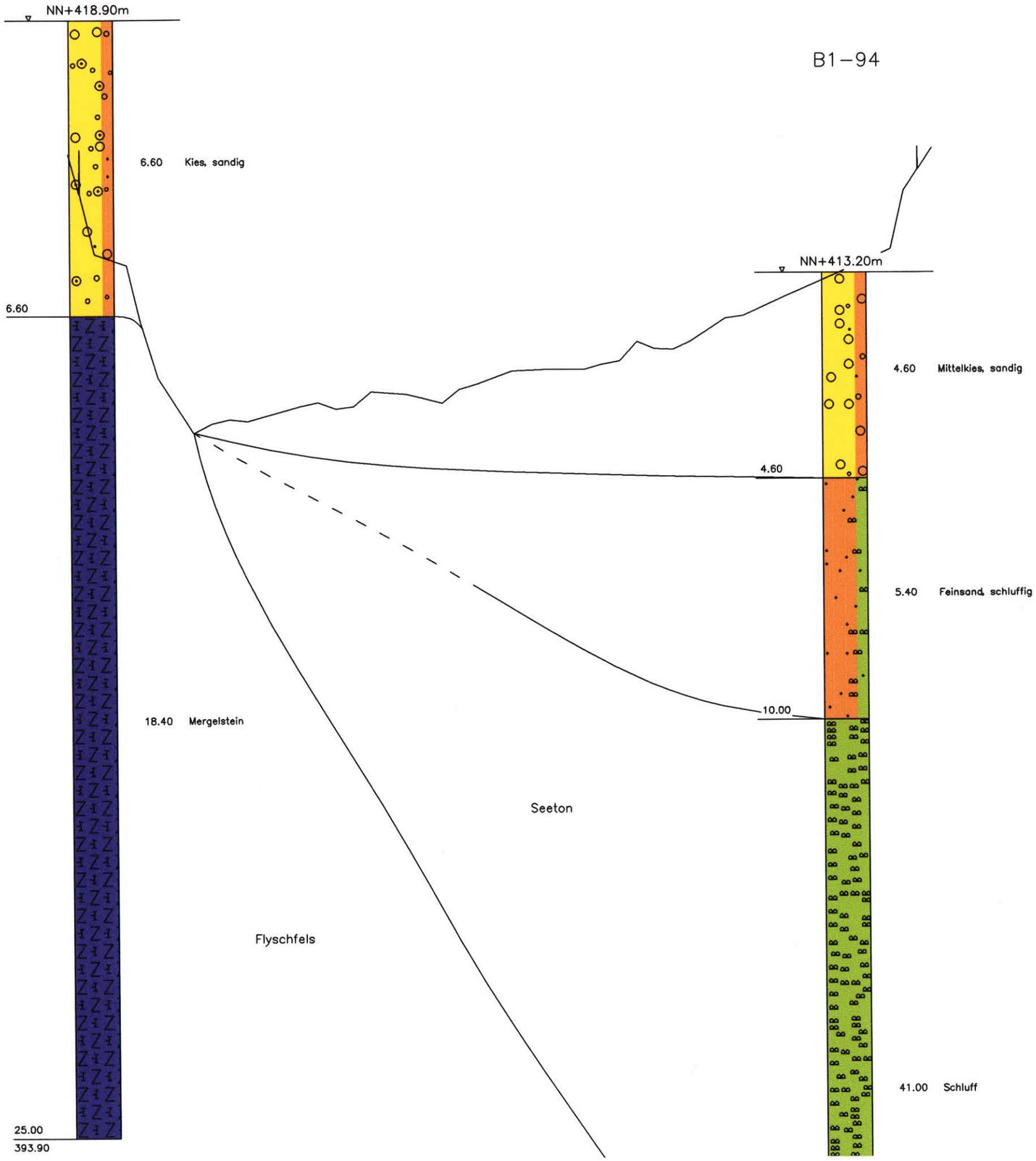
Flußkilometer 65,250



BL2–94

Flußkilometer 65,590

B1–94



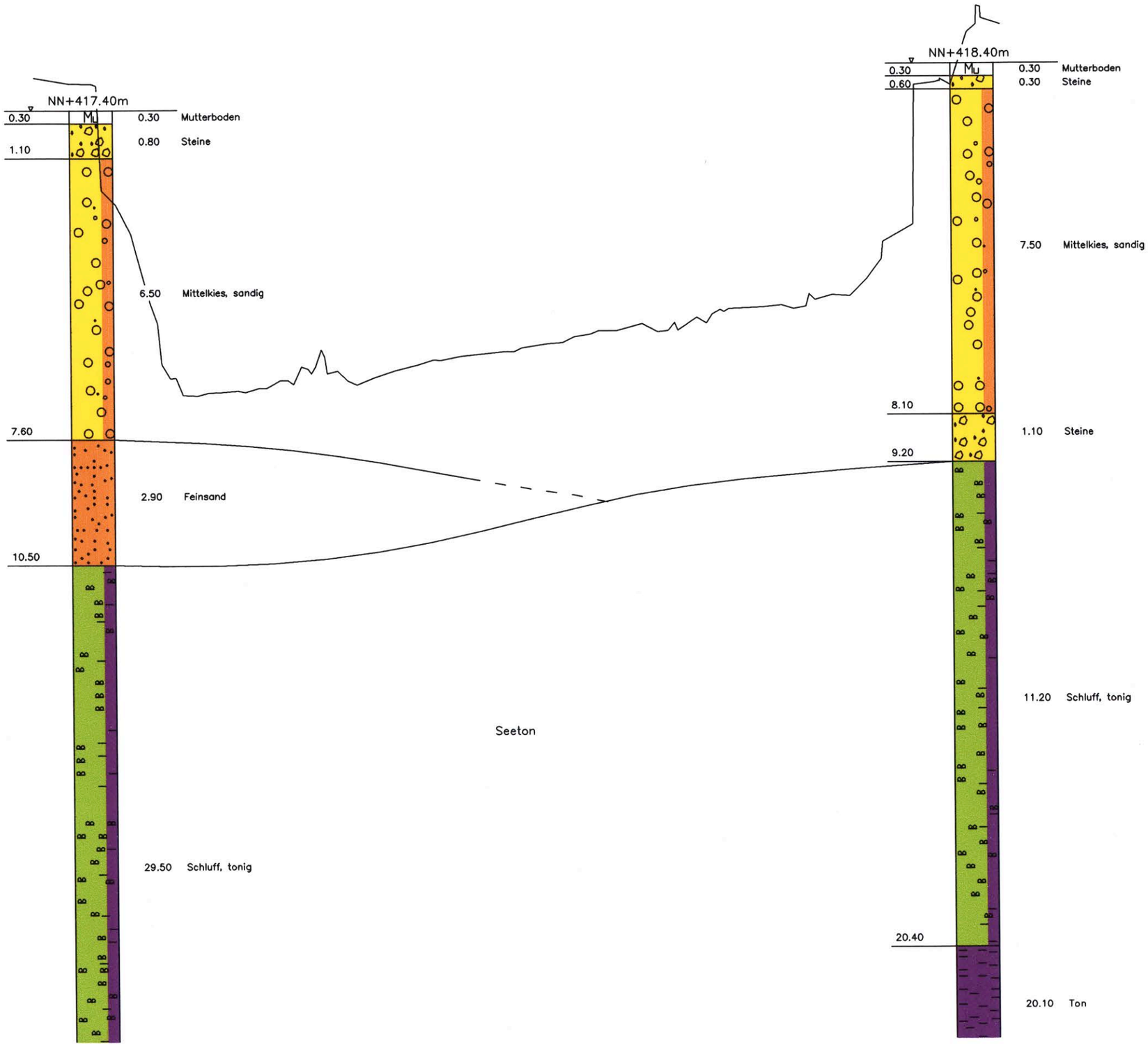
Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 66,115

16(29)

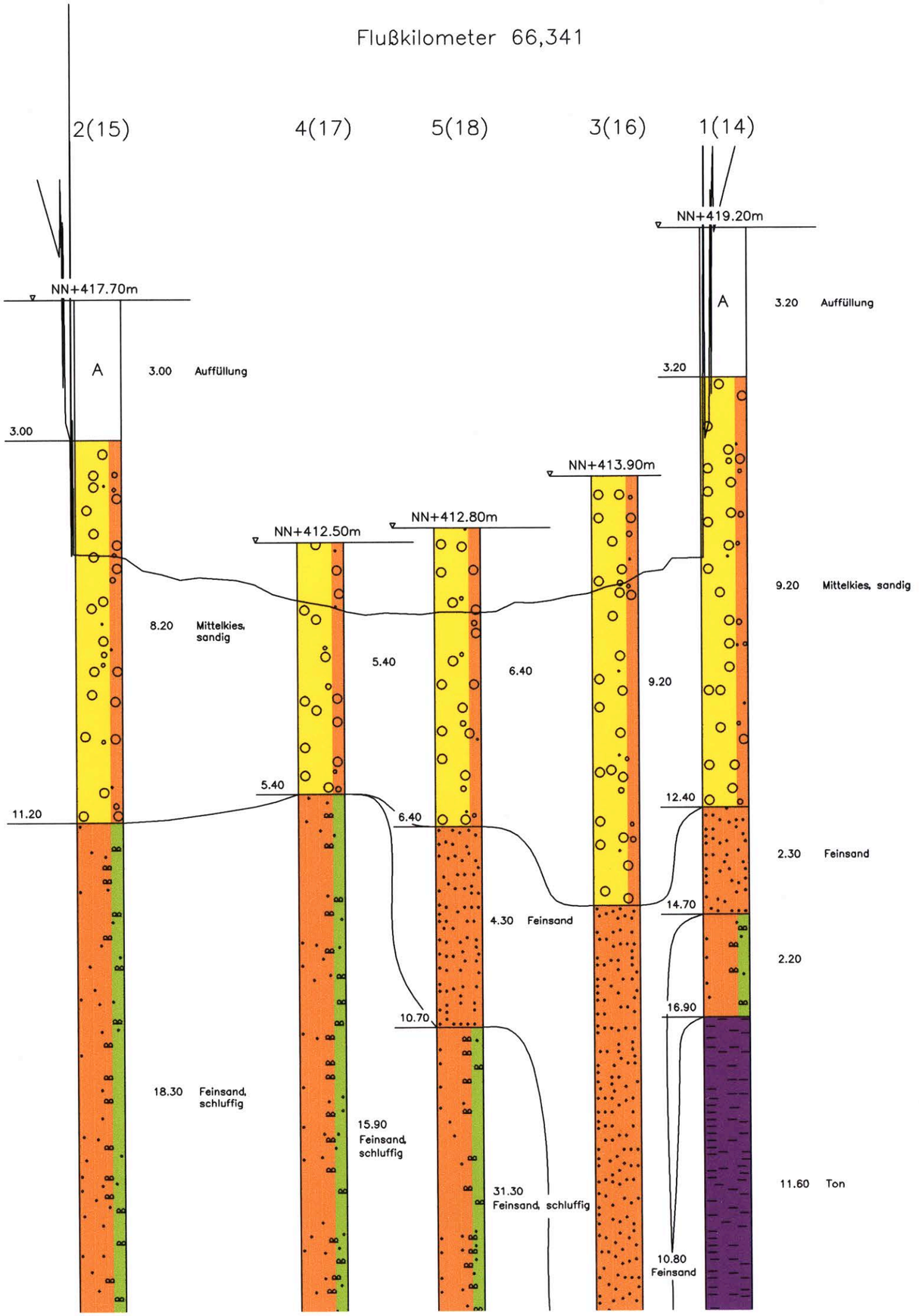
17(30)



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 66,341



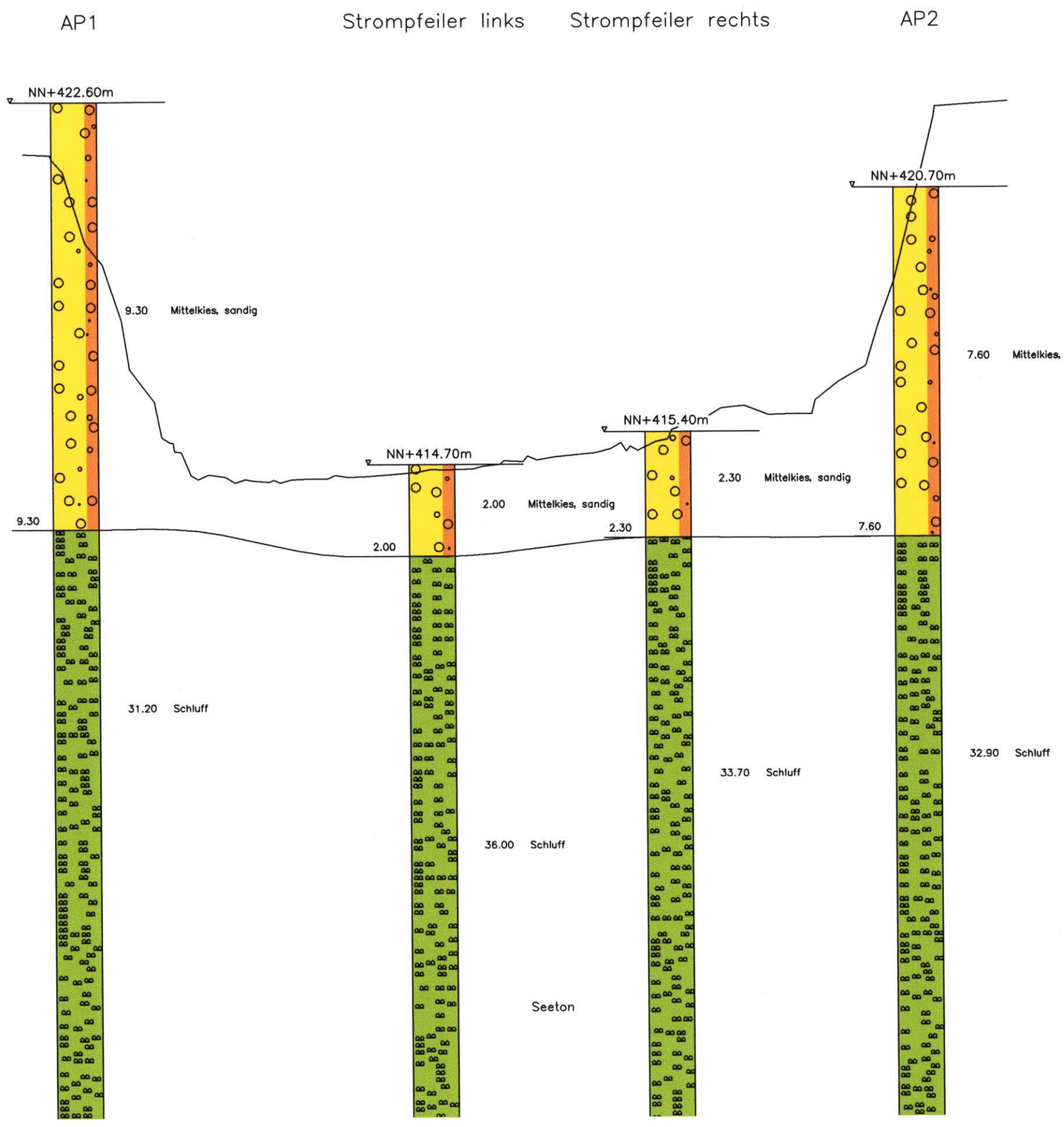
Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 67,045

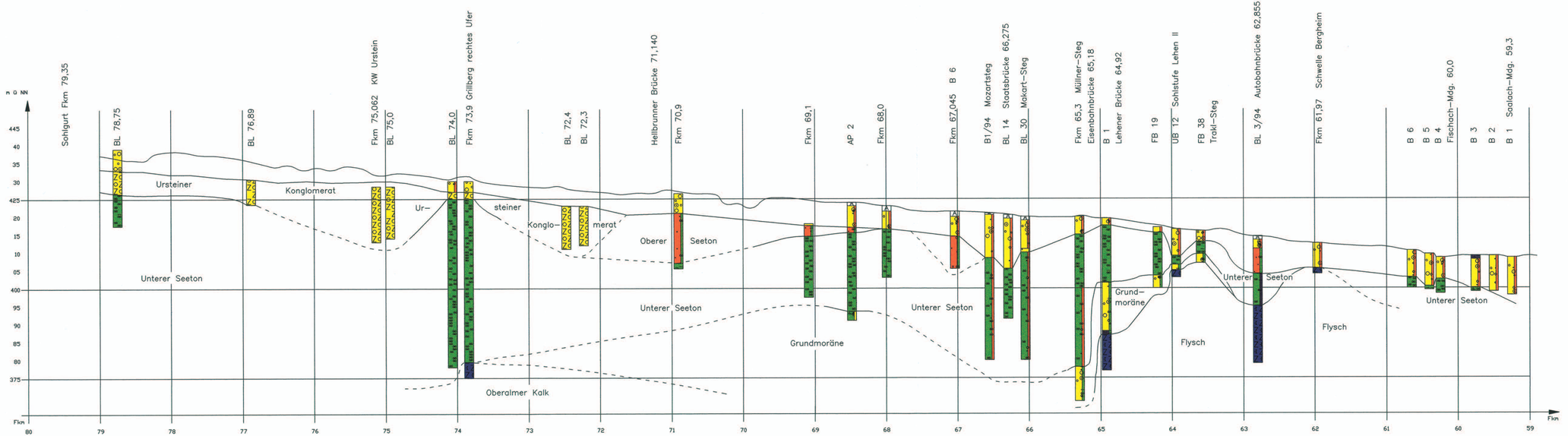
Maßstab 1 : 500 / 1 : 100

Flußkilometer 68,600



Salzach

Maßstab 1 : 500 / 1 : 100



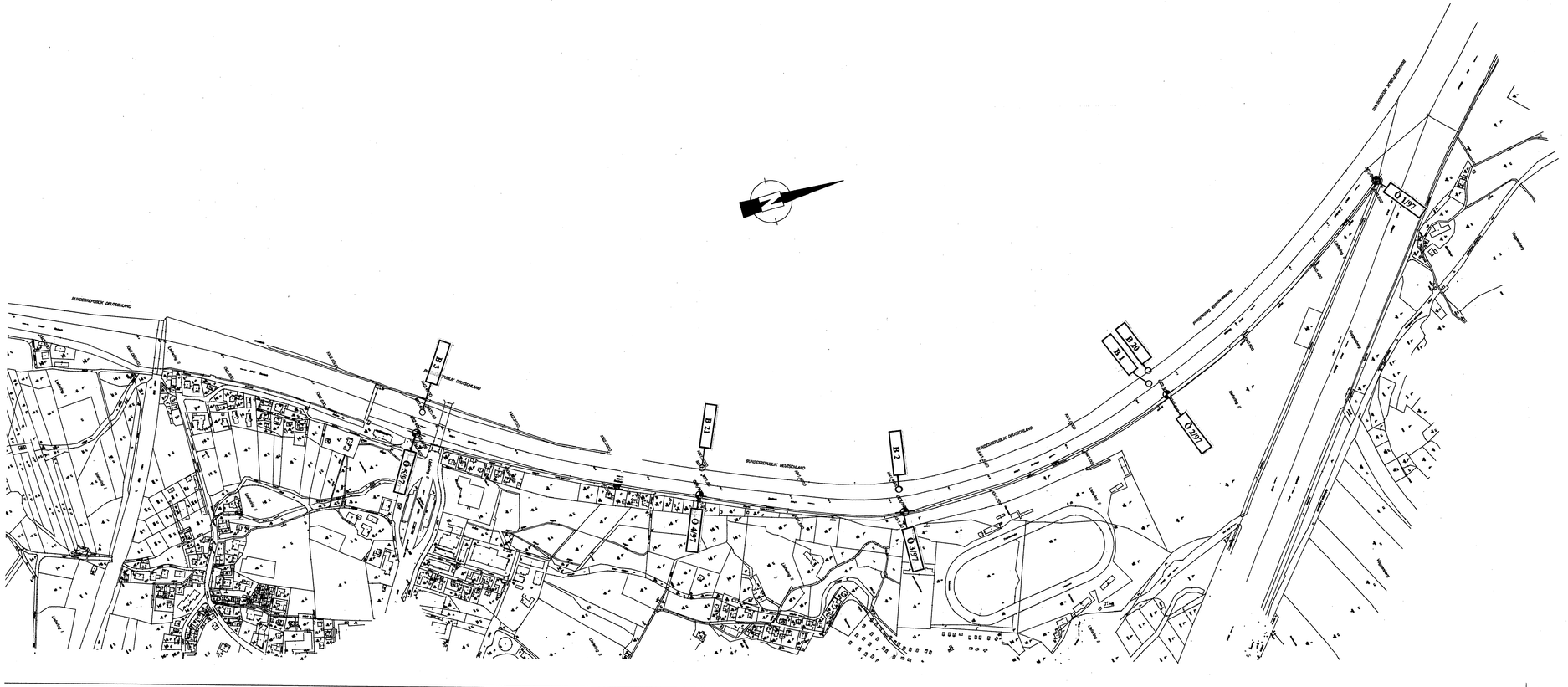
Anlage 8

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Längsschnitt mit geologischer Situation im Bereich Salzburg

M 1 : 25000 / 500



Anlage 9

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

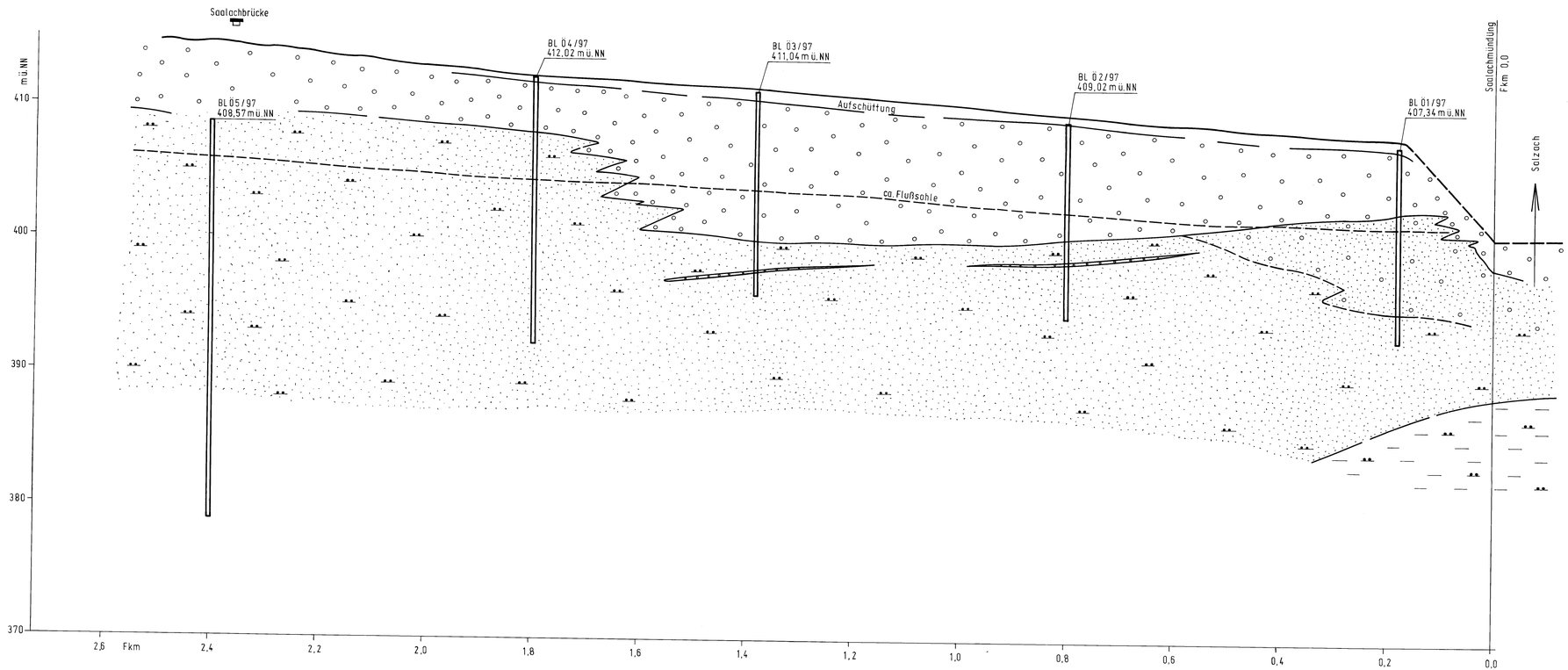
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Saalachmündung,
Lageplan mit Bohrpunkten
Fkm 2,4 - 0,0

M 1 : 5 000

SW

NO



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies
- Sand, kiesig
- Feinsand, schluffig / oberer Seeton
- Seeton / unterer Seeton

Anlage 10

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Saalachmündung,
Längsschnitt mit geologischer Situation
Fkm 2,6 - 0,0

M 1 : 5 000 / 200

1:5000 / 200

10

Saalachmündung

Flußquerschnitte mit geologischer Situation (5 Querprofile)

Fkm 0,2 - 2,4

Anlage 11

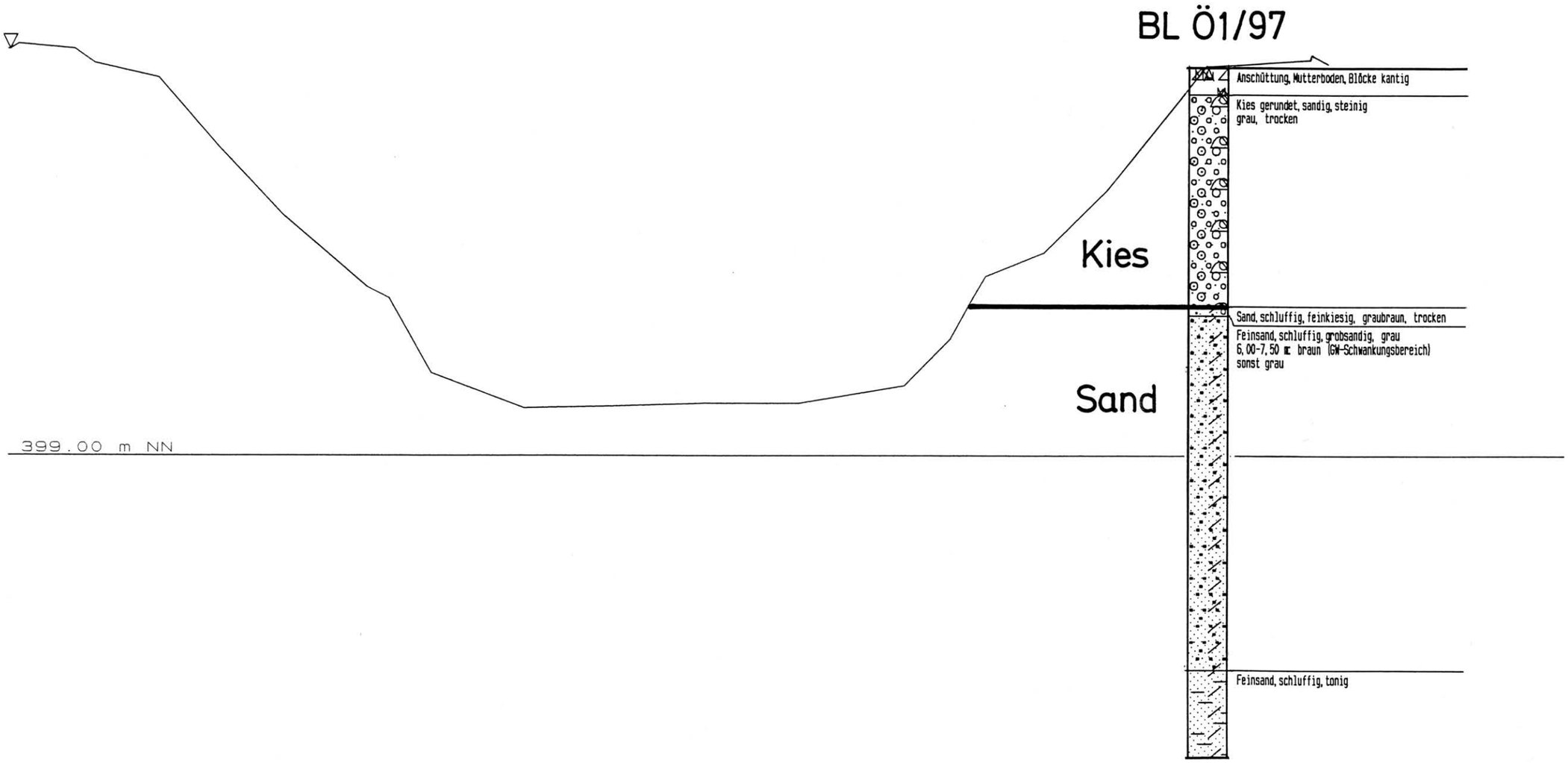
Anlage 11.1

Projekt : Saalach

Fkm : 0.200

Datum : 20.06.1995

Massstab : 1: 250 / 100



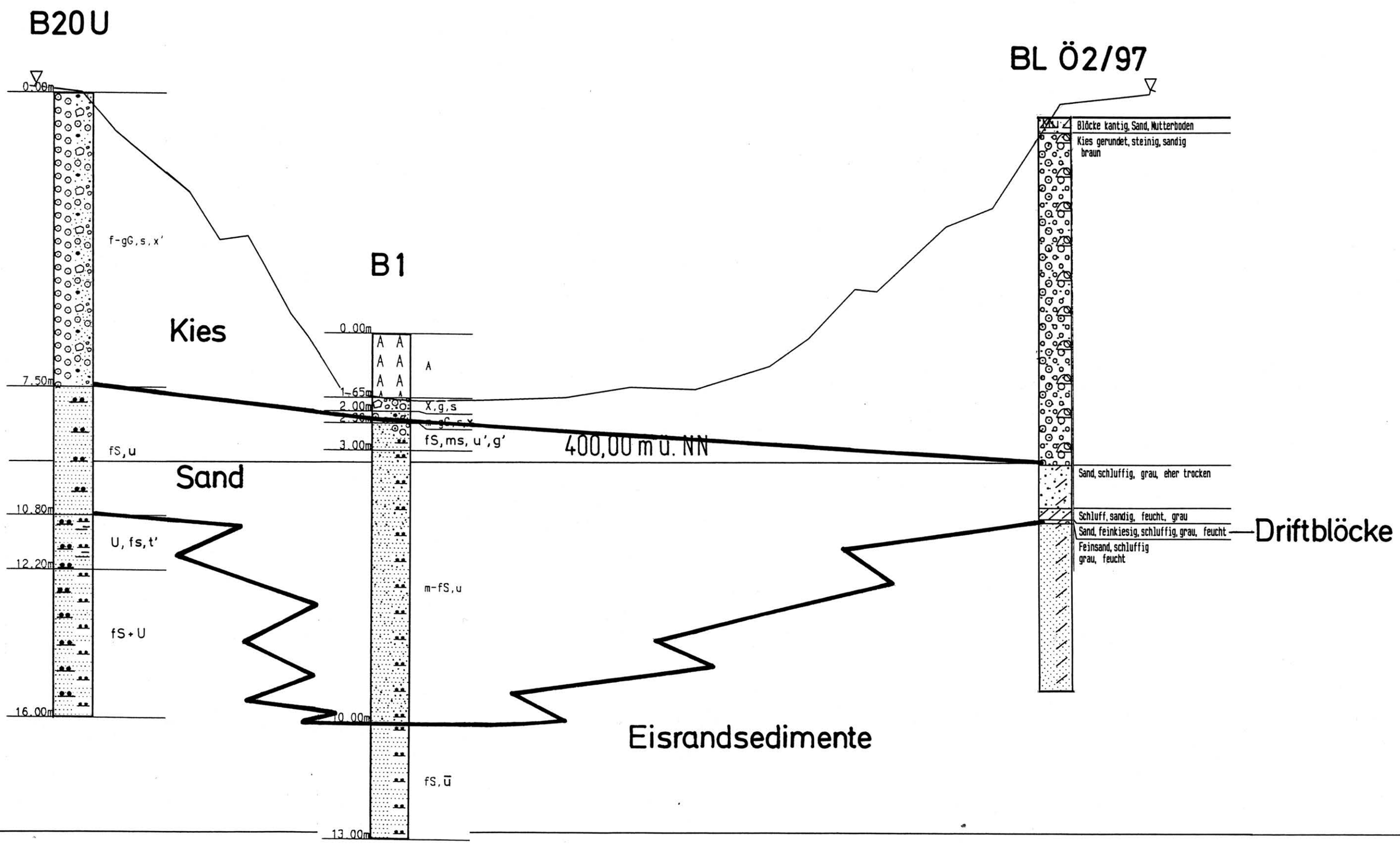
Anlage 11.2

Projekt : Saalach

Fkm : 0.800

Datum : 20.06.1995

Massstab : 1: 250 / 100



Anlage 11.3

Projekt : Saalach

Fkm : 1.400

Datum : 20.06.1995

Massstab : 1: 250 / 100

B2

BL Ö3/97

0.00m
A–A
A
0.90m
A A
f-gG,x̄,s
1.60m
402.00 m NN
f-gG,x,s
2.80m
f-gG,s'
4.00m
f-gG,s',x'
5.00m
5.25m
f-gG,s̄
fS,u
9.00m
fS+U
12.00m

Kies

Sand

Eisrandsedimente

Sand, kiesig, Mutterboden, braun

Kies gerundet, steinig, sandig
braun

Grobsand, feinsandig, schluffig
feucht, grau

Sand, schluffig
grau, feucht

Feinsand, Schluff, feinkiesig, feucht, grau

Sand, schluffig, grau, feucht

Feinsand, Schluff, grau, feucht

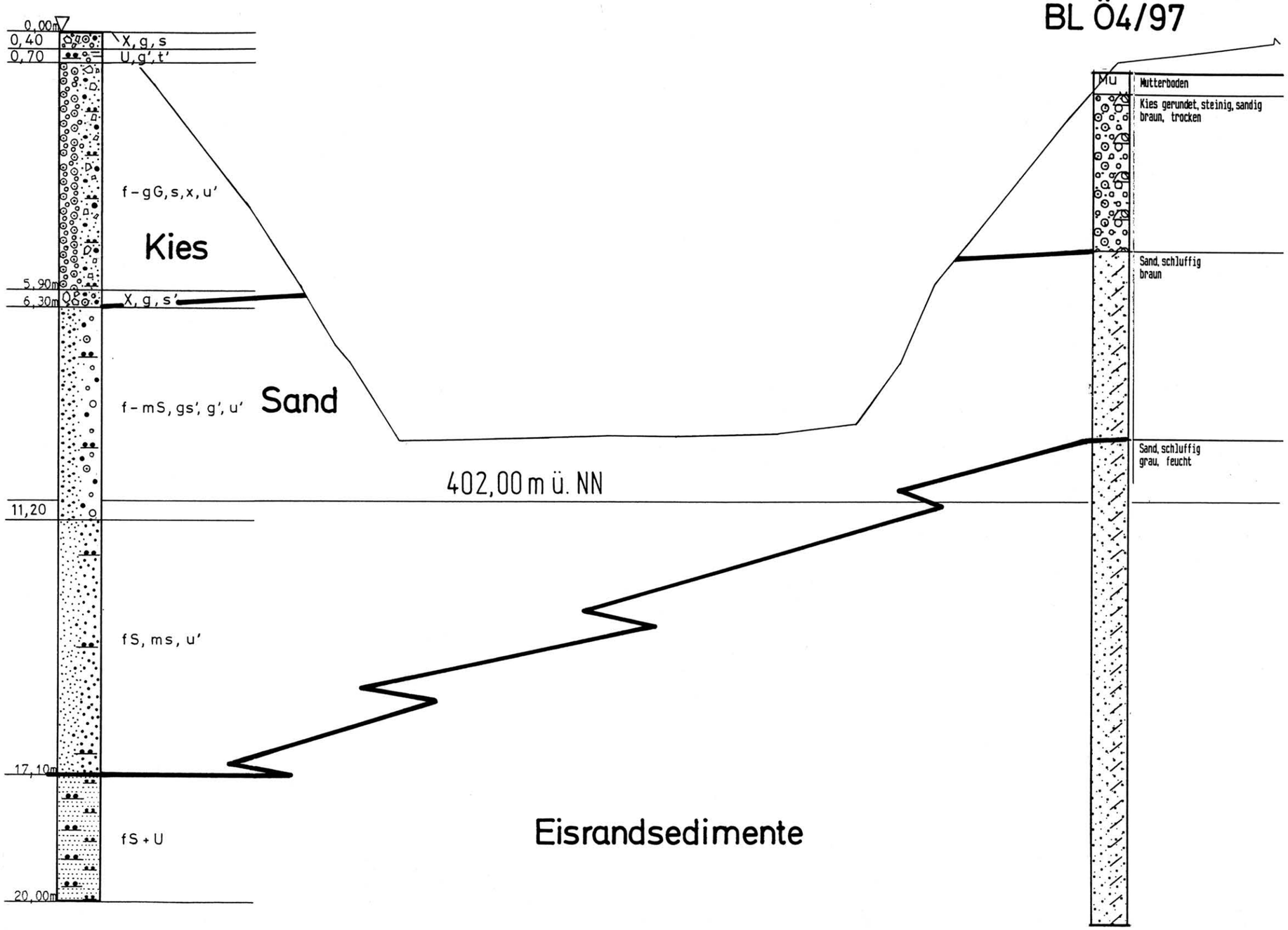
Anlage 11.4

Projekt : Saalach

Fkm : 1.800

Datum : 19.06.1995

Massstab : 1: 250 / 100



Anlage 11.5

Projekt : Saalach

Fkm : 2.400

Datum : 19.06.1995

Massstab : 1: 250 / 100

B3

BL Ö5/97

0.00m

1.15m

4.00m

12.00m

404.00 m NN

f-gG,x̄,s

Kies

fS,u,ms'

Sand

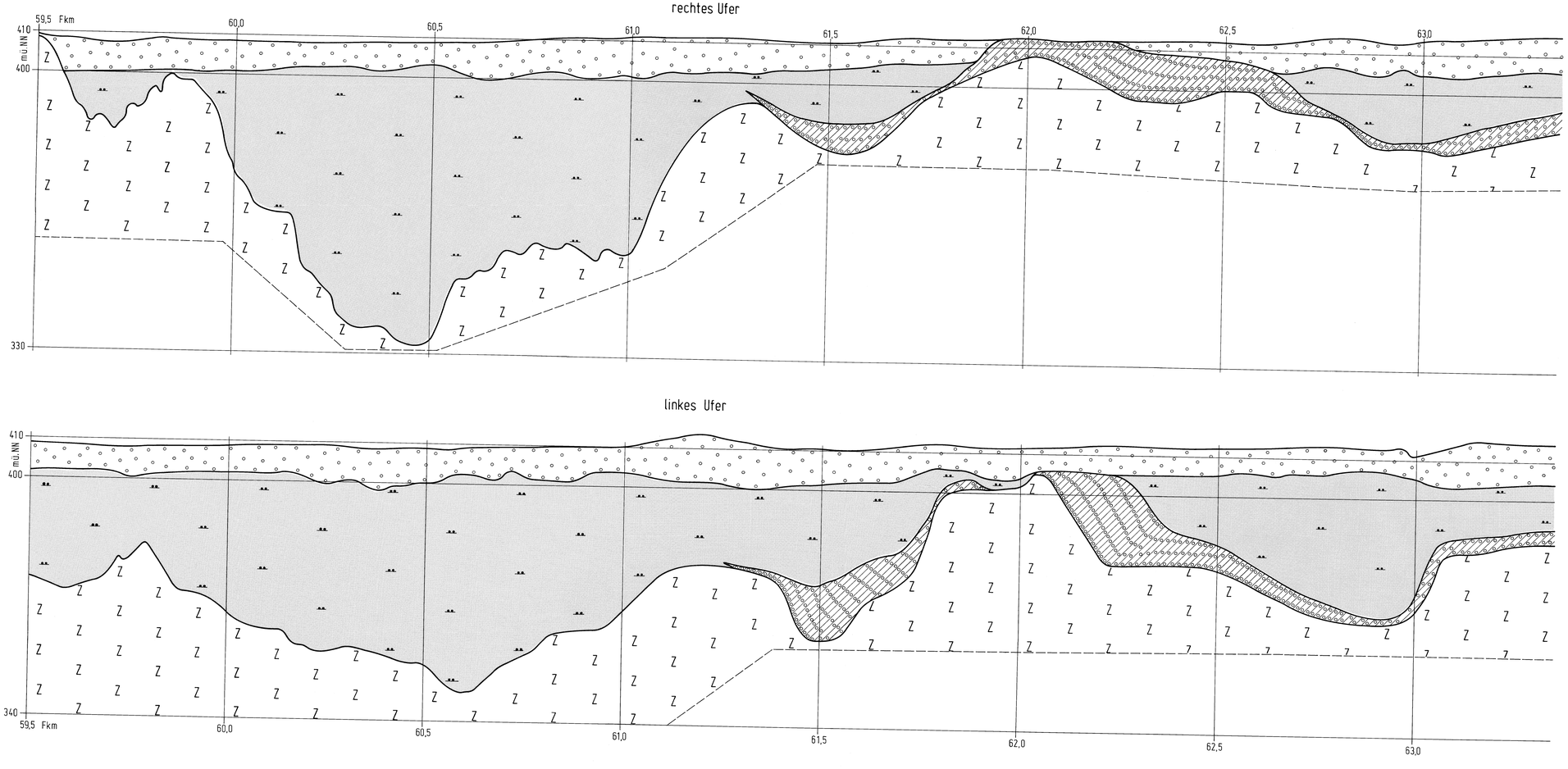
fS,ū

Eisrandsedimente

Blöcke kantig, Steine kantig, Kies kantig
Uferverbau

Sand
braun, feucht

Feinsand, schluffig
grau, feucht



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies
- schluffig - tonig
- Moräne, würmzeitlich
- Fels, allgemein
- Untergrenze d. Bohraufschlüsse bzw. Geophysik

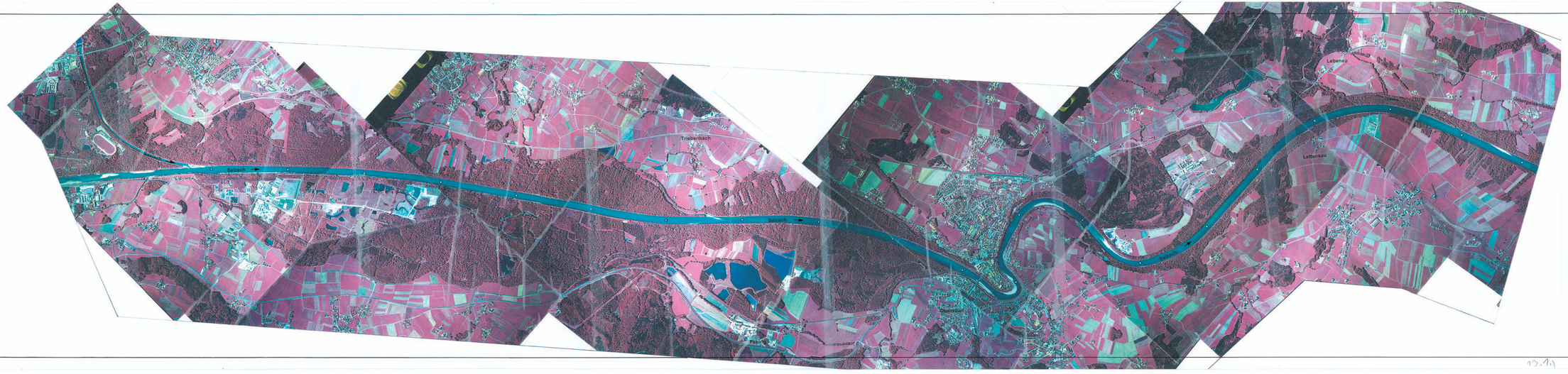
Anlage 12

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Bergheimer Schwelle,
geologische Situation am linken und rechten Ufer
Fkm 63,0 - 59,5

M 1 : 5 000 / 500



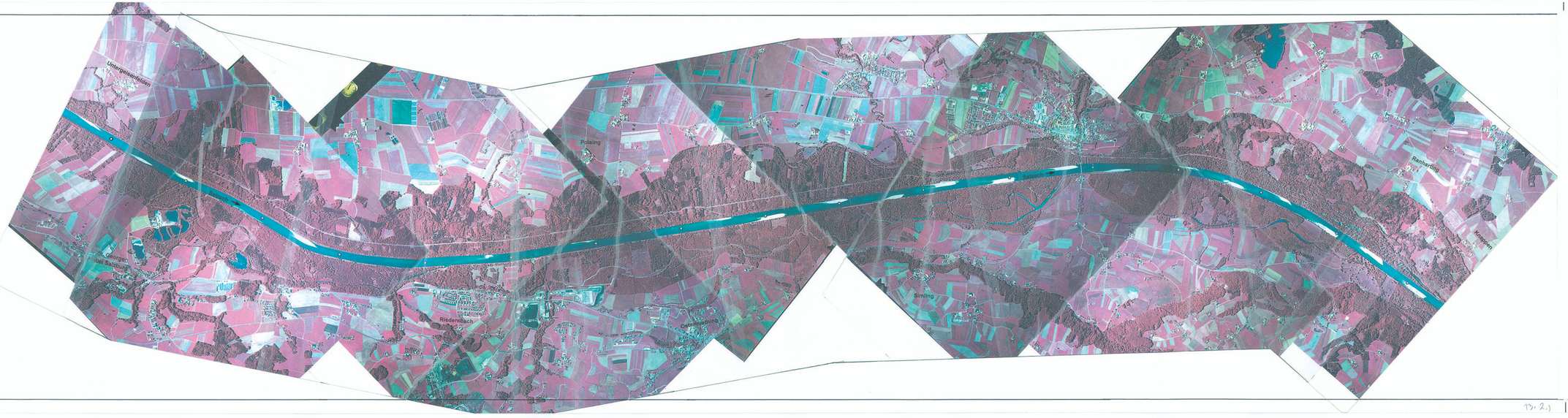
Anlage 13.1

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Luftbild der Salzach
Infrarotaufnahme vom 25.08.90
Q ~ 160 m³/s
Fkm 61,0 - 39,0

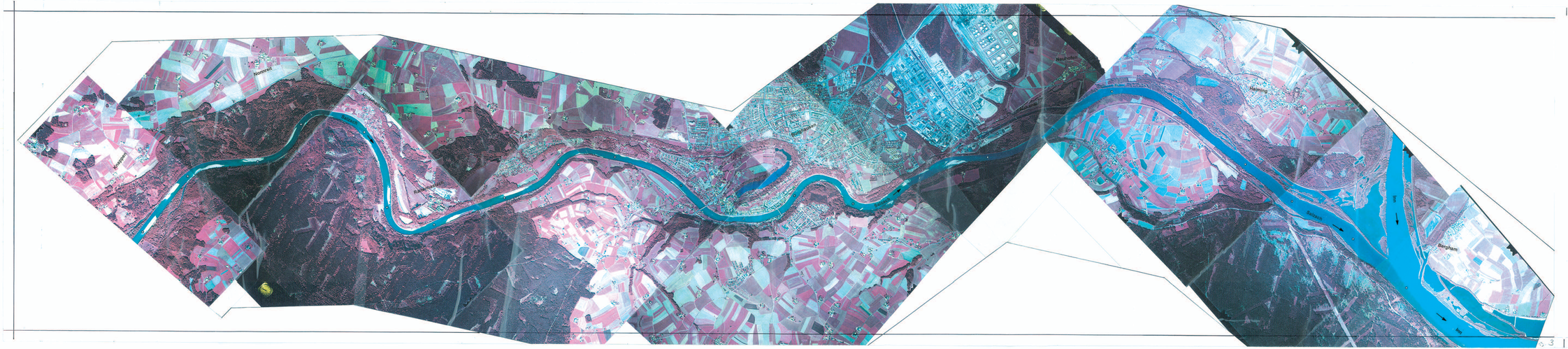
M ca. 1 : 15 000



Anlage 13.2

W R S	**Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach**
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach	
Luftbild der Salzach Infrarotaufnahme vom 25.08.90 Q ~ 160 m³/s Fkm 39,0 - 23,0 M ca. 1 : 15 000	

13.2.)



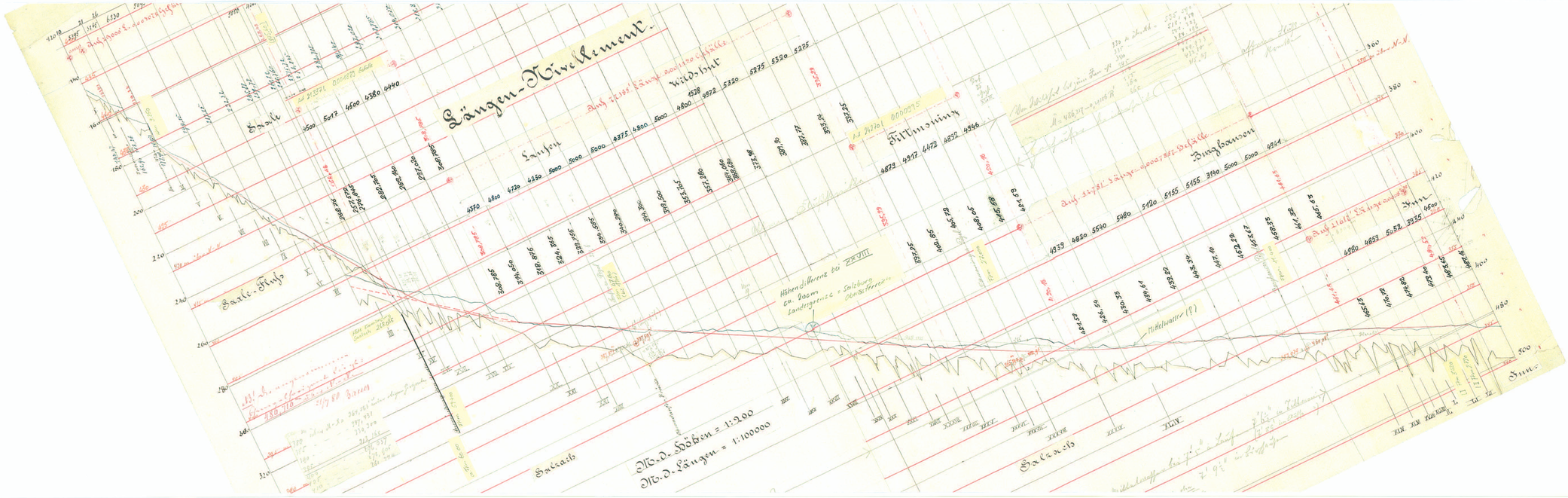
Anlage 13.3

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Luftbild der Salzach
Infrarotaufnahme vom 25.08.90
Q ~ 160 m³/s
Fkm 23,0 - 0,0

M ca. 1 : 15 000



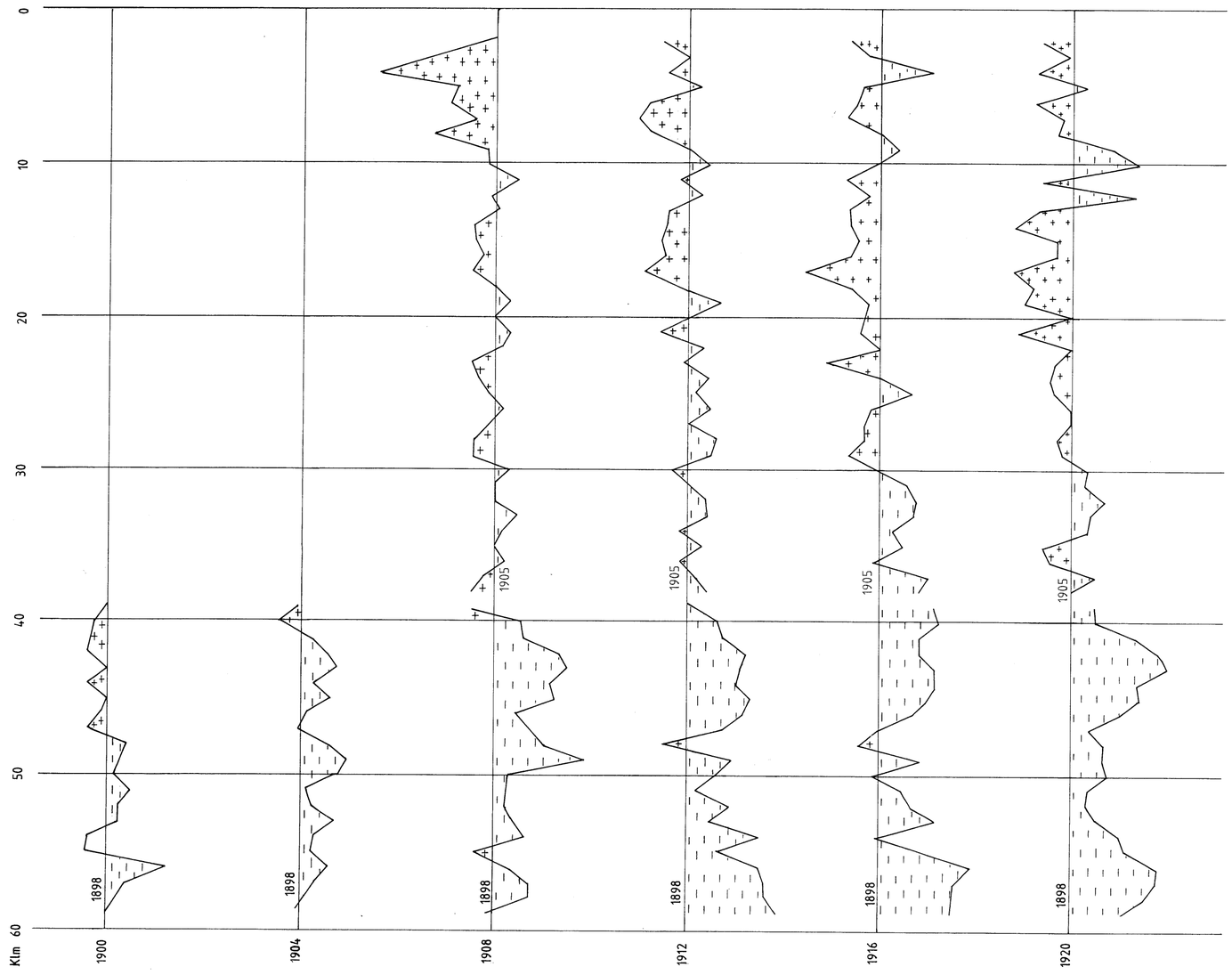
Anlage 14

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Längen-Nivellement der Salzach und Saalach
Saalach Fkm 11,793 bis Salzach Fkm 0,0
nach Ruff 1855 mit Nachträgen
(älteste vorhandene Planunterlage)

M ca. 1 : 100 000 / 200



\+ Eintiefung der mittleren Sohle seit 1898 bzw. 1905

\- Anlandung der mittleren Sohle seit 1898 bzw. 1905

Anlage 15

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

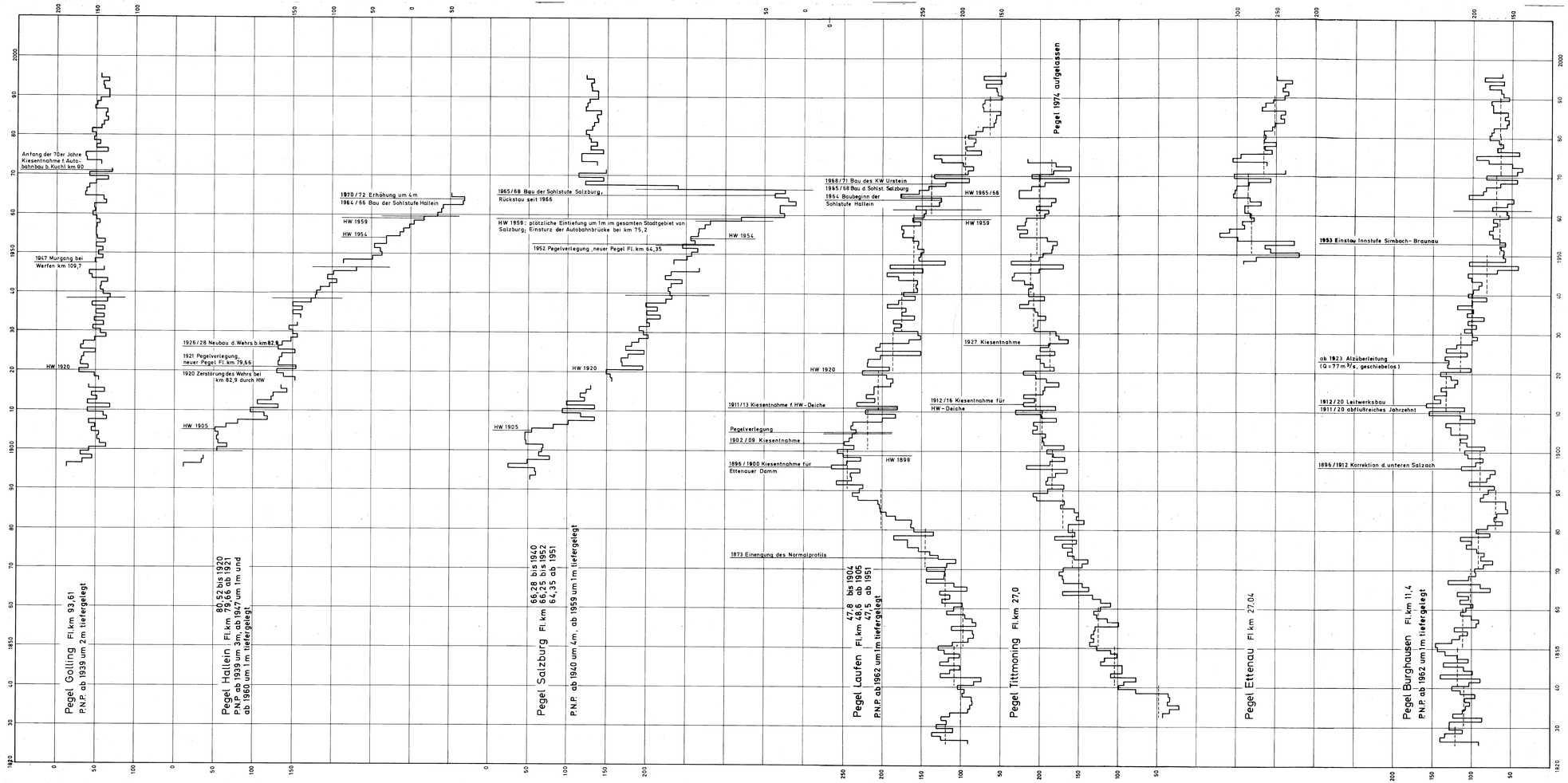
Darstellung der Veränderungen der mittleren Sohle gegenüber dem Stand der Ausgangsjahre 1898 und 1905 gez. nach Beilage IV a WWA TS 1924

M L 1 cm = 2,5 km M H 1 cm = 0,5 m

Anlage 16.1

W R S	**Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach**
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach	
Historischer Lageplan M ca. 1 : 50 000	

Topographischer Atlas vom Königreich Bayern
Blatt Nr. 6 I. NW.
Gisenhaus
Hochbuchs
Ebersdorf
Dorf
Oberdorf
Burghausen
Haidenhaus
Haidenhaus
Haidgrund
Haidenthal
Tüttenhofen
Tüttenhofen
Tüttenhofen

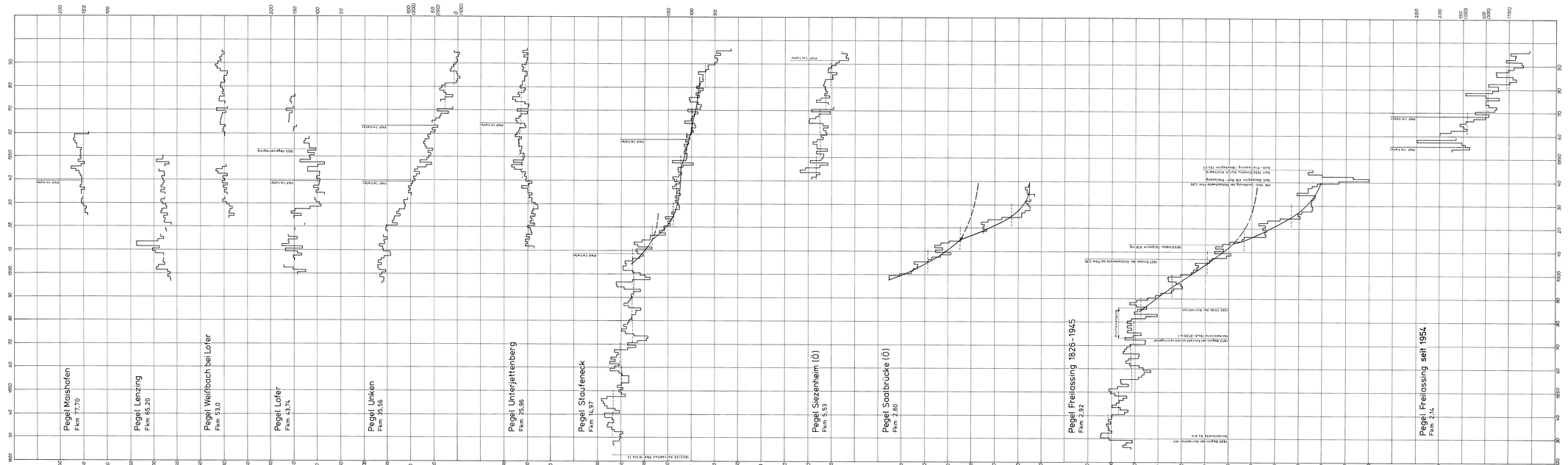


Anlage 17.1

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Salzach
Ganglinien der Jahresmittelwasserstände
an den Pegeln von
Golling bis Burghausen

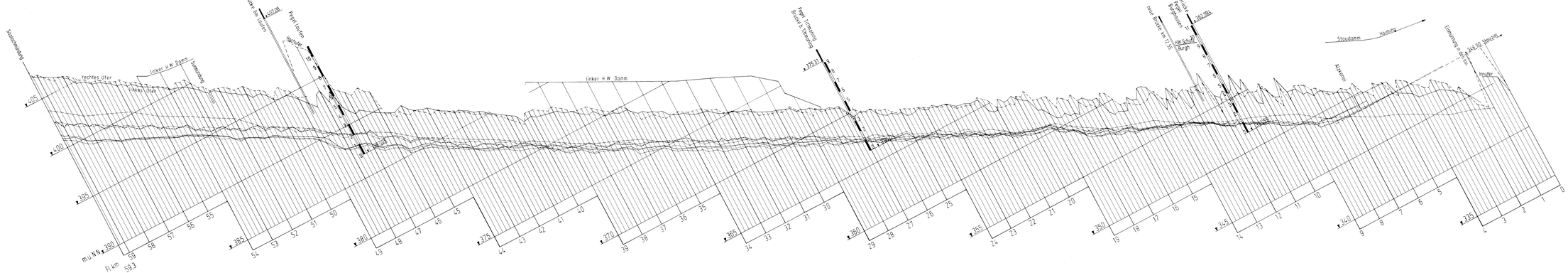


Anlage 17.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Saalach
Ganglinien der Jahresmittelwasserstände an den Pegeln von Maishofen bis Freilassing



Abfluß am Pegel Burghausen (m³/s)	Niedrigwasserspiegel-Festlegung	
88	– – – – –	15. 1. 29
88	– – – – –	14. 11. 53
99	— · — · —	17. 1. 61
90	·····	31. 1. 90
111	———	16. 2. 94
(90)	– – – – –	12. 2. 96

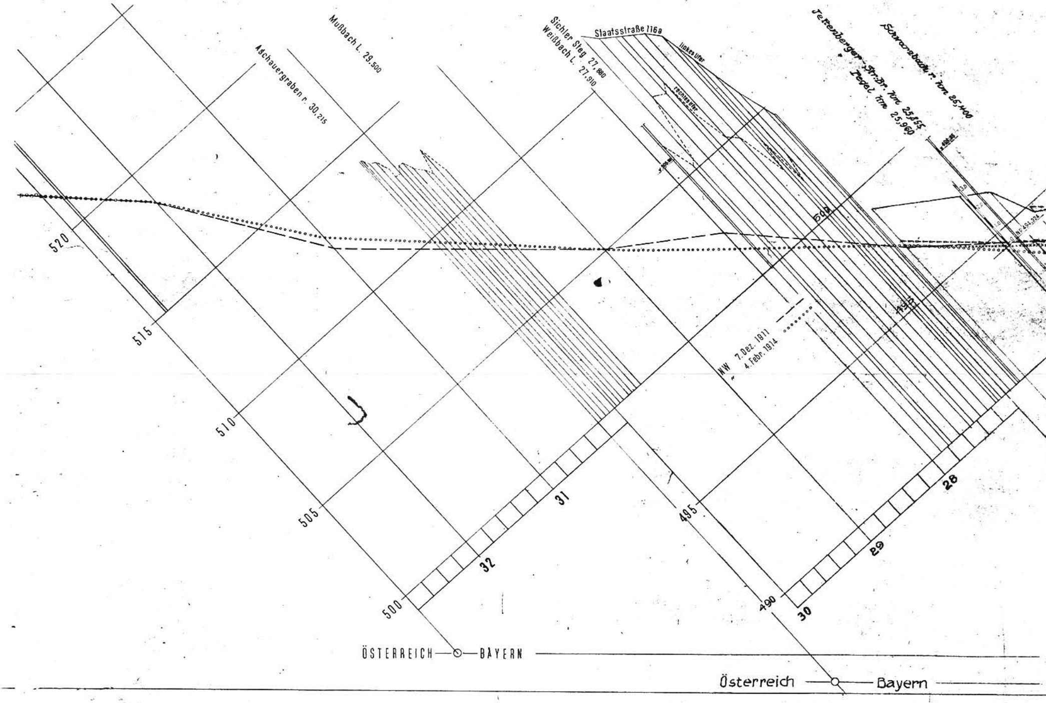
Anlage 18.1

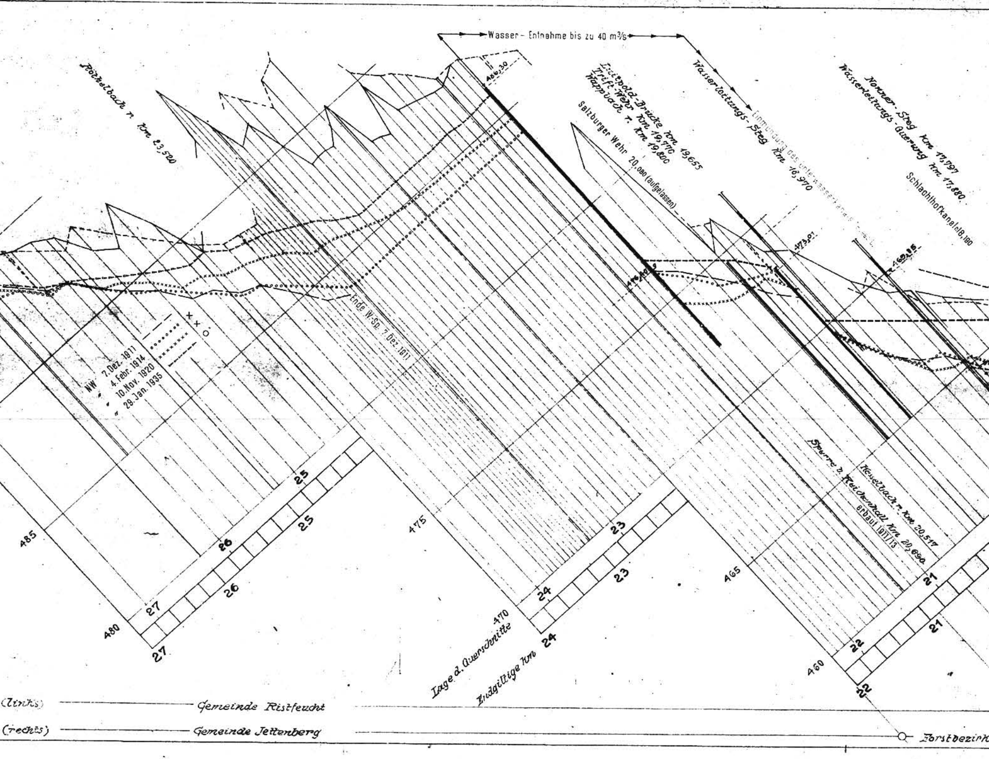
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

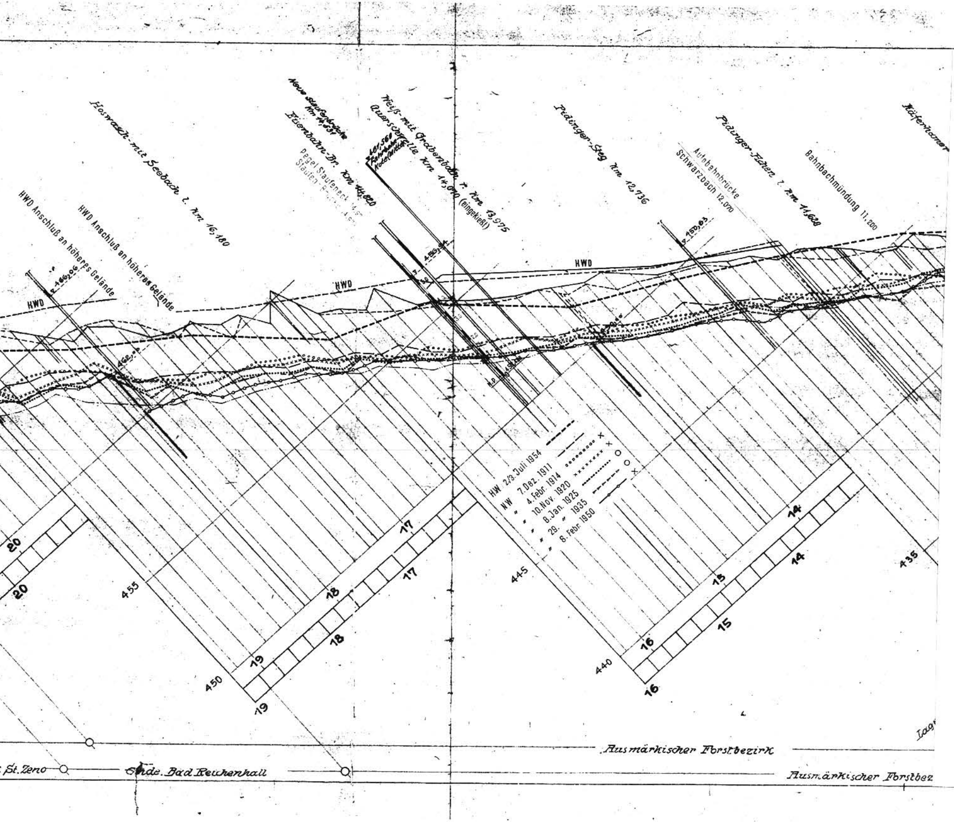
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

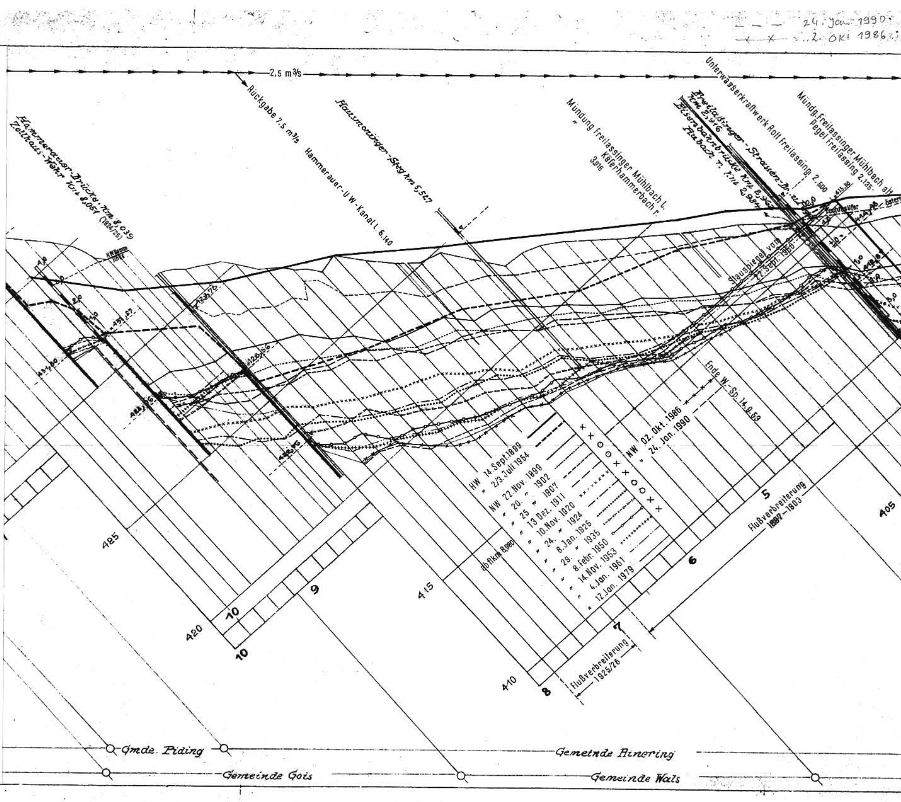
Salzach
Flußlängsschnitt mit
Niedrigwasserspiegelfestlegungen
Fkm 59,3 - 0,0

M 1 : 50 000 / 100

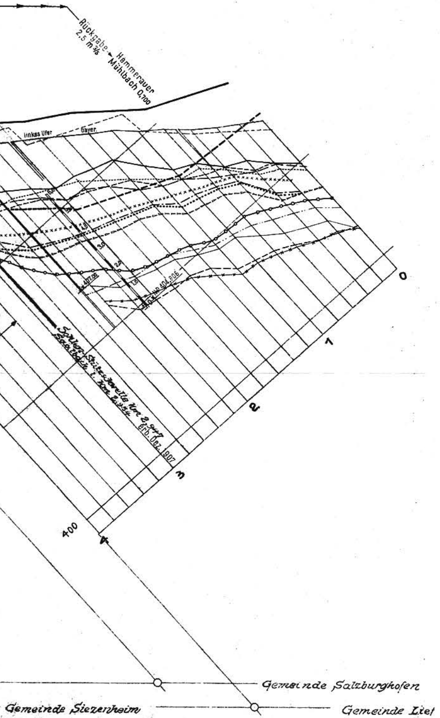

Aschauergraben r. 30,215
Mußbach L. 29,500
Sichler Steg 27,880
Weißbach L. 27,910
Staatsstraße 116a
linkes Ufer
rechtes Ufer
Jettenberger Str.Br. km 25,855
Pegel km 25,960
Schwarzbach r. km 25,400
3,0
2,0
1,0
0
NP 494,324
500
495
NW 7.Dez. 1911
" 4.Febr. 1914
520
515
510
505
500
495
490
32
31
30
29
28
ÖSTERREICH — BAYERN
Österreich — Bayern


Wasser - Entnahme bis zu 40 m³/s
Röthelbach r. km 23,520
Luitpold-Brücke km 19,655
Trift-Wehr km 19,770
Wappbach r. km 19,800
Salzburger Wehr 20,080 (aufgelassen)
Wasserleitungs-Steg km 16,970
Einmündung des Unterwasserkanals
Nonner-Steg km 17,797
Wasserleitungs-Querung km 17,880
Schlachthofkanal 18,190
486,30
476,40
473,07
469,85
Ende W.-Sp. 7. Dez. 1911
NW 7. Dez. 1911
" 4. Febr. 1914
" 10. Nov. 1920
" 29. Jan. 1935
Sperre d. Reichenhall km 20,690
erbaut 1911/13
Kesselbach r. km 20,517
485
480
475
470
465
460
27
26
25
24
23
22
21
Lage d. Querschnitte
Endgiltige km
(links) Gemeinde Ristfeucht
(rechts) Gemeinde Jettenberg
Forstbezirk


Hosrwach- mit Seebach l. km 16,180
HWD Anschluß an höheres Gelände
HWD Anschluß an höheres Gelände
Neue Staufenbrücke km 14,531
Eisenbahn-Br. km 14,820
Pegel Staufeneck 14,8
Weiß- mit Grabenbach r. km 13,975
Querschwelle km 14,010 (eingekießt)
461,56 Fahrbahn Kote (Mitte)
456,9
Pidinger-Steg km 12,736
Autobahnbrücke Schwarzbach 12,070
450,63
Pidinger-Achen l. km 11,628
Bahnbachmündung 11,200
Käferhamer
466,06
462,0
HWD
HWD
HWD
N.P.
HW 2/3. Juli 1954
NW 7. Dez. 1911
" 4. Febr. 1914
" 10. Nov. 1920
" 8. Jan. 1925
" 29. " 1935
" 8. Febr. 1950
20
20
455
450
19
19
18
18
17
17
445
440
16
16
15
15
14
14
435
Ausmärkischer Forstbezirk
St. Zeno
Gde. Bad Reichenhall
Ausmärkischer Forstbez
Lag


24. Jan 1990
2. Okt 1986
2,5 m³/s
Rückgabe 7.5 m³/s
Hammerauer-Brücke km 8,039
Zollhaus-Wehr km 8,051 (1924/25)
Hammerauer-UW-Kanal l. 6,140
Hausmoninger-Steg km 5,527
" Mündung Freilassinger Mühlbach l. Käferhammerbach r. 3,916
Freilassinger km 2,916
Eisenbahnbrücke km 2,96
Fußbach r. km 2,98
Freilassinger-Strassen-Br.
Unterwasserkraftwerk Rott Freilassing 2,500
Mündg. Freilassinger Mühlbach alt
Pegel Freilassing 2,135
Stauspiegel vom 22. Sept. 1950
Ende W.-Sp. 14.8.53
HW 14. Sept. 1899
" 2/3. Juli 1954
NW 22. Nov. 1899
" 20. " 1902
" 25 " 1907
" 13 Dez. 1911
" 10. Nov. 1920
" 24. " 1924
" 8. Jan. 1925
" 29. " 1935
" 8. Febr. 1950
" 14. Nov. 1953
" 4. Jan. 1961
" 12. Jan. 1979
NW 02. Okt. 1986
" 24. Jan. 1990
ab Flkm 8,880
Flußverbreiterung 1925/26
Flußverbreiterung 1897–1803
425
420
415
410
405
10
10
9
8
7
6
5
Gmde. Piding
Gemeinde Ainering
Gemeinde Gois
Gemeinde Wals

Kopie


Rückgabe 2,5 m³/s
Hammerauer Mühlbach 0,700
linkes Ufer
Bayer.
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,5
407,06
NP 404,806
Sohlen-Stützschwelle km 2,907
Saalbach i. km 2,954
Erb. Dez. 1907
0
1
2
3
4
400
Gemeinde Salzburghofen
Gemeinde Siezenheim
Gemeinde Lief

Wasserspiegelfestlegungen

Ausdehnung km von	bis	Art der Festlegung	Datum der Festlegung	Pegel U.-Jettenberg Stand	Q	Pegel Staufeneck Stand	Q	Pegel Hammerau Stand	Q	Pegel Freilassing Stand	Q	Zusammengehörige WSp.festlegungen ×	○	Kennzeichnung	Bemerkungen
9	0	HW	14.9.1899	K.P. B.	800	+410	840	–		225	880			——	
20,6	0	"	2/3.7.1954	+298	606	+290	500	–		432	–			----	
8,880	0	NW	22.11.1899	Keine Pegel-Beobachtung	rd.12	– 40	rd.14	-144 alt +156 neu		– 62	rd.15	22.11.1899		——	
8,880	0	"	20.11.1902		10,7	+ 19		-231 alt +169 neu		-135		20.11.1902		·········	
8,880	0	"	25.11.1907		8,9	38	9,5	–		-160	11		25.11.1907	------	
33 8,839	10 0	"	7.12.1911 13.12.1911	14 13	+8,2 +7,7	52 64	– –	– –	– -235 +65	-160 -170	rd.20 –		XII.1911	— — —	
33	9,800	"	4.2.1914	22	+12,6	85	–	44	4,16 Restwasser	-167		4.2.1914		·······	
27	0,200	"	10.11.1920	15	+12	30	(11)	–		-244		10.11.1920		·······	
8,880	0,200	"	24.11.1924	12	11,4	16	rd.13	–		-334		24.11.1924		—·—·—	
18,500	0,2	"	8.1.1925	6	9,6	11	10	2		-343			8.1.1925	··········	
26,700	0	"	29.1.1935	16	9,0	-12	11,0			-360			29.1.1935	------	
18,900	0	"	8.2.1950	37	13,4	23	15,0			–		8.2.1950		—o—o—	
8,880	4,600	"	14.11.1953	36	10,5	28	13,2			+40		14.11.1953		··········	
19,0	0	"	4.1.1961	40	10,6									—·—·—	
12,6	0	"	12.1.1979	24	11,5									——	
9,0	0	"	2.10.1986		12,3		15,0							—×—×—	
9,0	0	"	24.1.1990		8,2		9,9							— — —	

Anlage 18.2

Wasserwirtschaftliche
Rahmenuntersuchung Salzach

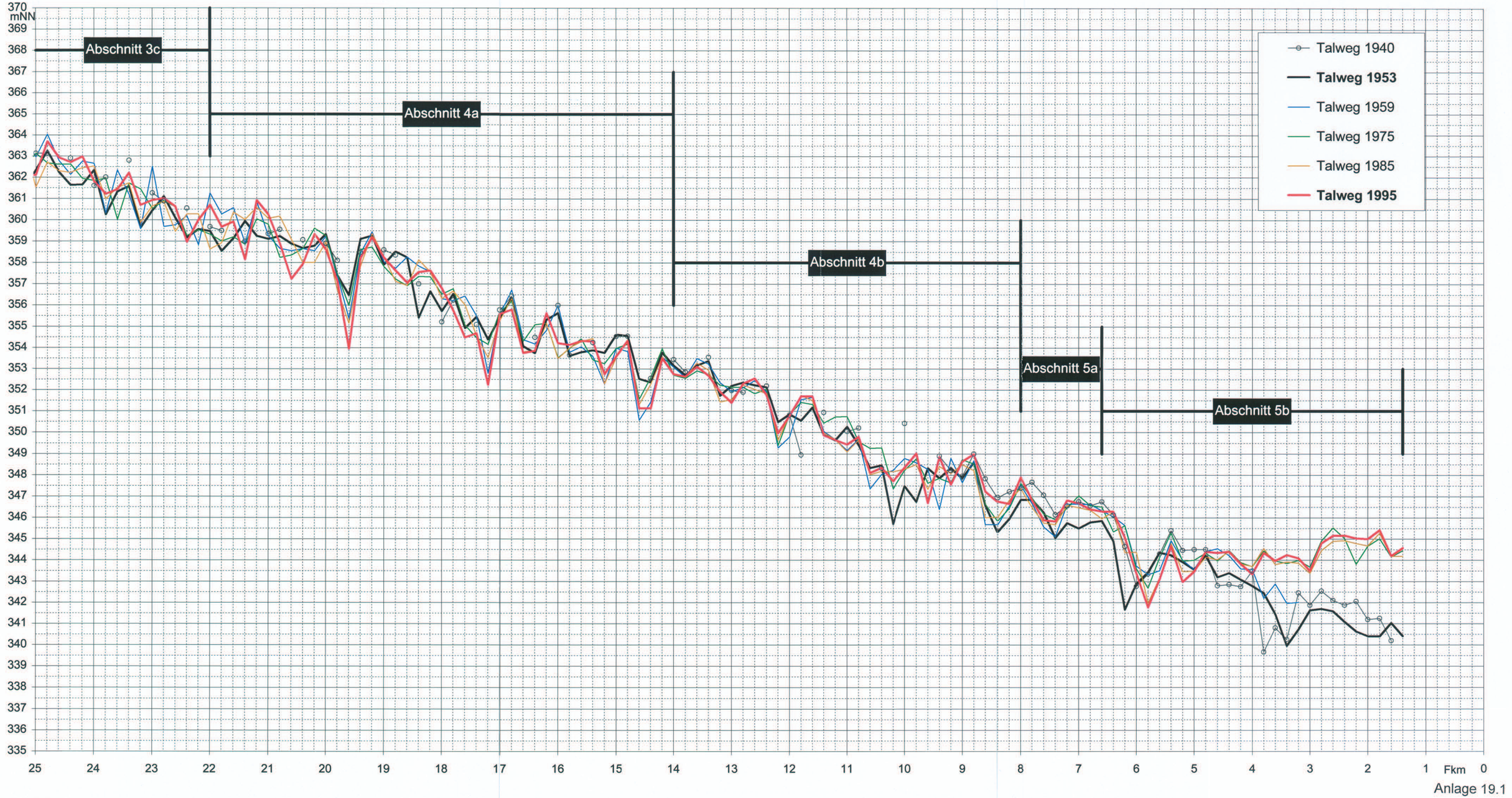
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Saalach
Flußlängsschnitt mit
Niedrigwasserspiegelfestlegungen
Fkm 9,0 - 0,0

M 1 : 25 000 / 100

Flußquerschnitt mit Talwegen
und Abschnittsgliederung

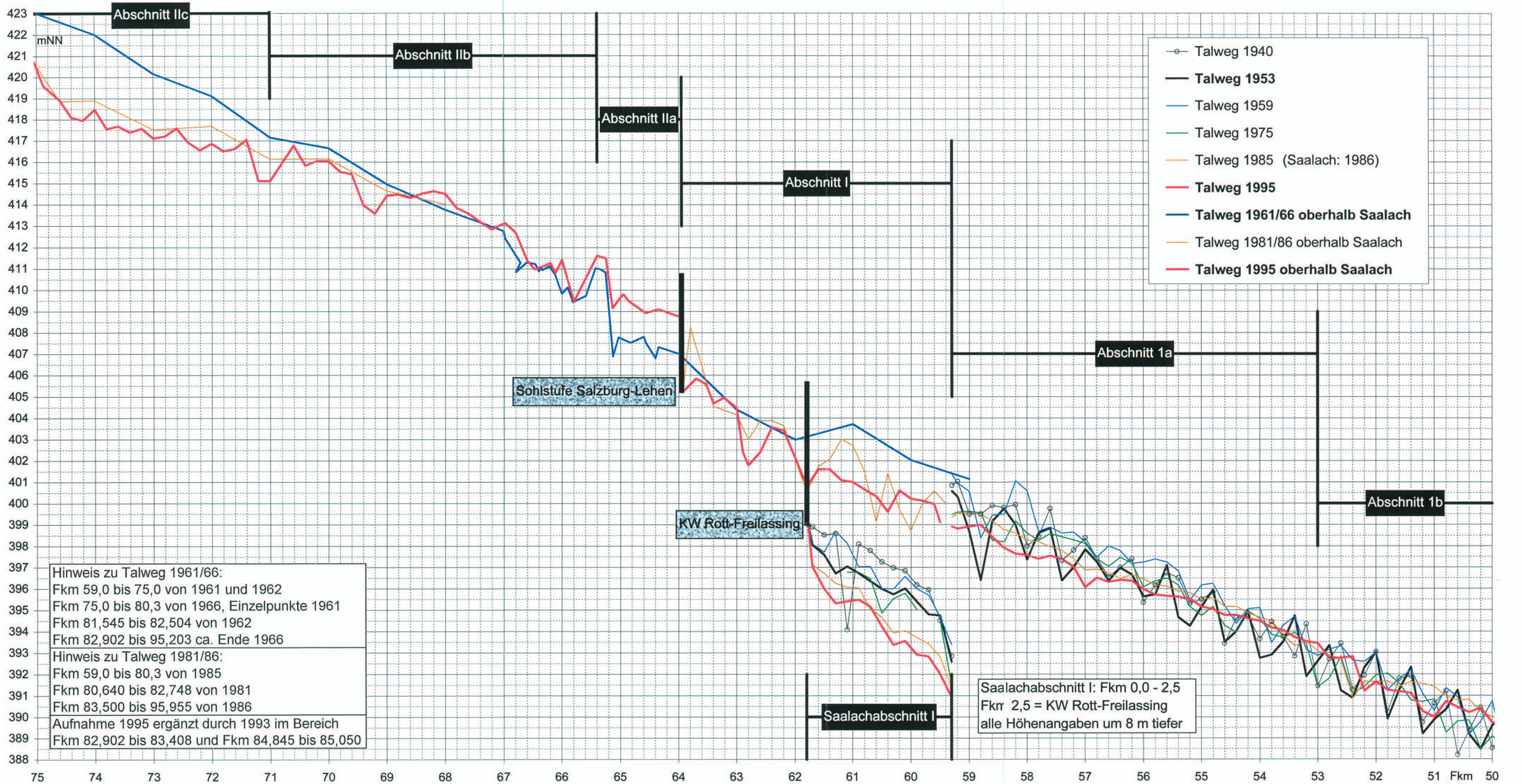
Anlage 19.1 - 19.4


370
mNN
369
368
367
366
365
364
363
362
361
360
359
358
357
356
355
354
353
352
351
350
349
348
347
346
345
344
343
342
341
340
339
338
337
336
335
Abschnitt 3c
Abschnitt 4a
Abschnitt 4b
Abschnitt 5a
Abschnitt 5b
Talweg 1940
Talweg 1953
Talweg 1959
Talweg 1975
Talweg 1985
Talweg 1995
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Fkm
0

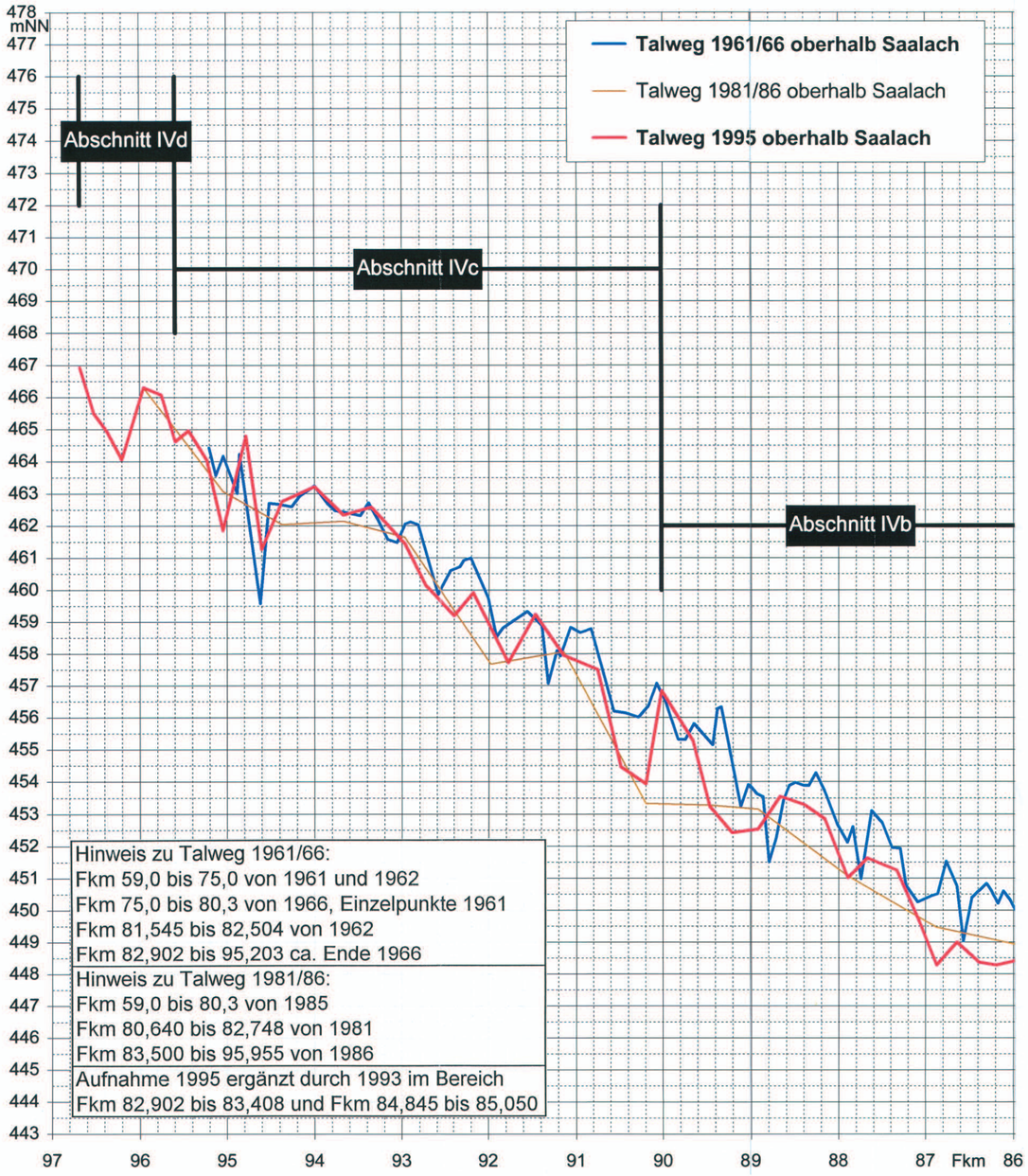
Anlage 19.1

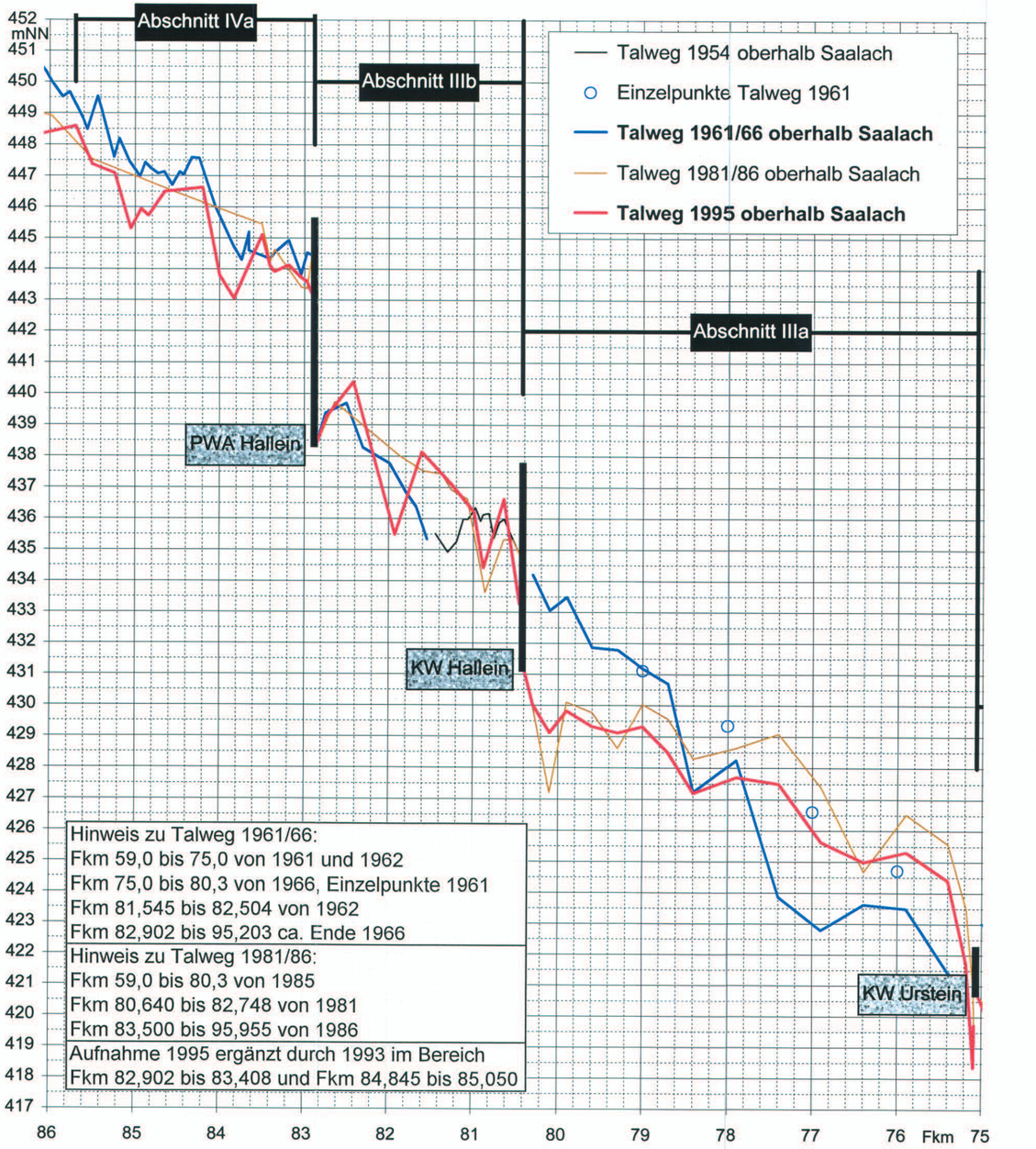
Abschnitt 1b
Abschnitt 2
Abschnitt 3a
Abschnitt 3b
Abschnitt 3c
Talweg 1940
Talweg 1953
Talweg 1959
Talweg 1975
Talweg 1985
Talweg 1995
395 mNN
394
393
392
391
390
389
388
387
386
385
384
383
382
381
380
379
378
377
376
375
374
373
372
371
370
369
368
367
366
365
364
363
362
361
360
50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 Fkm 25

Anlage 19.2


Abschnitt IIc
Abschnitt IIb
Abschnitt IIa
Abschnitt I
Abschnitt 1a
Abschnitt 1b
Sohlstufe Salzburg-Lehen
KW Rott-Freilassing
Saalachabschnitt I
mNN
423
422
421
420
419
418
417
416
415
414
413
412
411
410
409
408
407
406
405
404
403
402
401
400
399
398
397
396
395
394
393
392
391
390
389
388
75
74
73
72
71
70
69
68
67
66
65
64
63
62
61
60
59
58
57
56
55
54
53
52
51
Fkm
50
Talweg 1940
Talweg 1953
Talweg 1959
Talweg 1975
Talweg 1985 (Saalach: 1986)
Talweg 1995
Talweg 1961/66 oberhalb Saalach
Talweg 1981/86 oberhalb Saalach
Talweg 1995 oberhalb Saalach
Hinweis zu Talweg 1961/66:
Fkm 59,0 bis 75,0 von 1961 und 1962
Fkm 75,0 bis 80,3 von 1966, Einzelpunkte 1961
Fkm 81,545 bis 82,504 von 1962
Fkm 82,902 bis 95,203 ca. Ende 1966
Hinweis zu Talweg 1981/86:
Fkm 59,0 bis 80,3 von 1985
Fkm 80,640 bis 82,748 von 1981
Fkm 83,500 bis 95,955 von 1986
Aufnahme 1995 ergänzt durch 1993 im Bereich
Fkm 82,902 bis 83,408 und Fkm 84,845 bis 85,050
Saalachabschnitt I: Fkm 0,0 - 2,5
Fkm 2,5 = KW Rott-Freilassing
alle Höhenangaben um 8 m tiefer

Anlage 19.3


mNN
Talweg 1961/66 oberhalb Saalach
Talweg 1981/86 oberhalb Saalach
Talweg 1995 oberhalb Saalach
Abschnitt IVd
Abschnitt IVc
Abschnitt IVb
Hinweis zu Talweg 1961/66:
Fkm 59,0 bis 75,0 von 1961 und 1962
Fkm 75,0 bis 80,3 von 1966, Einzelpunkte 1961
Fkm 81,545 bis 82,504 von 1962
Fkm 82,902 bis 95,203 ca. Ende 1966
Hinweis zu Talweg 1981/86:
Fkm 59,0 bis 80,3 von 1985
Fkm 80,640 bis 82,748 von 1981
Fkm 83,500 bis 95,955 von 1986
Aufnahme 1995 ergänzt durch 1993 im Bereich
Fkm 82,902 bis 83,408 und Fkm 84,845 bis 85,050
Fkm

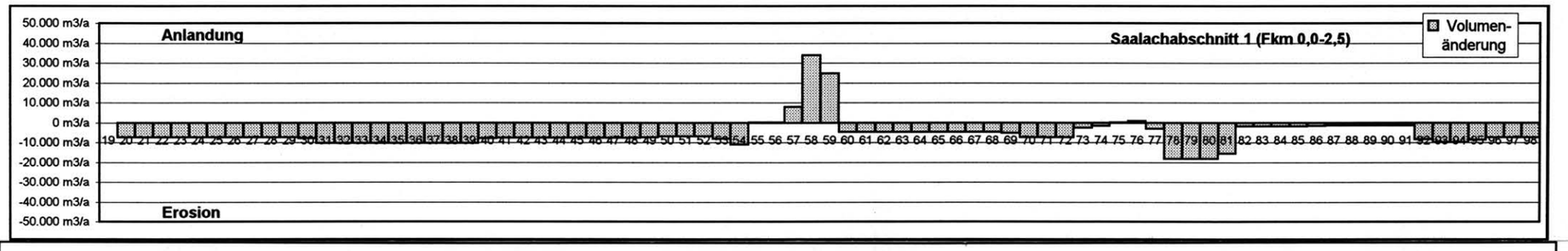

mNN
Abschnitt IVa
Abschnitt IIIb
Talweg 1954 oberhalb Saalach
Einzelpunkte Talweg 1961
Talweg 1961/66 oberhalb Saalach
Talweg 1981/86 oberhalb Saalach
Talweg 1995 oberhalb Saalach
Abschnitt IIIa
PWA Hallein
KW Hallein
KW Urstein
Hinweis zu Talweg 1961/66:
Fkm 59,0 bis 75,0 von 1961 und 1962
Fkm 75,0 bis 80,3 von 1966, Einzelpunkte 1961
Fkm 81,545 bis 82,504 von 1962
Fkm 82,902 bis 95,203 ca. Ende 1966
Hinweis zu Talweg 1981/86:
Fkm 59,0 bis 80,3 von 1985
Fkm 80,640 bis 82,748 von 1981
Fkm 83,500 bis 95,955 von 1986
Aufnahme 1995 ergänzt durch 1993 im Bereich
Fkm 82,902 bis 83,408 und Fkm 84,845 bis 85,050
Fkm

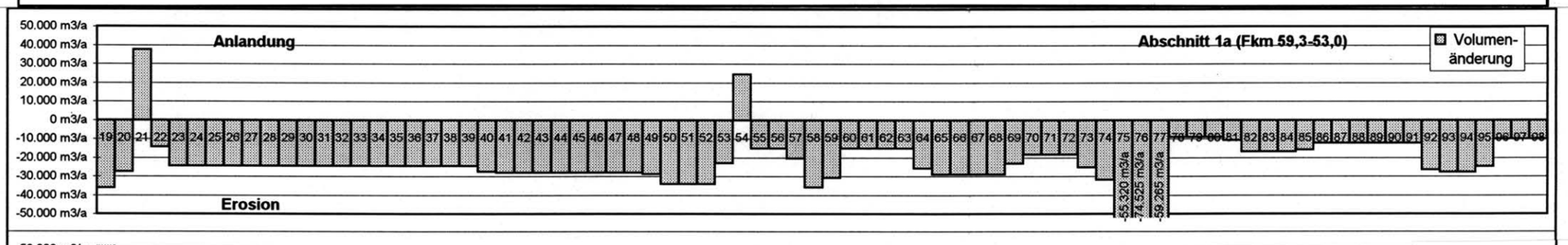
Anlage 19.4

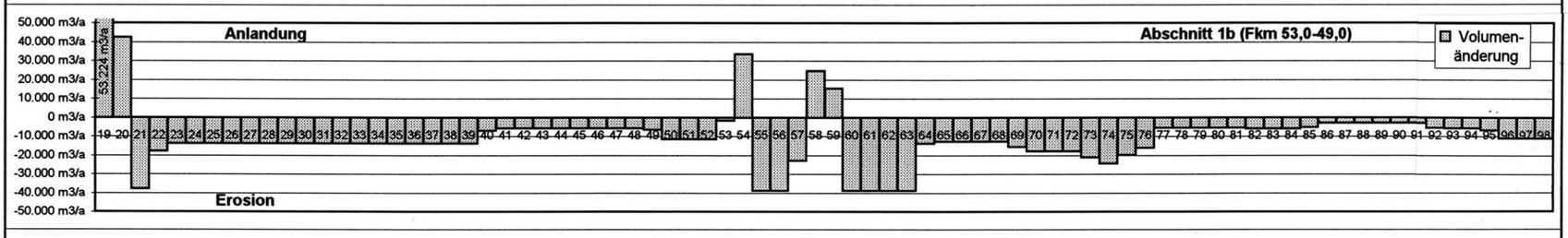
Ergebnisse der Querschnittsverarbeitung,

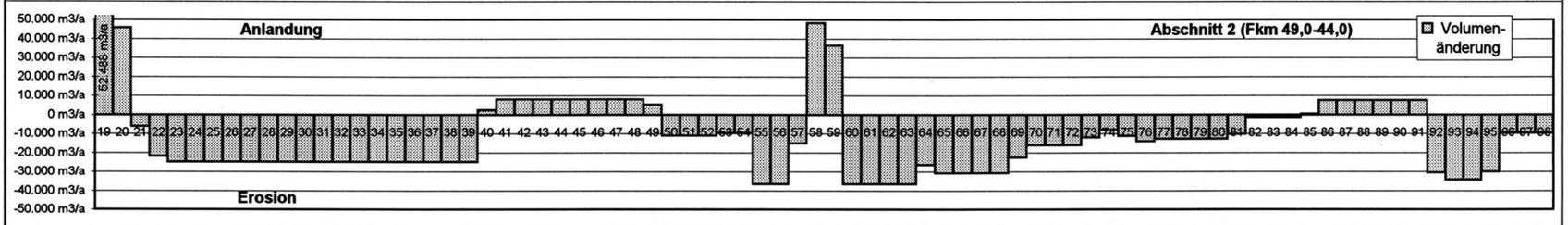
Massensummenlinien

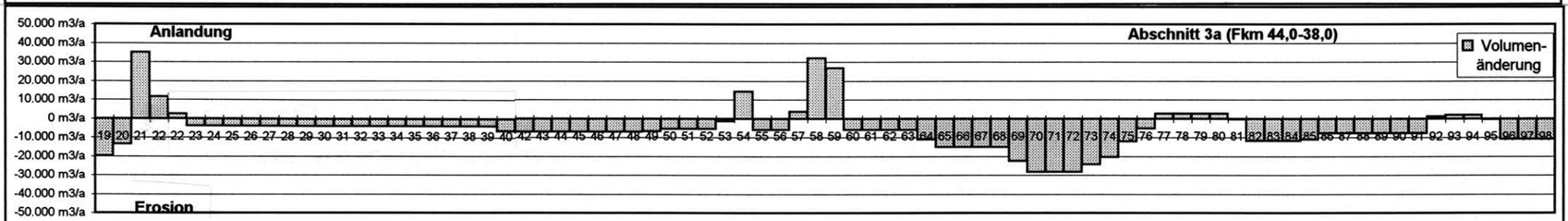
Anlage 20.1 - 20.9

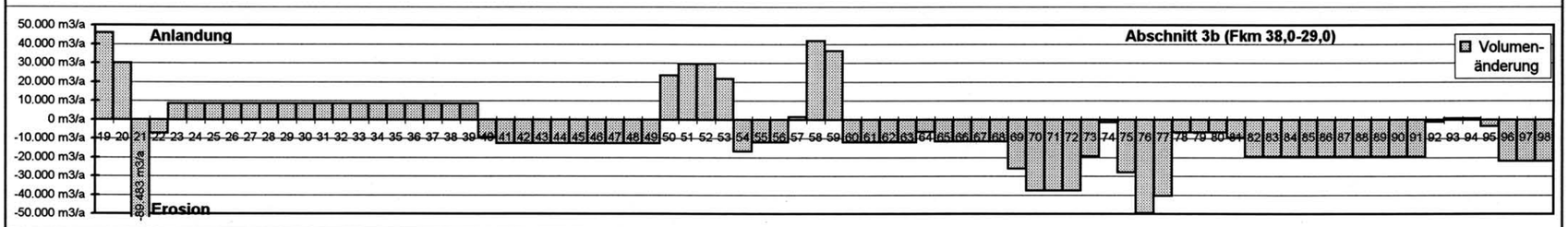

Anlandung
Saalachabschnitt 1 (Fkm 0,0-2,5)
Volumen-änderung
Erosion

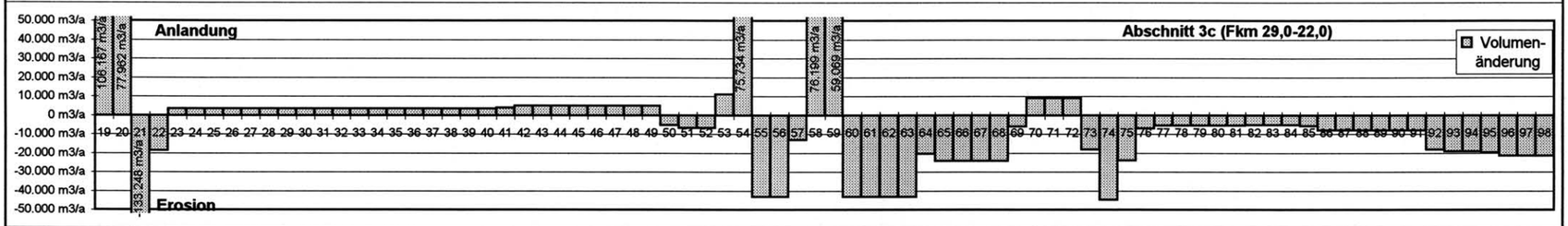

Anlandung
Abschnitt 1a (Fkm 59,3-53,0)
Volumen-änderung
-55.320 m3/a
-74.525 m3/a
-59.265 m3/a
Erosion

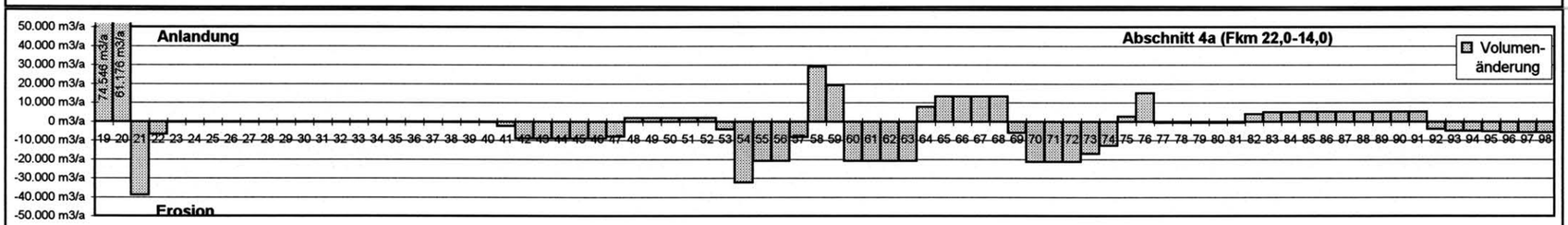

Anlandung
Abschnitt 1b (Fkm 53,0-49,0)
Volumen-änderung
53.224 m3/a
Erosion

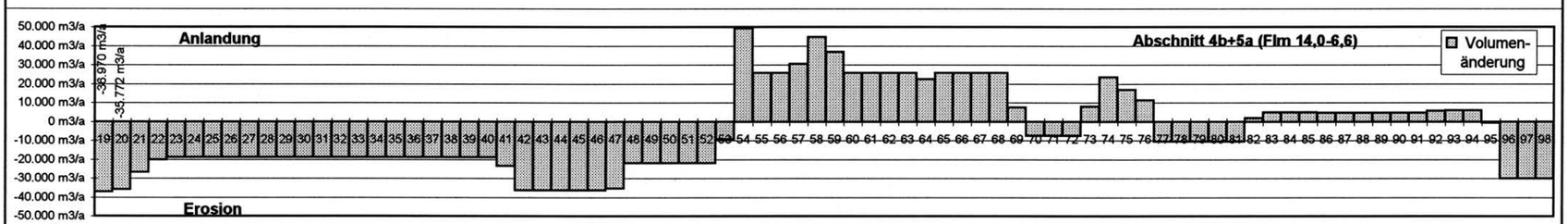

Anlandung
Abschnitt 2 (Fkm 49,0-44,0)
Volumen-änderung
52.483 m3/a
Erosion

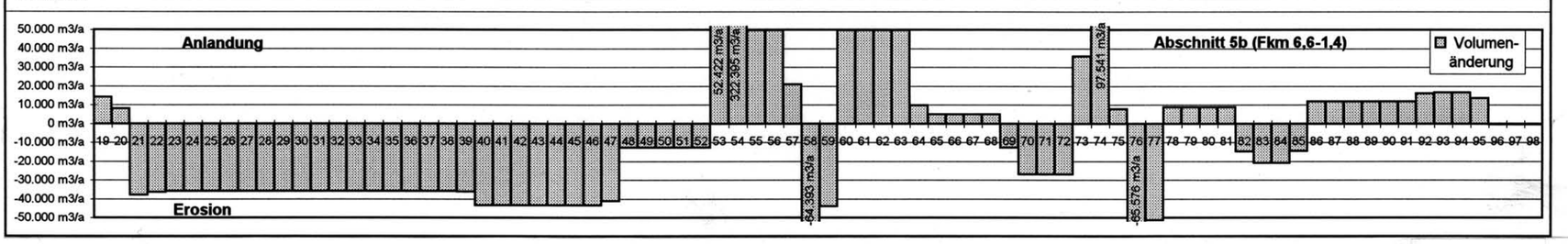

Anlandung
Abschnitt 3a (Fkm 44,0-38,0)
Volumen-änderung
Erosion


Anlandung
Abschnitt 3b (Fkm 38,0-29,0)
Volumen-änderung
-89.483 m3/a
Erosion

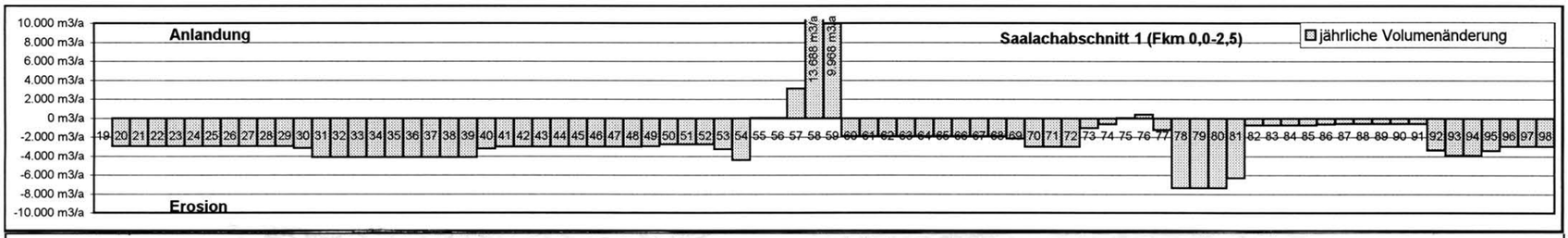

Anlandung
Abschnitt 3c (Fkm 29,0-22,0)
Volumen-änderung
106.187 m3/a
77.962 m3/a
-133.248 m3/a
75.734 m3/a
76.199 m3/a
59.669 m3/a
Erosion

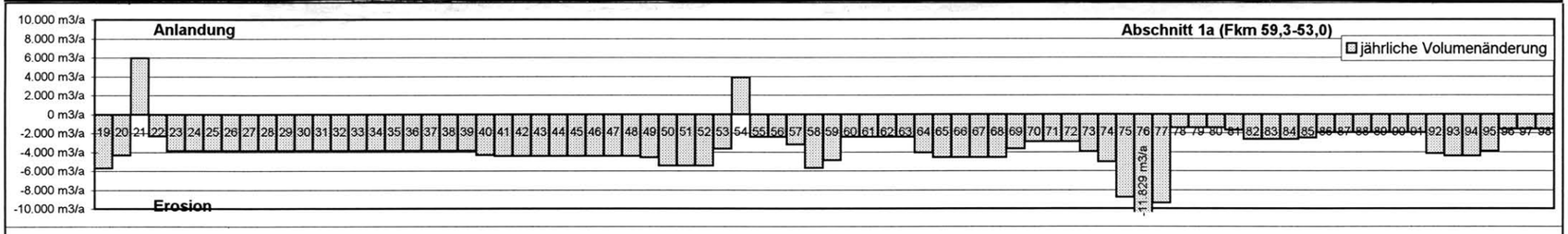

Anlandung
Abschnitt 4a (Fkm 22,0-14,0)
Volumen-änderung
74.546 m3/a
81.176 m3/a
Erosion

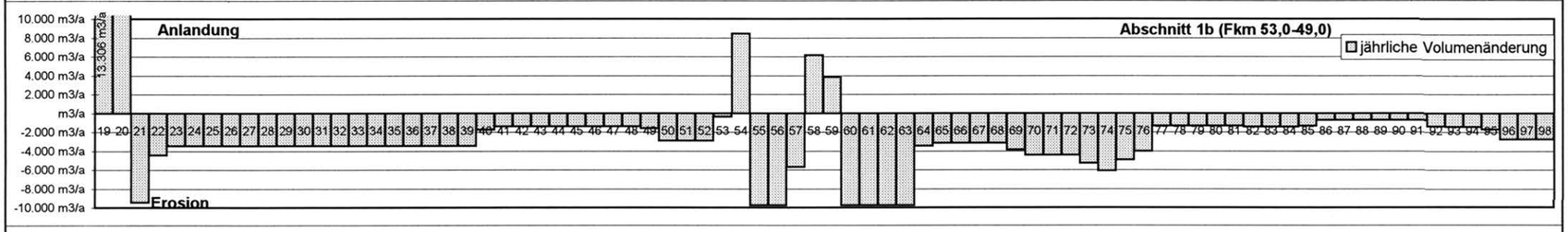

Anlandung
Abschnitt 4b+5a (Flm 14,0-6,6)
Volumen-änderung
-36.970 m3/a
-35.772 m3/a
Erosion

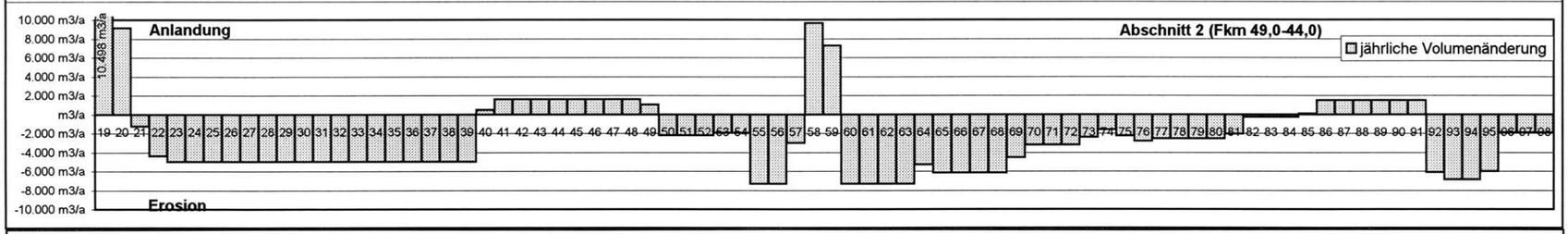

Anlandung
Abschnitt 5b (Fkm 6,6-1,4)
Volumen-änderung
52.422 m3/a
322.385 m3/a
-84.393 m3/a
97.541 m3/a
-85.576 m3/a
Erosion

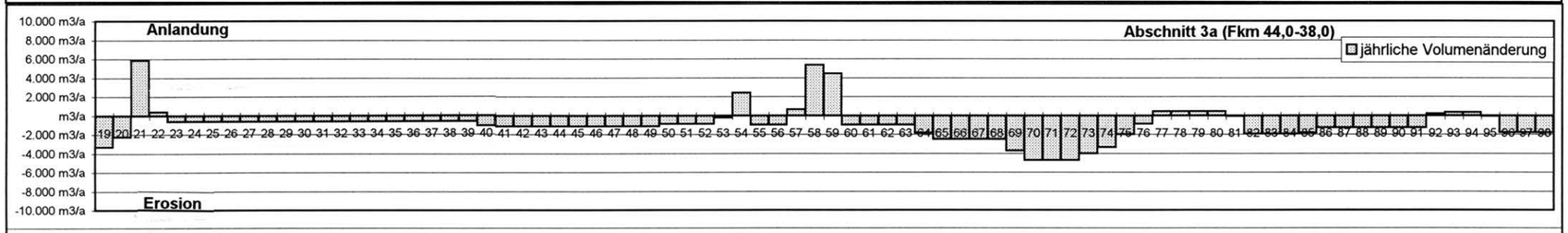
Anlage 20.1

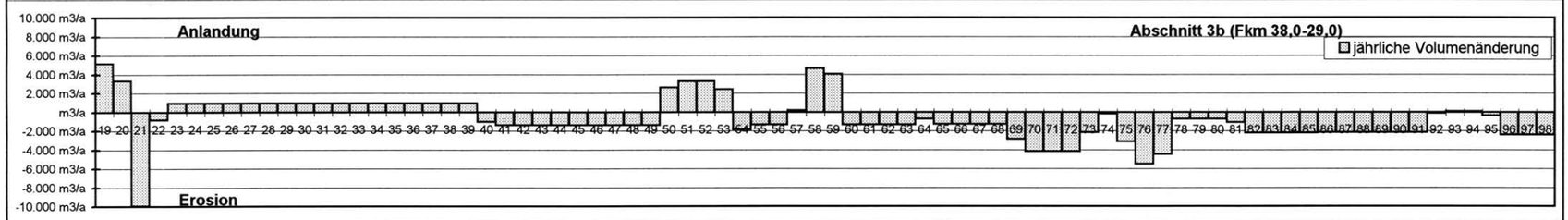

Anlandung
Erosion
Saalachabschnitt 1 (Fkm 0,0-2,5)
jährliche Volumenänderung
13.688 m3/a
9.966 m3/a

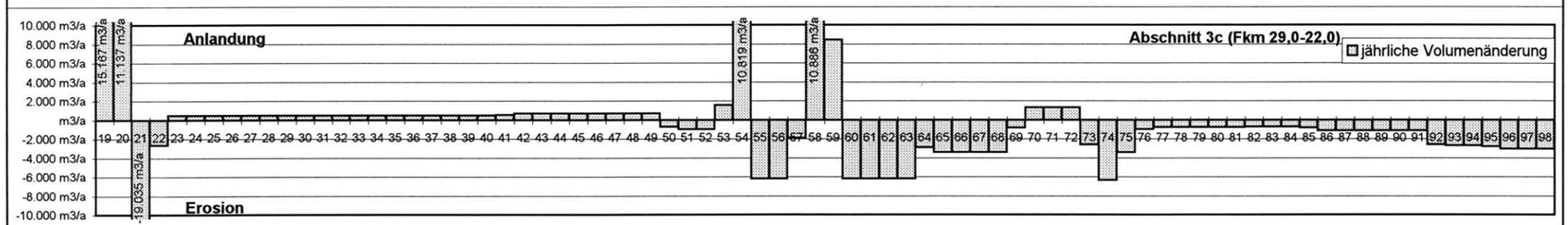

Anlandung
Erosion
Abschnitt 1a (Fkm 59,3-53,0)
jährliche Volumenänderung
-11.829 m3/a

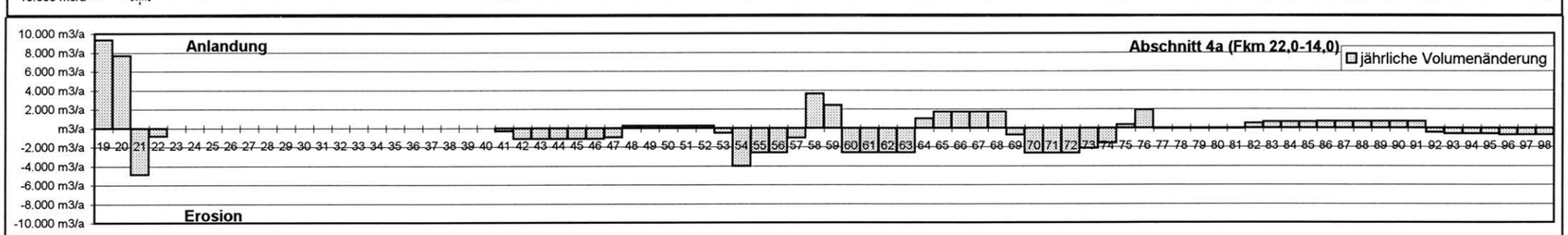

Anlandung
Erosion
Abschnitt 1b (Fkm 53,0-49,0)
jährliche Volumenänderung
13.306 m3/a

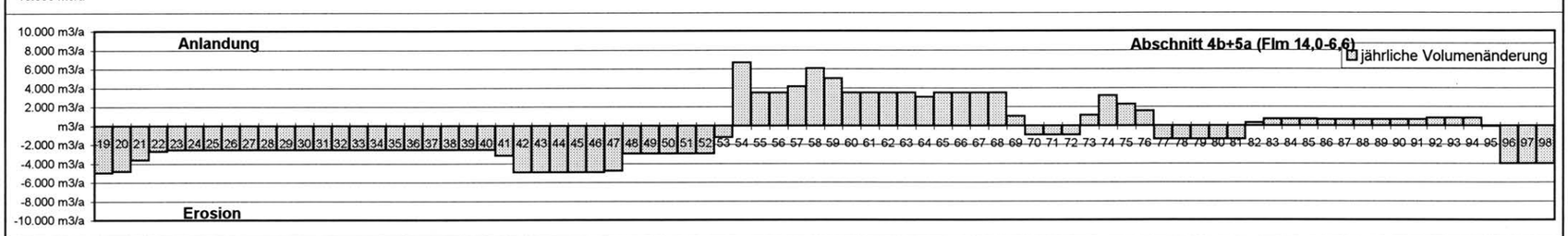

Anlandung
Erosion
Abschnitt 2 (Fkm 49,0-44,0)
jährliche Volumenänderung
10.498 m3/a

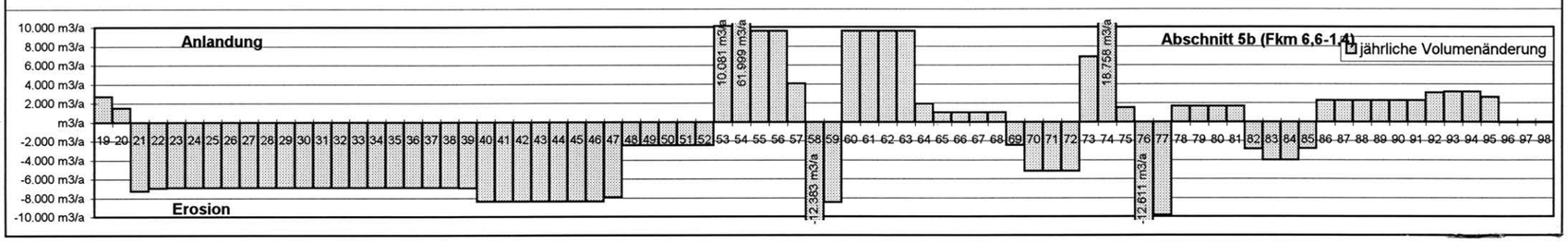

Anlandung
Erosion
Abschnitt 3a (Fkm 44,0-38,0)
jährliche Volumenänderung


Anlandung
Erosion
Abschnitt 3b (Fkm 38,0-29,0)
jährliche Volumenänderung

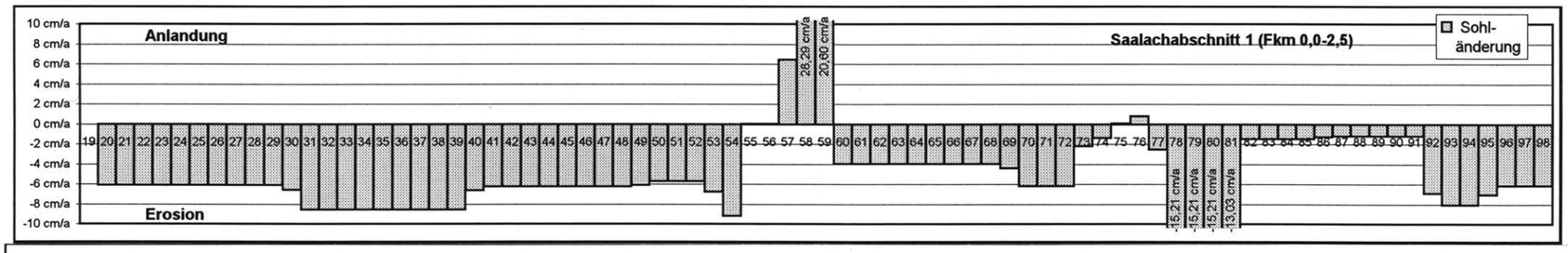

Anlandung
Erosion
Abschnitt 3c (Fkm 29,0-22,0)
jährliche Volumenänderung
15.187 m3/a
11.137 m3/a
-19.035 m3/a
10.819 m3/a
10.886 m3/a

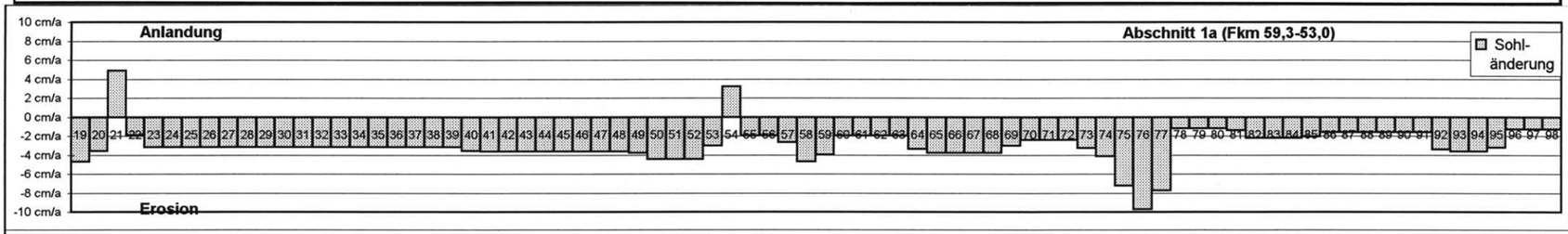

Anlandung
Erosion
Abschnitt 4a (Fkm 22,0-14,0)
jährliche Volumenänderung

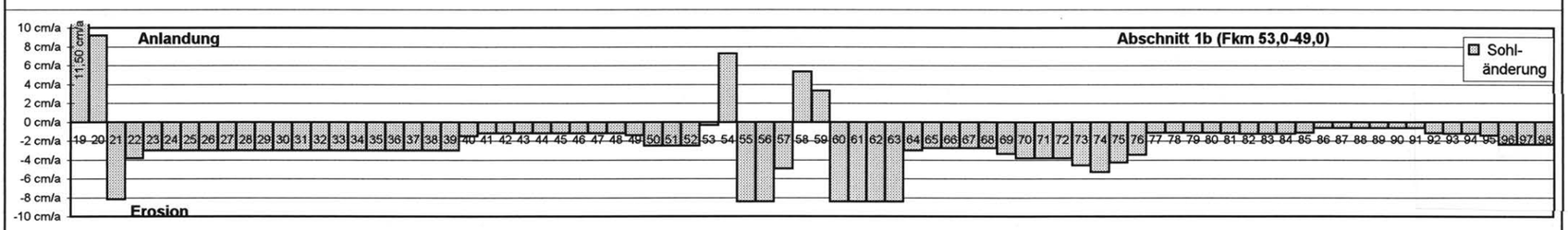

Anlandung
Erosion
Abschnitt 4b+5a (Flm 14,0-6,6)
jährliche Volumenänderung

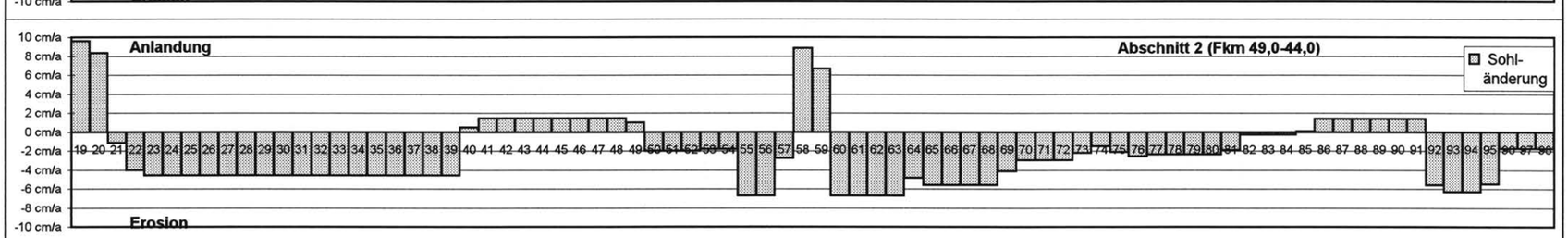

Anlandung
Erosion
Abschnitt 5b (Fkm 6,6-1,4)
jährliche Volumenänderung
10.081 m3/a
61.999 m3/a
-12.383 m3/a
18.758 m3/a
-12.611 m3/a

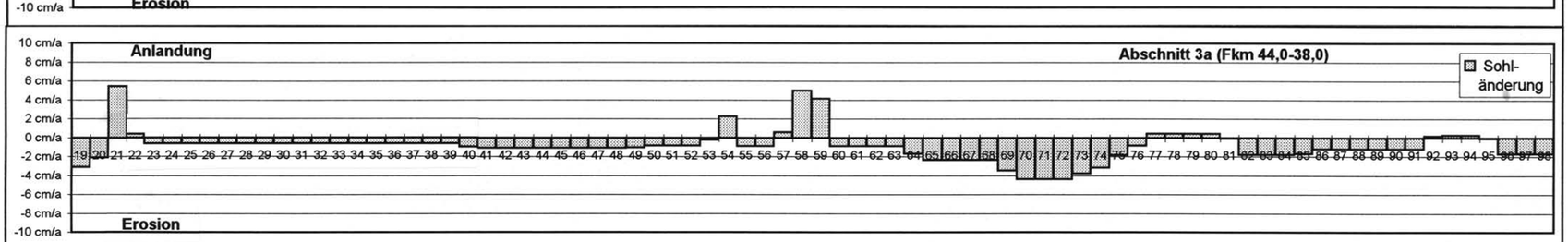
Anlage 20.2

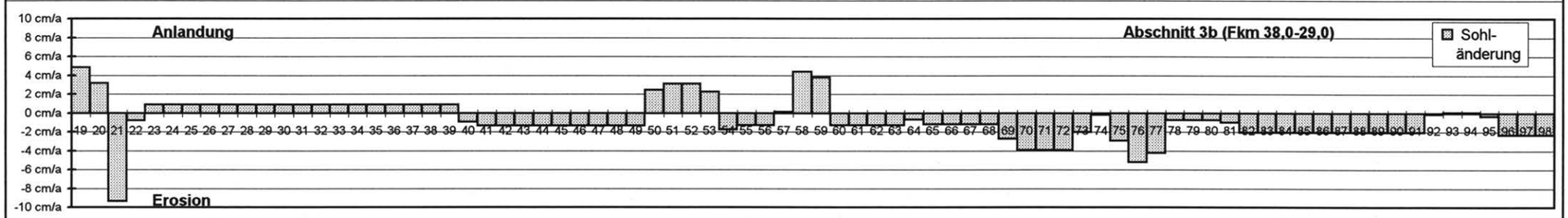

Anlandung
Erosion
Saalachabschnitt 1 (Fkm 0,0-2,5)
Sohl-änderung
28,29 cm/a
20,60 cm/a
-15,21 cm/a
-15,21 cm/a
-15,21 cm/a
-13,03 cm/a

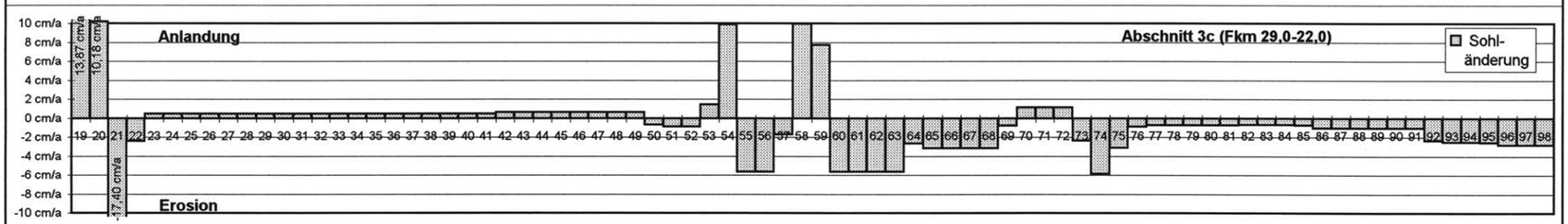

Anlandung
Erosion
Abschnitt 1a (Fkm 59,3-53,0)
Sohl-änderung

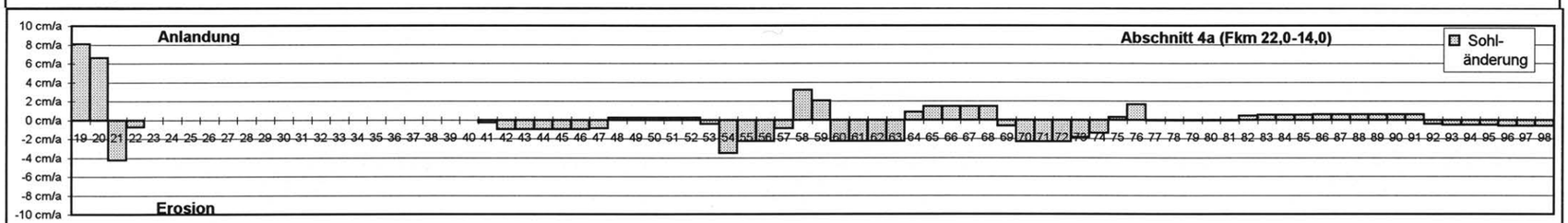

Anlandung
Erosion
Abschnitt 1b (Fkm 53,0-49,0)
Sohl-änderung
11,50 cm/a

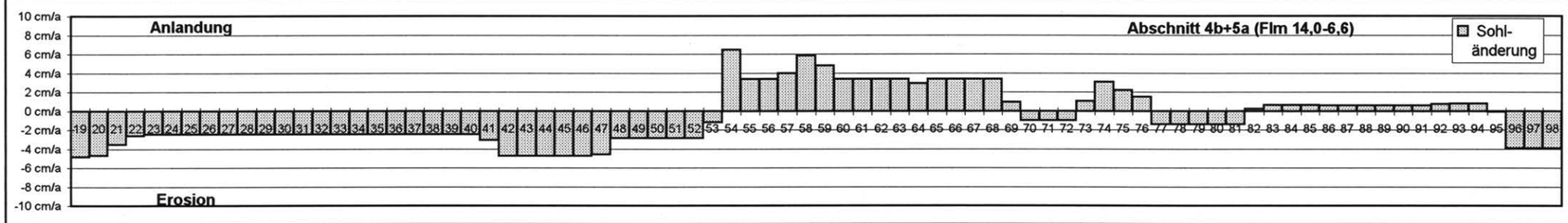

Anlandung
Erosion
Abschnitt 2 (Fkm 49,0-44,0)
Sohl-änderung

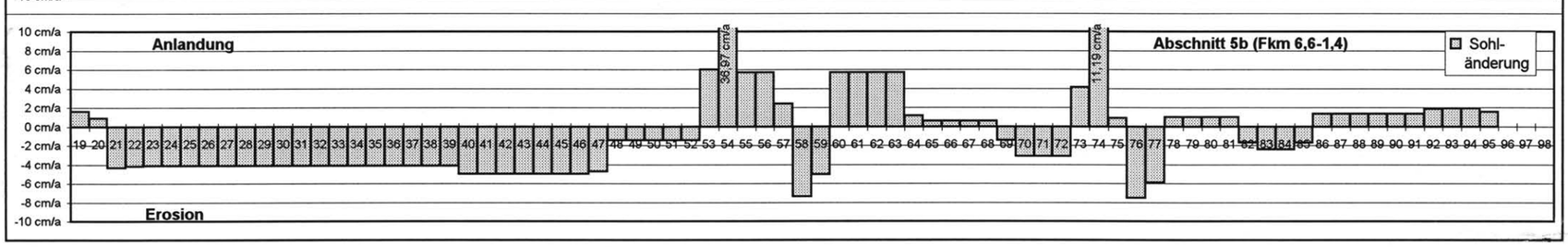

Anlandung
Erosion
Abschnitt 3a (Fkm 44,0-38,0)
Sohl-änderung


Anlandung
Erosion
Abschnitt 3b (Fkm 38,0-29,0)
Sohl-änderung


Anlandung
Erosion
Abschnitt 3c (Fkm 29,0-22,0)
Sohl-änderung
13,87 cm/a
10,18 cm/a
-17,40 cm/a


Anlandung
Erosion
Abschnitt 4a (Fkm 22,0-14,0)
Sohl-änderung


Anlandung
Erosion
Abschnitt 4b+5a (Flm 14,0-6,6)
Sohl-änderung


Anlandung
Erosion
Abschnitt 5b (Fkm 6,6-1,4)
Sohl-änderung
36,97 cm/a
11,19 cm/a

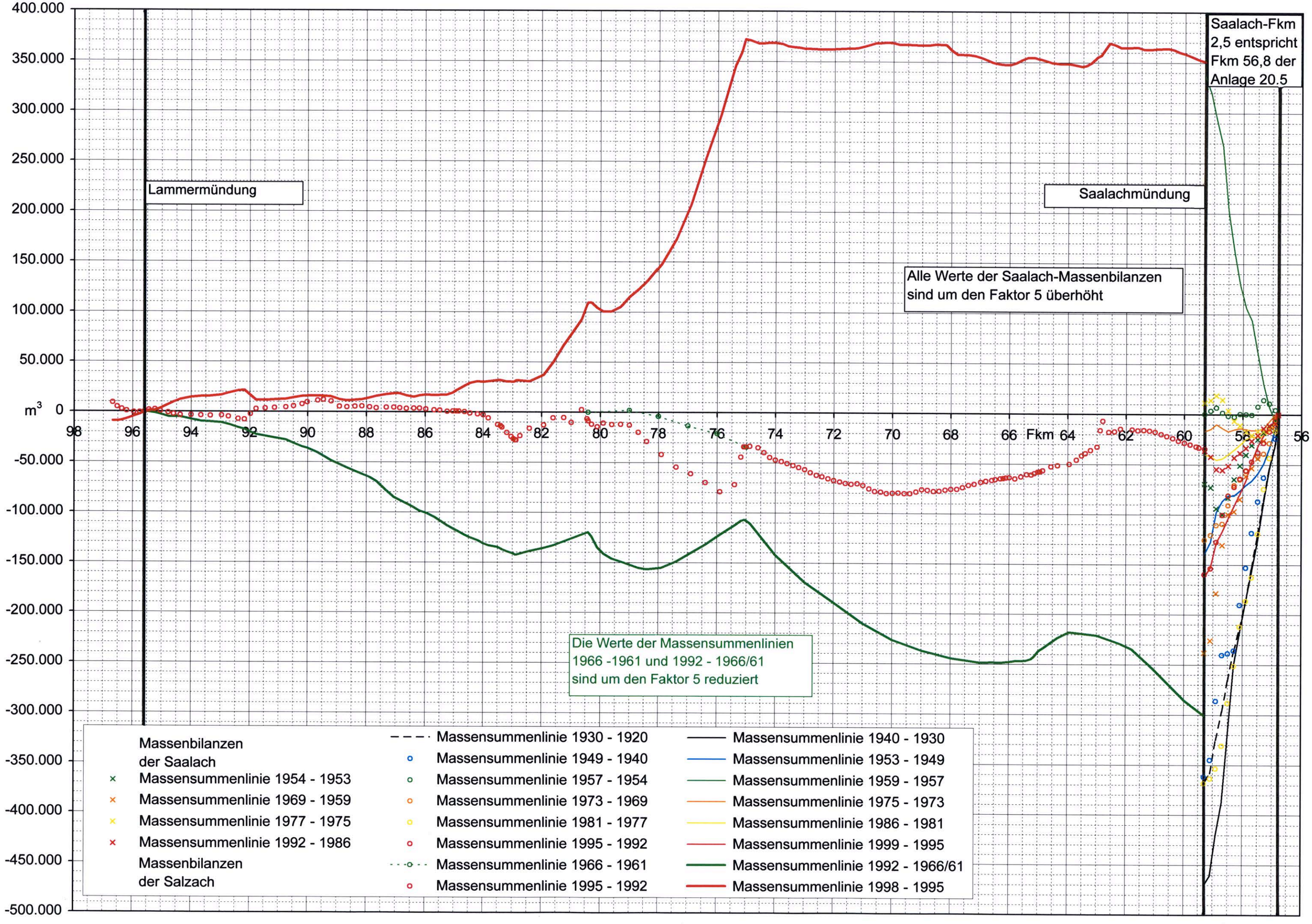
Anlage 20.3

600.000
500.000
400.000
300.000
200.000
100.000
m³ 0
-100.000
-200.000
-300.000
-400.000
-500.000
-600.000
-700.000
-800.000
-900.000
-1.000.000
-1.100.000
-1.200.000
-1.300.000
-1.400.000
-1.500.000
-1.600.000
-1.700.000
-1.800.000
-1.900.000

60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 Fkm 0

Massensummenlinie 1920 - 1919
Massensummenlinie 1922 - 1920
Massensummenlinie 1940 - 1922
Massensummenlinie 1949 - 1940
Massensummenlinie 1953 - 1949
Massensummenlinie 1954 - 1953
Massensummenlinie 1957 - 1954
Massensummenlinie 1959 - 1957
Massensummenlinie 1964 - 1959
Massensummenlinie 1969 - 1964
Massensummenlinie 1973 - 1969
Massensummenlinie 1975 - 1973
Massensummenlinie 1977 - 1975
Massensummenlinie 1981 - 1977
Massensummenlinie 1985 - 1981
Massensummenlinie 1992 - 1985
Massensummenlinie 1995 - 1992
Massensummenlinie 1998 - 1995

Anlage 20.4


400.000
350.000
300.000
250.000
200.000
150.000
100.000
50.000
m³ 0
-50.000
-100.000
-150.000
-200.000
-250.000
-300.000
-350.000
-400.000
-450.000
-500.000
98 96 94 92 90 88 86 84 82 80 78 76 74 72 70 68 66 Fkm 64 62 60 58 56
Lammermündung
Saalachmündung
Saalach-Fkm 2,5 entspricht Fkm 56,8 der Anlage 20.5
Alle Werte der Saalach-Massenbilanzen sind um den Faktor 5 überhöht
Die Werte der Massensummenlinien 1966 -1961 und 1992 - 1966/61 sind um den Faktor 5 reduziert
Massenbilanzen der Saalach
Massenbilanzen der Salzach
Massensummenlinie 1954 - 1953
Massensummenlinie 1969 - 1959
Massensummenlinie 1977 - 1975
Massensummenlinie 1992 - 1986
Massensummenlinie 1930 - 1920
Massensummenlinie 1949 - 1940
Massensummenlinie 1957 - 1954
Massensummenlinie 1973 - 1969
Massensummenlinie 1981 - 1977
Massensummenlinie 1995 - 1992
Massensummenlinie 1966 - 1961
Massensummenlinie 1995 - 1992
Massensummenlinie 1940 - 1930
Massensummenlinie 1953 - 1949
Massensummenlinie 1959 - 1957
Massensummenlinie 1975 - 1973
Massensummenlinie 1986 - 1981
Massensummenlinie 1999 - 1995
Massensummenlinie 1992 - 1966/61
Massensummenlinie 1998 - 1995

Anlage 20.5

60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 Fkm 0

m^3

$10 * m^3/a$

0
-100.000
-200.000
-300.000
-400.000
-500.000
-600.000
-700.000
-800.000
-900.000
-1.000.000
-1.100.000
-1.200.000
-1.300.000
-1.400.000
-1.500.000
-1.600.000
-1.700.000
-1.800.000
-1.900.000
-2.000.000
-2.100.000
-2.200.000
-2.300.000
-2.400.000
-2.500.000

Bilanzierungsversuch
1919-1855 unterhalb
Fkm 33 um +1.500.000
Kubikmeter versetzt

Hinweis: Die jährlichen Mittelwerte der Massensummenlinien sind um den Faktor 10 überhöht.

- Bilanzversuch Gesamtzeitraum 1919-1855
- Bilanzversuch jährlicher Mittelwert im Zeitraum 1919-1855
- Massensummenlinie Gesamtzeitraum 1954-1919
- jährlicher Mittelwert Massensummenlinie 1954-1919
- Massensummenlinie Gesamtzeitraum 1977-1954
- jährlicher Mittelwert Massensummenlinie 1977-1954
- Massensummenlinie Gesamtzeitraum 1998-1977
- jährlicher Mittelwert Massensummenlinie 1998-1977

Anlage 20.6

70.000
60.000
50.000
40.000
30.000
20.000
10.000
m^3/a 0
-10.000
-20.000
-30.000
-40.000
-50.000
-60.000
-70.000
-80.000
-90.000
-100.000
-110.000
-120.000
-130.000

60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2Fkm 0

Erosionsrate -2.000 $m^3/km \cdot a$

Erosionsrate -4.000 $m^3/km \cdot a$

mittlere jährliche Massensummenlinie 1922 - 1919
mittlere jährliche Massensummenlinie 1940 - 1922
mittlere jährliche Massensummenlinie 1953 - 1940
mittlere jährliche Massensummenlinie 1964 - 1953
mittlere jährliche Massensummenlinie 1975 - 1964
mittlere jährliche Massensummenlinie 1985 - 1975
mittlere jährliche Massensummenlinie 1995 - 1985
mittlere jährliche Massensummenlinie 1998 - 1995

Anlage 20.7

mittlere jährliche Massen-
summenlinie 1998 - 1995
unterhalb Fkm 75,062 um
100.000 m^3/a versetzt

Saalach-Fkm
2,5 entspricht
Fkm 56,8 der
Anlage 20.8

Lammermündung

Saalachmündung

Alle Werte der Saalach-Massenbilanzen
sind um den Faktor 5 überhöht

Datenlücke

Datenlücke

m^3/a

25.000 20.000 15.000 10.000 5.000 0 -5.000 -10.000 -15.000 -20.000 -25.000 -30.000 -35.000 -40.000 -45.000 -50.000 -55.000 -60.000 -65.000 -70.000 -75.000

98 96 94 92 90 88 86 84 82 80 78 76 74 72 70 68 66 64 62 Fkm 60 58 56

Massenbilanzen der Saalach

Massenbilanzen der Salzach

- mittlere jährliche Massensummenlinie 1930 - 1920
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1953 - 1940
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1975 - 1964
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1995 - 1986
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1966 - 1961
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1986/81 - 1966/61
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1995 - 1992
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1940 - 1930
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1964 - 1953
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1986 - 1975
- mittlere jährliche Massensummenlinie 1999 - 1995
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1992 - 1966/61
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1992 - 1986/81
- mittlere jährlicheMassensummenlinie 1998 - 1995

Anlage 20.8

60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 Fkm 0

m^3/a 0
-10.000
-20.000
-30.000
-40.000
-50.000
-60.000
-70.000
-80.000
-90.000
-100.000
-110.000
-120.000
-130.000
-140.000
-150.000

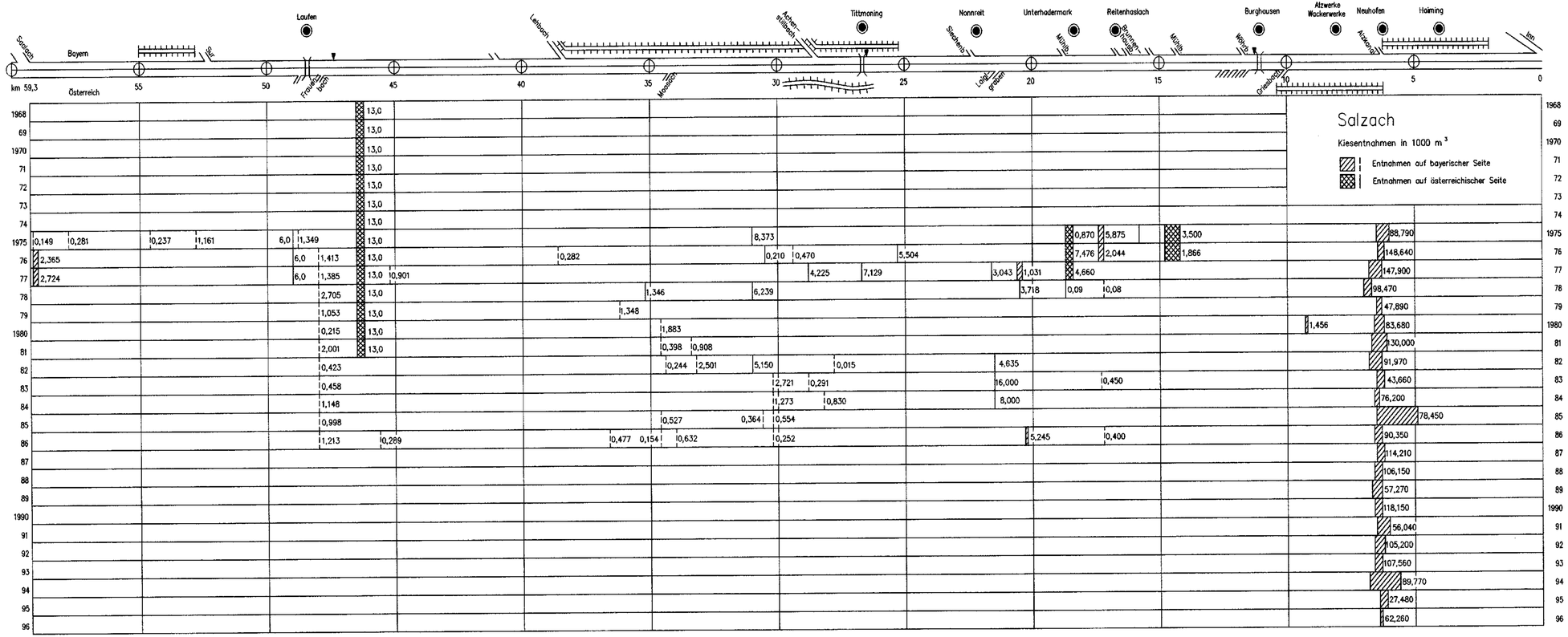
Erosionsrate -2.000 $m^3/km \cdot a$

Erosionsrate - 4.000 $m^3/km \cdot a$

mjMSL = mittlere jährliche Massensummenlinie im Zeitraum von .... bis ....

- mjMSL 1953 - 1920 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1953 - 1920 neue Lotrechtendefinition
- mjMSL 1975 - 1953 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1975 - 1953 neue Lotrechtendefinition
- mjMSL 1985 - 1975 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1985 - 1975 neue Lotrechtendefinition
- mjMSL 1995 - 1985 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1995 - 1985 neue Lotrechtendefinition
- mjMSL 1998 - 1995 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1998 - 1995 neue Lotrechtendefinition
- mjMSL 1995 - 1977 alte Lotrechtendefinition
- mjMSL 1995 - 1977 ohne Böschungsanlandungen

Anlage 20.9



Anlage 21

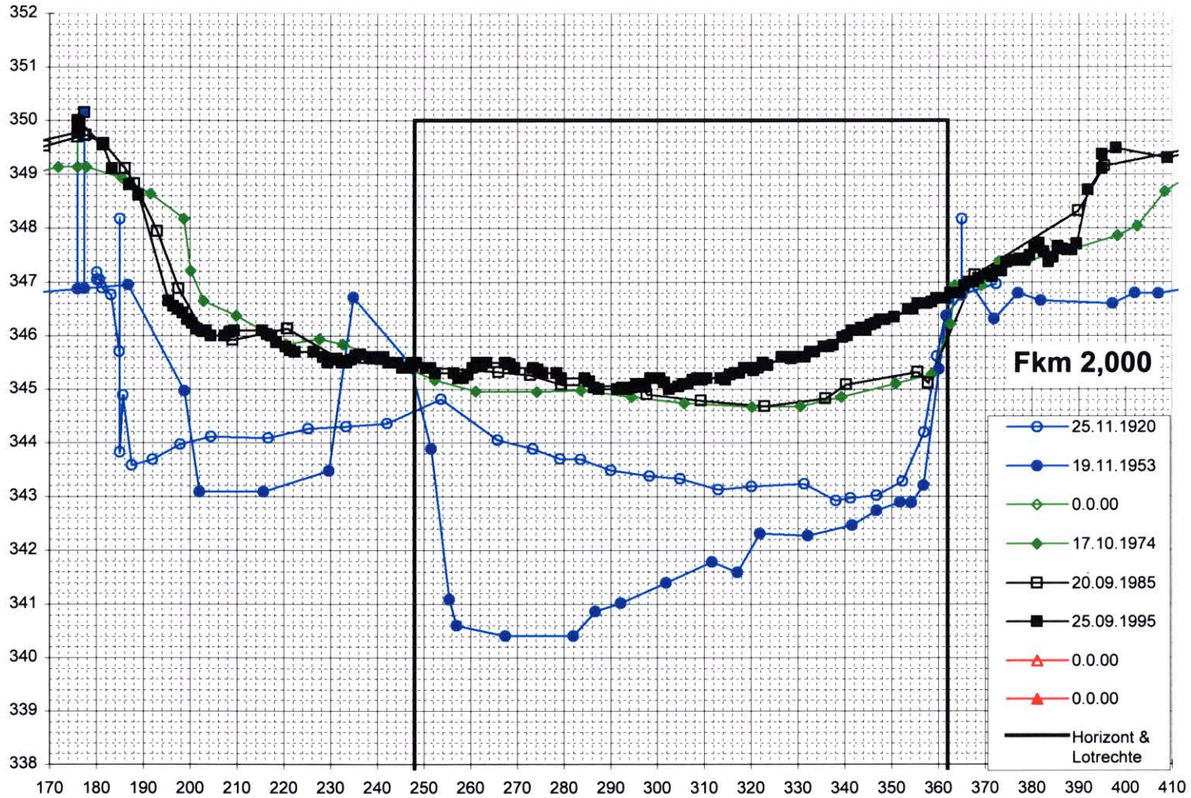
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

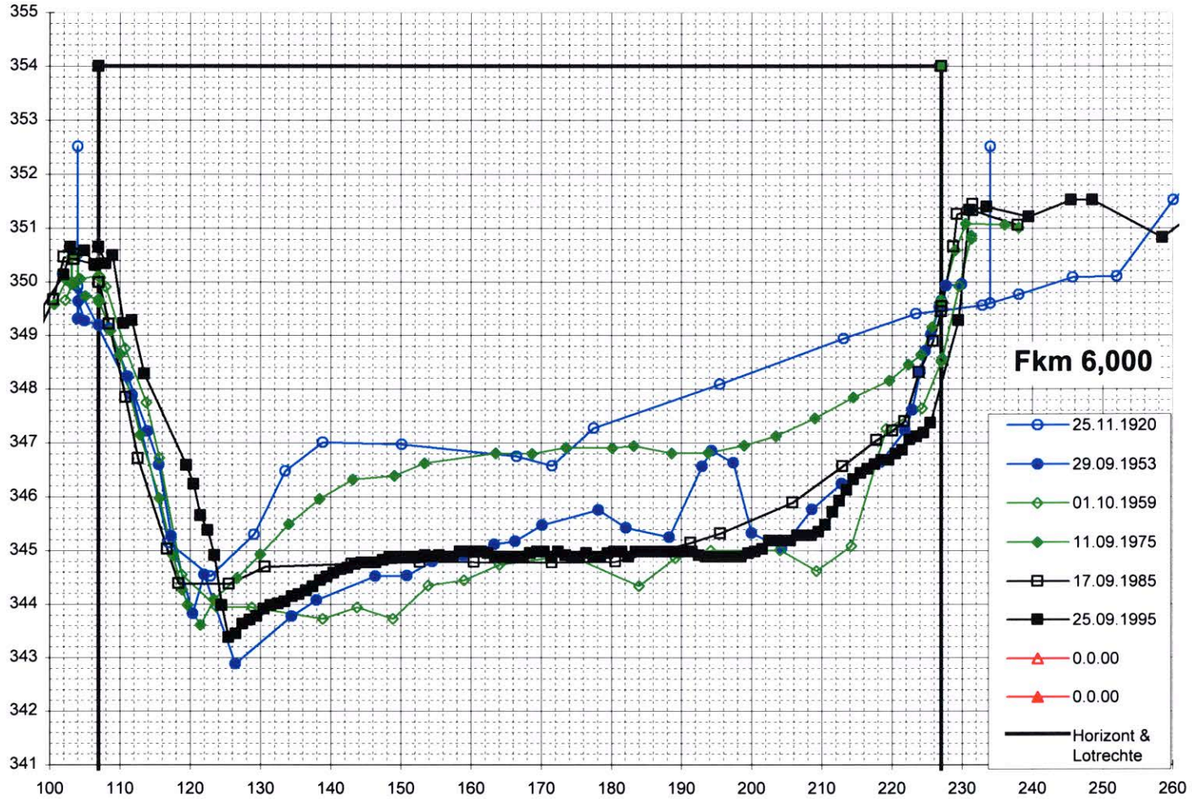
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

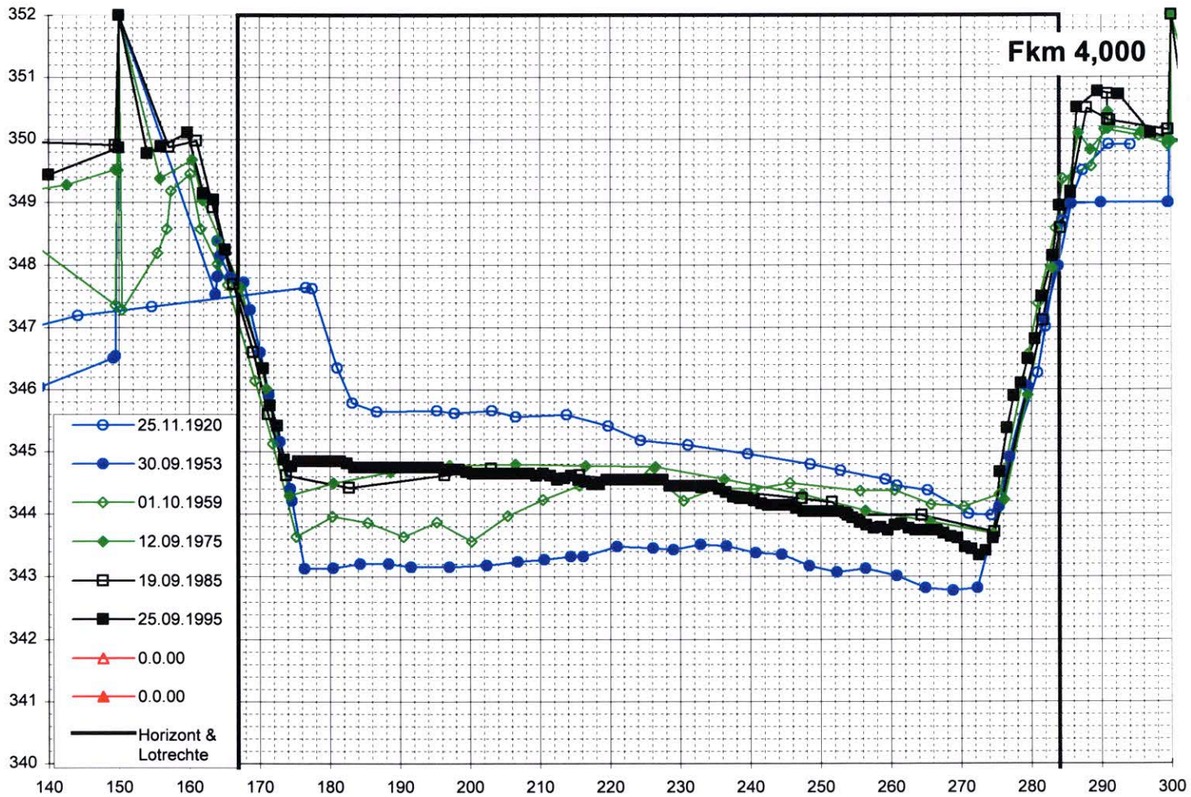
Kiesentnahmen
Fkm 59,3 - 0,0

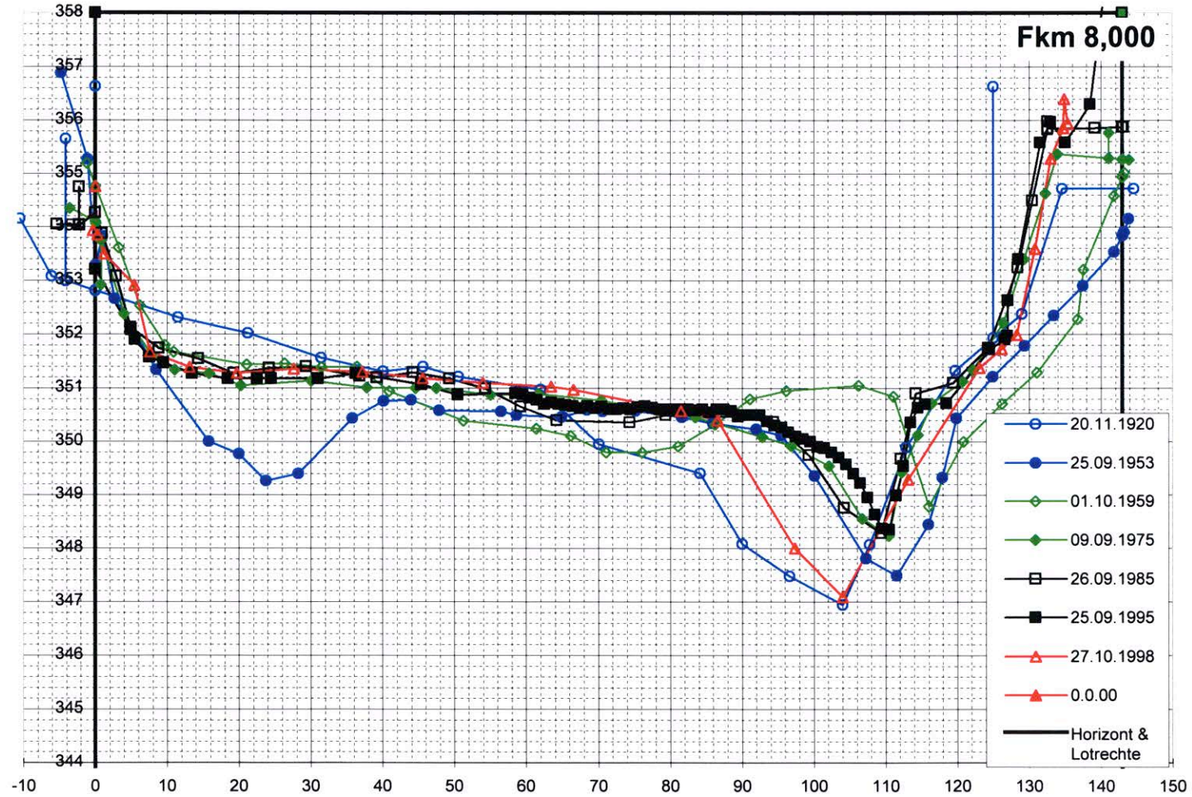
Ausgewählte Querschnitte
von Salzach und Saalach

Anlage 22.1 - 22.13

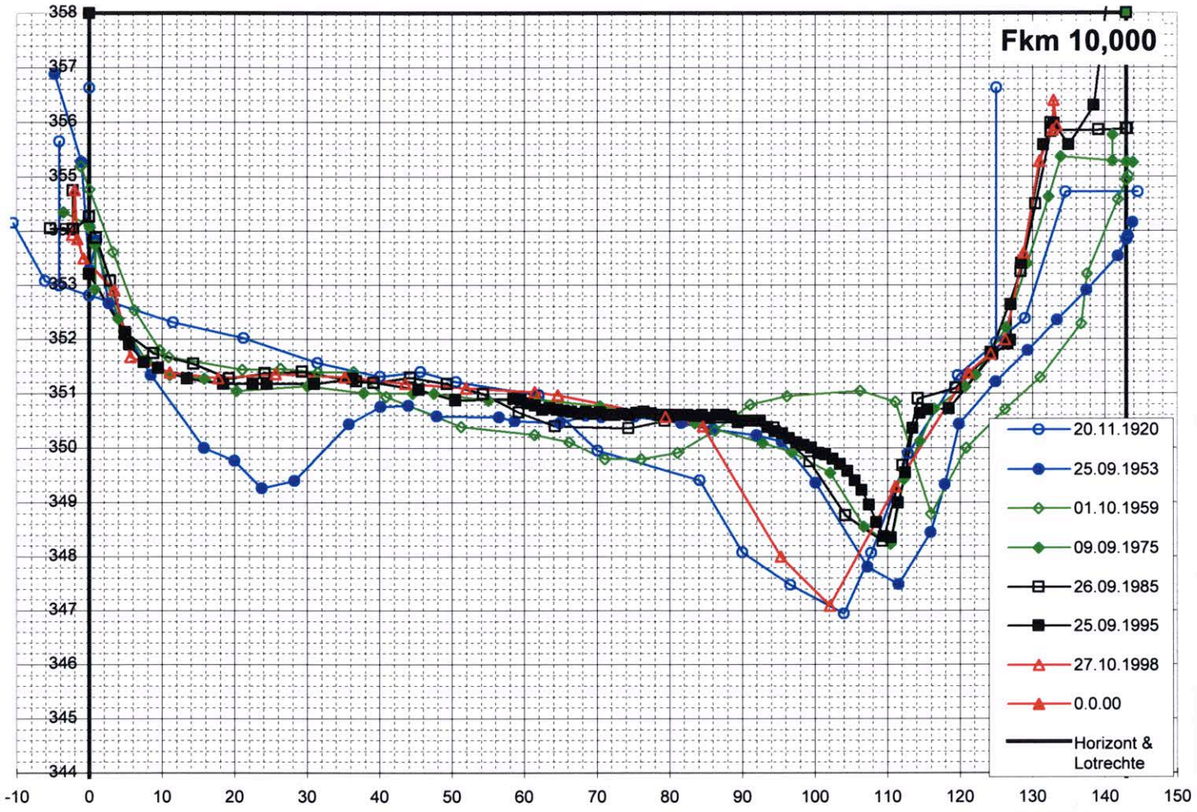

Fkm 2,000
25.11.1920
19.11.1953
0.0.00
17.10.1974
20.09.1985
25.09.1995
0.0.00
0.0.00
Horizont & Lotrechte

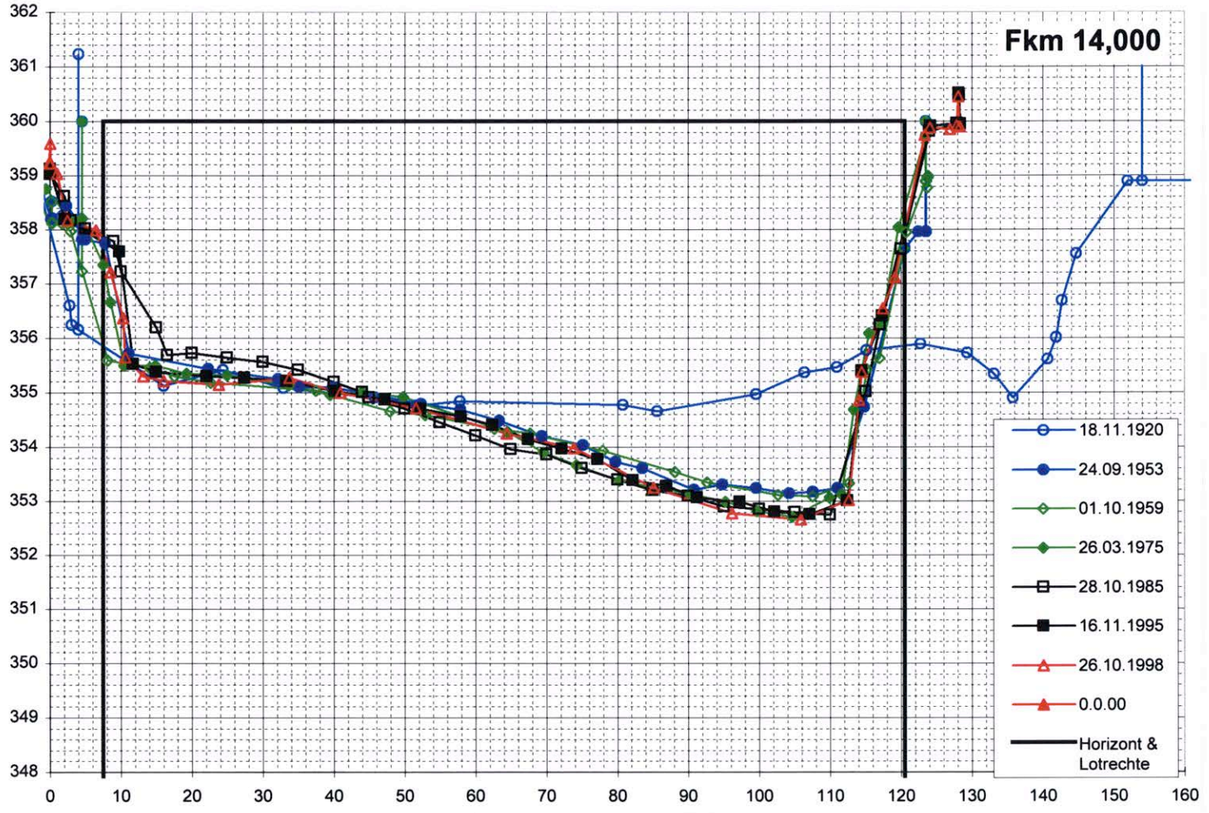

Fkm 6,000
25.11.1920
29.09.1953
01.10.1959
11.09.1975
17.09.1985
25.09.1995
0.0.00
0.0.00
Horizont & Lotrechte

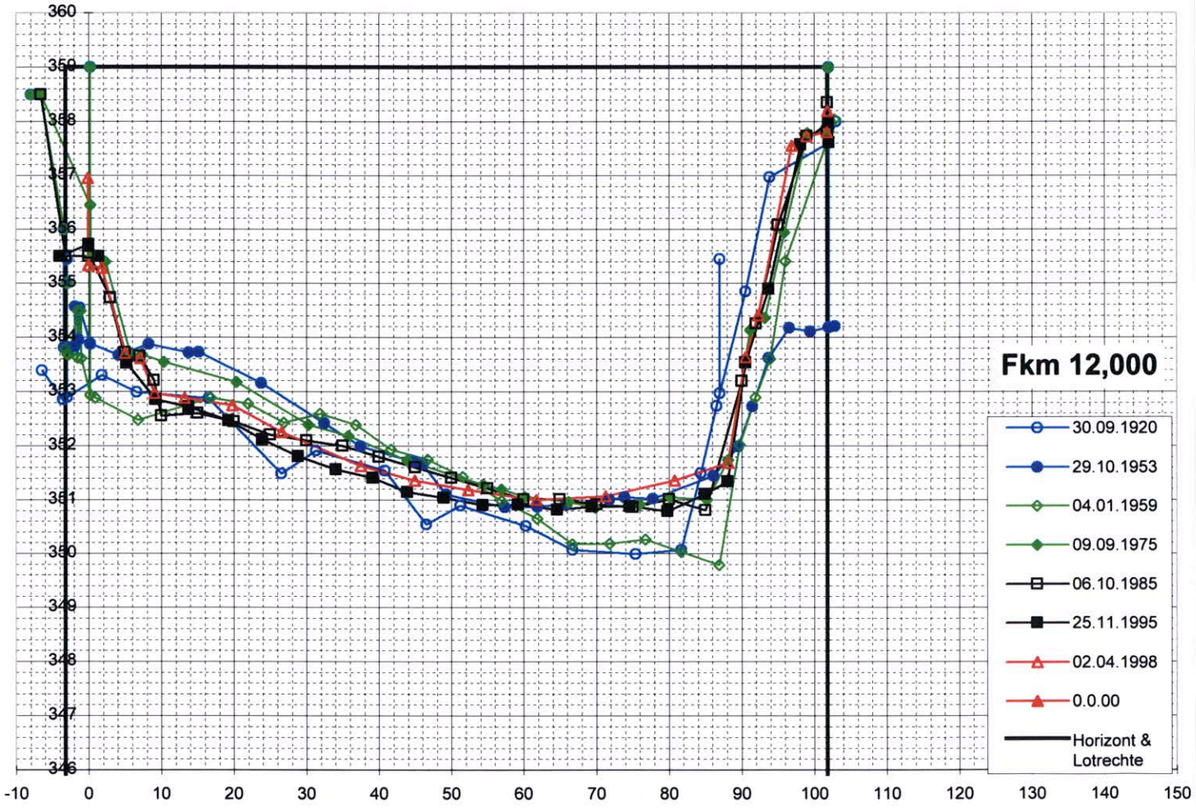

Fkm 4,000
25.11.1920
30.09.1953
01.10.1959
12.09.1975
19.09.1985
25.09.1995
0.0.00
0.0.00
Horizont & Lotrechte

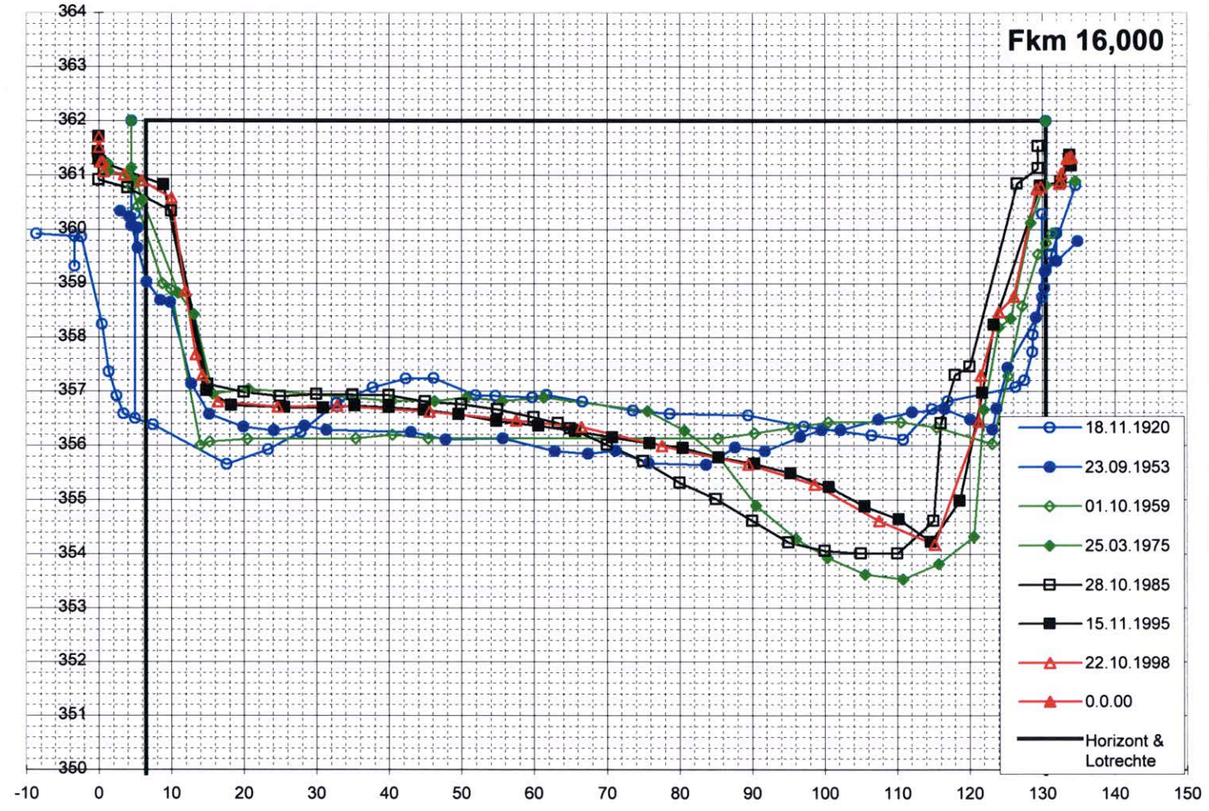

Fkm 8,000
20.11.1920
25.09.1953
01.10.1959
09.09.1975
26.09.1985
25.09.1995
27.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.1

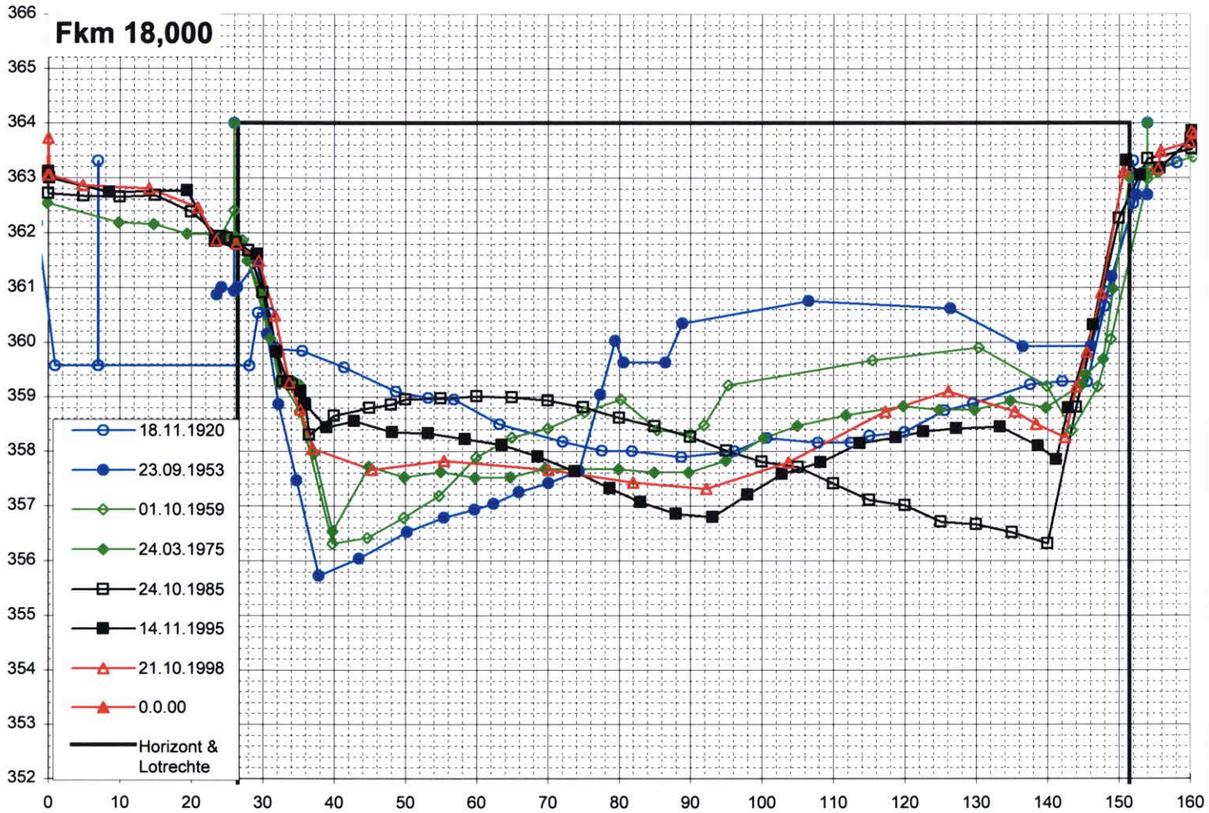

Fkm 10,000
20.11.1920
25.09.1953
01.10.1959
09.09.1975
26.09.1985
25.09.1995
27.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

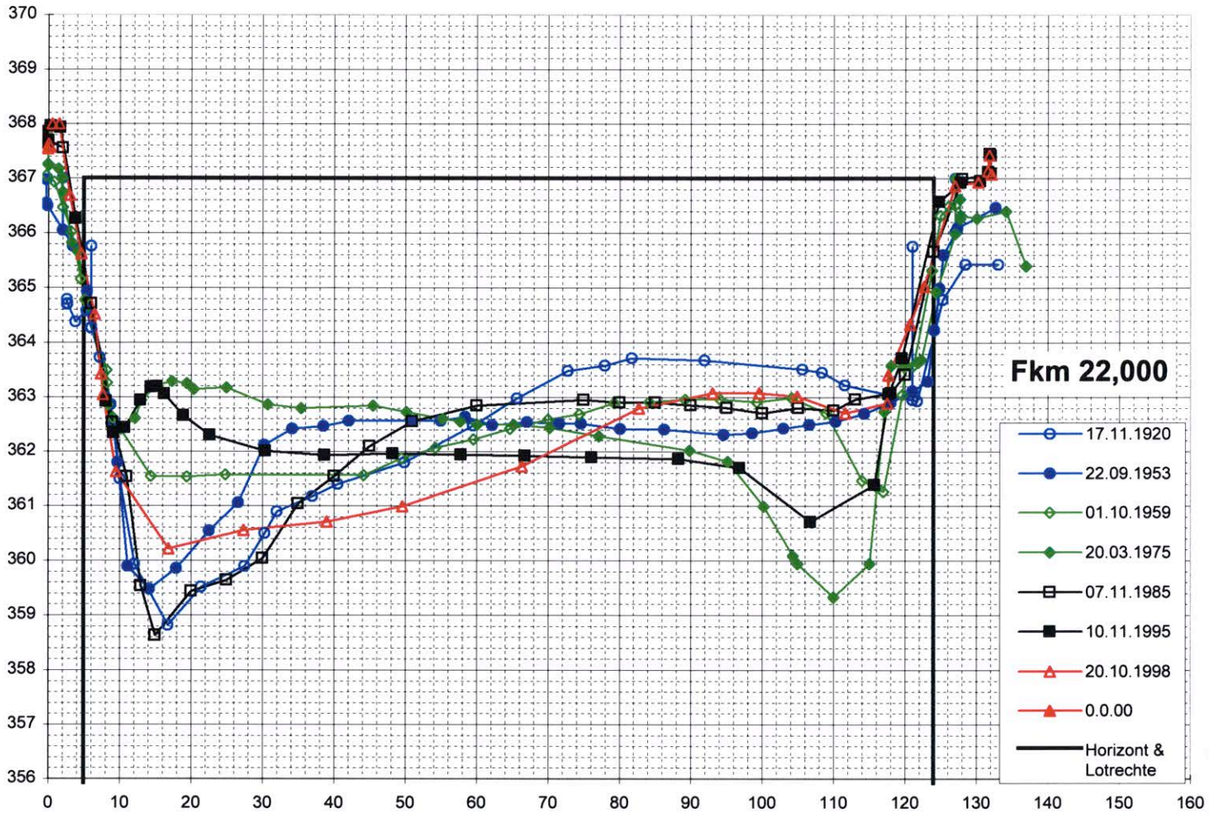

Fkm 14,000
18.11.1920
24.09.1953
01.10.1959
26.03.1975
28.10.1985
16.11.1995
26.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

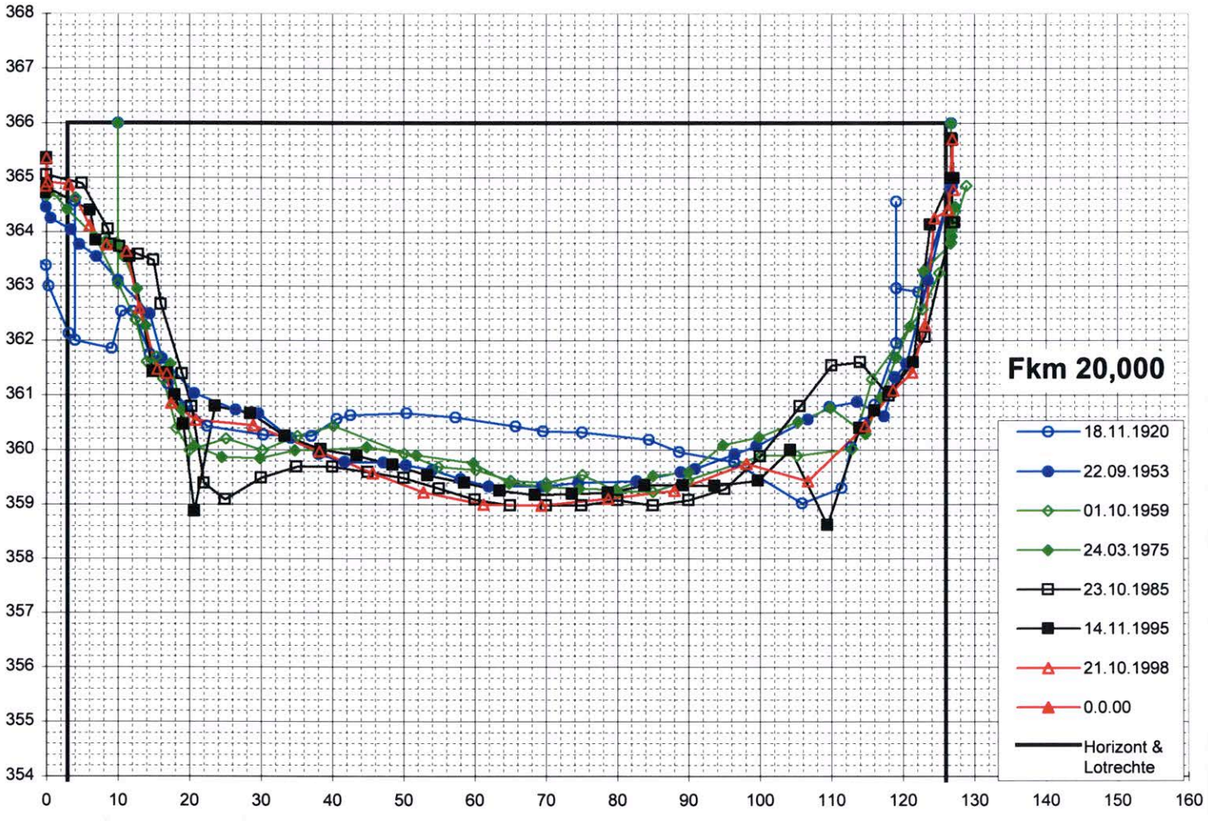

Fkm 12,000
30.09.1920
29.10.1953
04.01.1959
09.09.1975
06.10.1985
25.11.1995
02.04.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

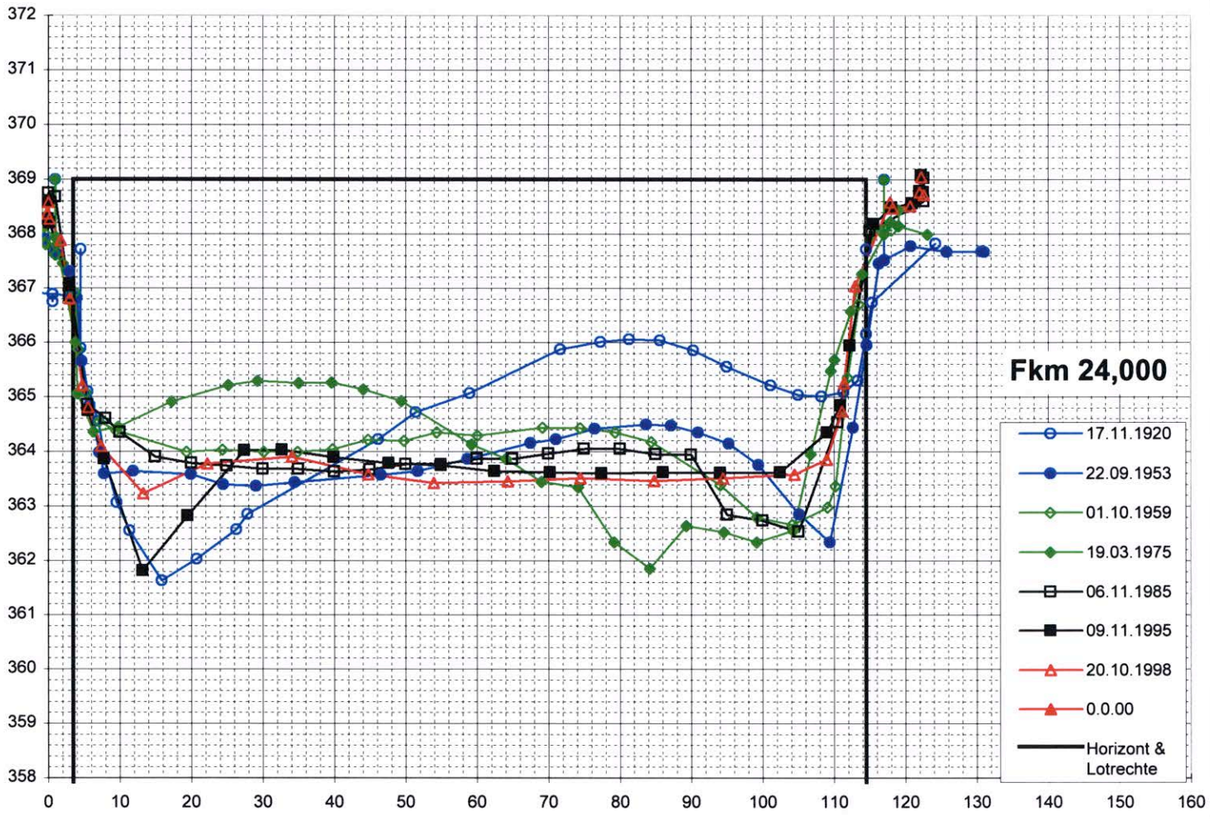

Fkm 16,000
18.11.1920
23.09.1953
01.10.1959
25.03.1975
28.10.1985
15.11.1995
22.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.2

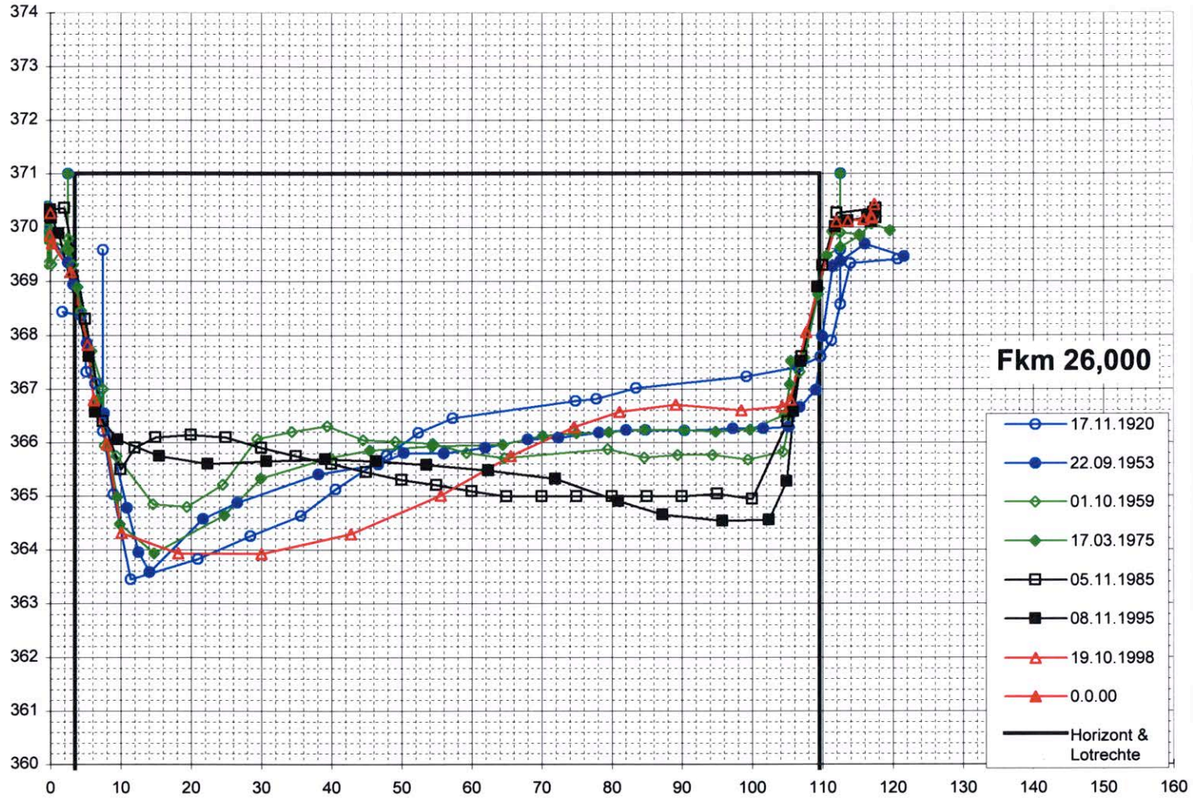

Fkm 18,000
18.11.1920
23.09.1953
01.10.1959
24.03.1975
24.10.1985
14.11.1995
21.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

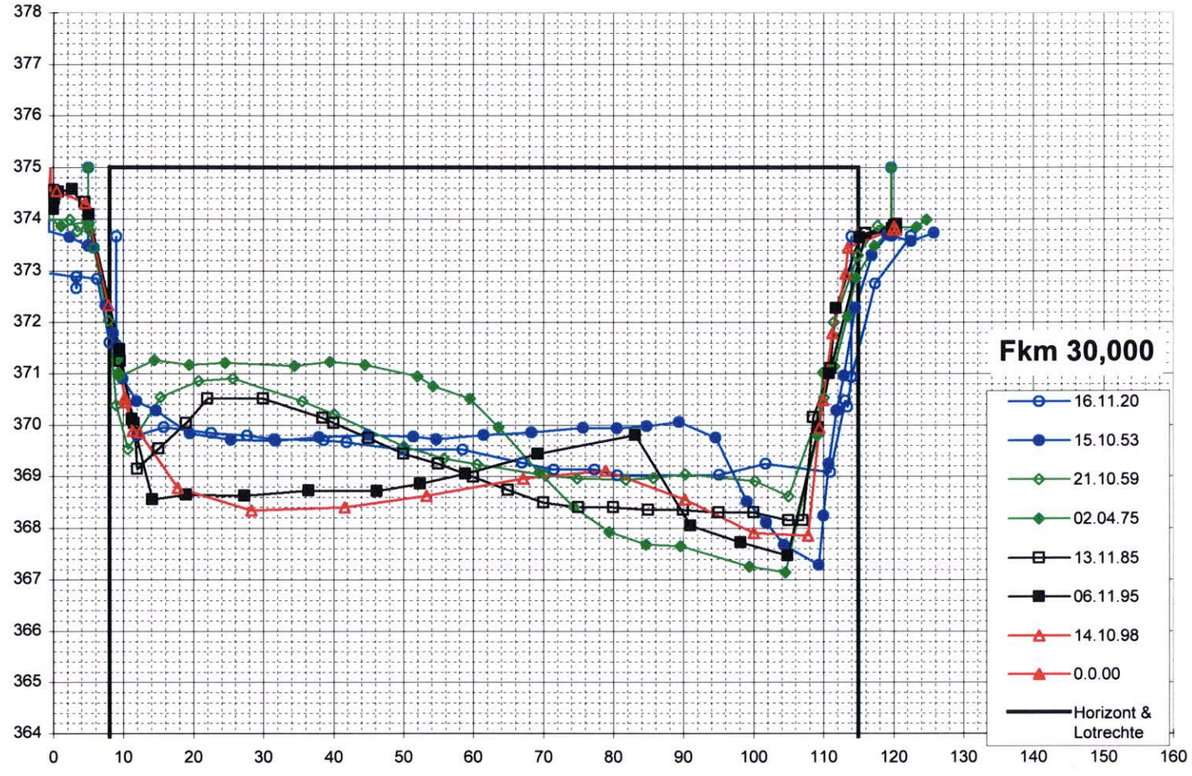

Fkm 22,000
17.11.1920
22.09.1953
01.10.1959
20.03.1975
07.11.1985
10.11.1995
20.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

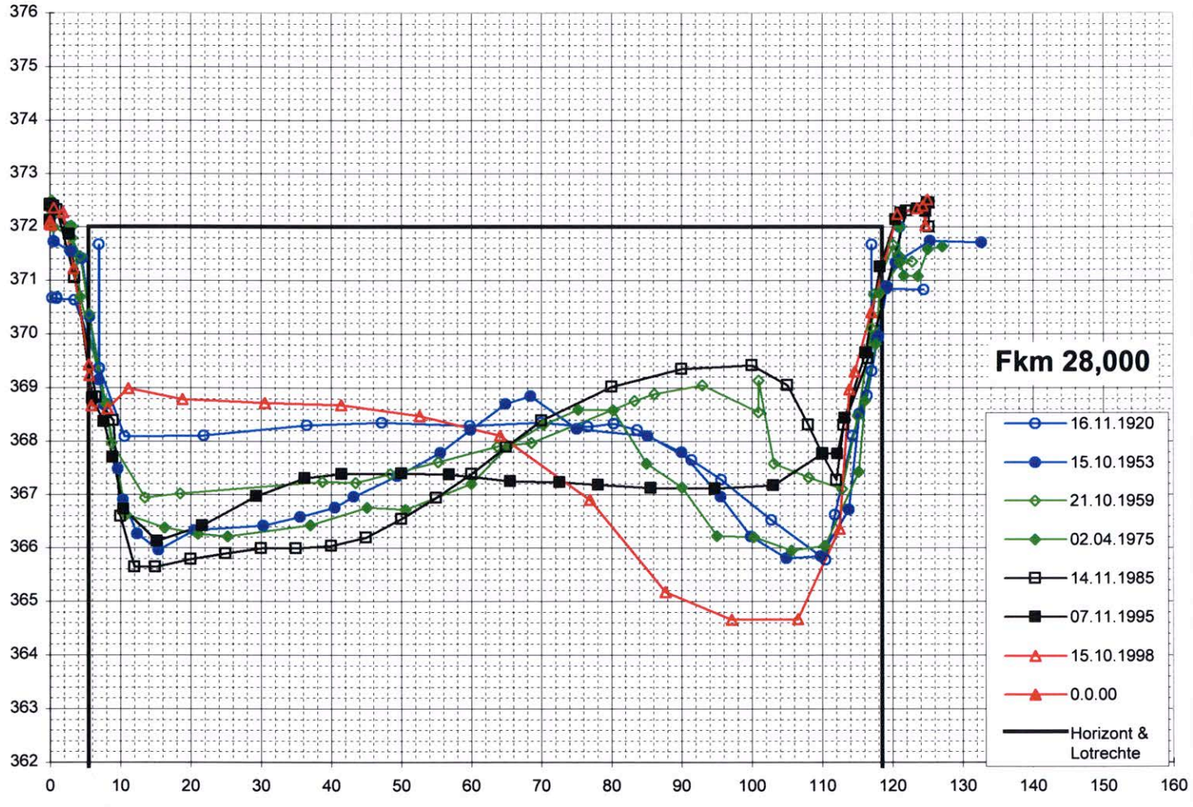

Fkm 20,000
18.11.1920
22.09.1953
01.10.1959
24.03.1975
23.10.1985
14.11.1995
21.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

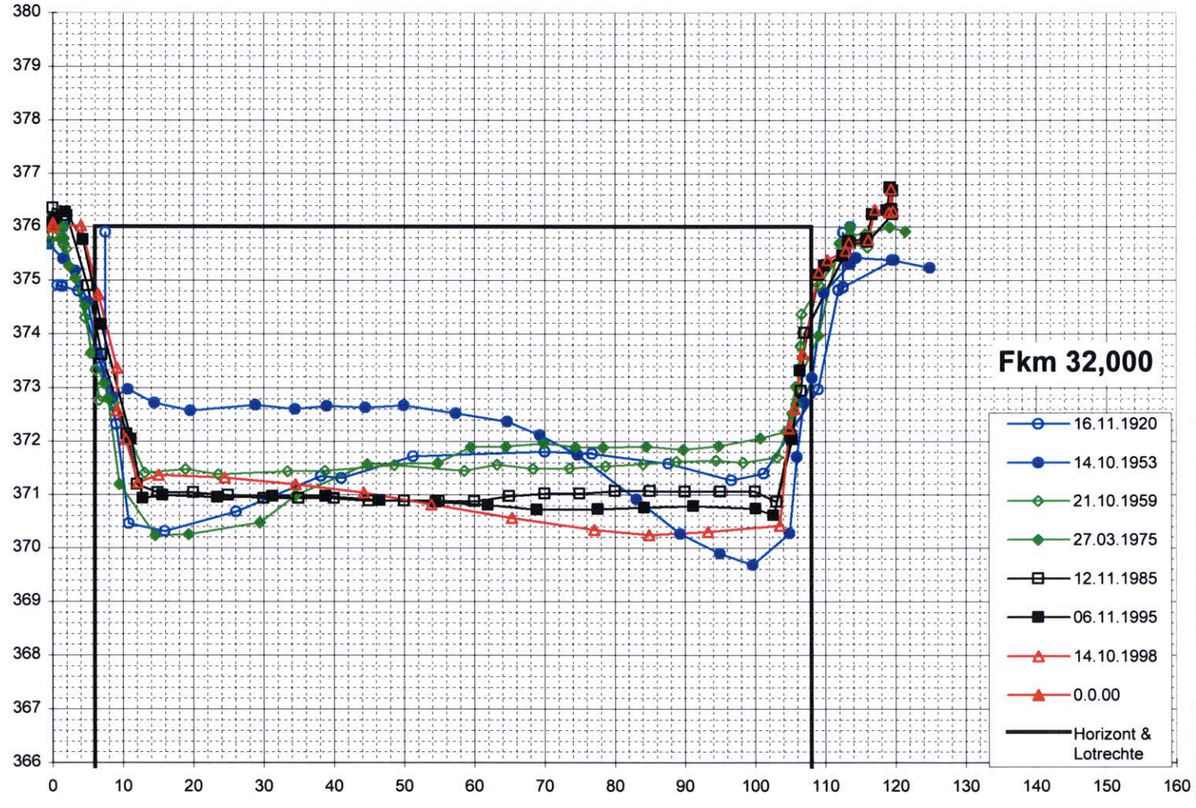

Fkm 24,000
17.11.1920
22.09.1953
01.10.1959
19.03.1975
06.11.1985
09.11.1995
20.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.3

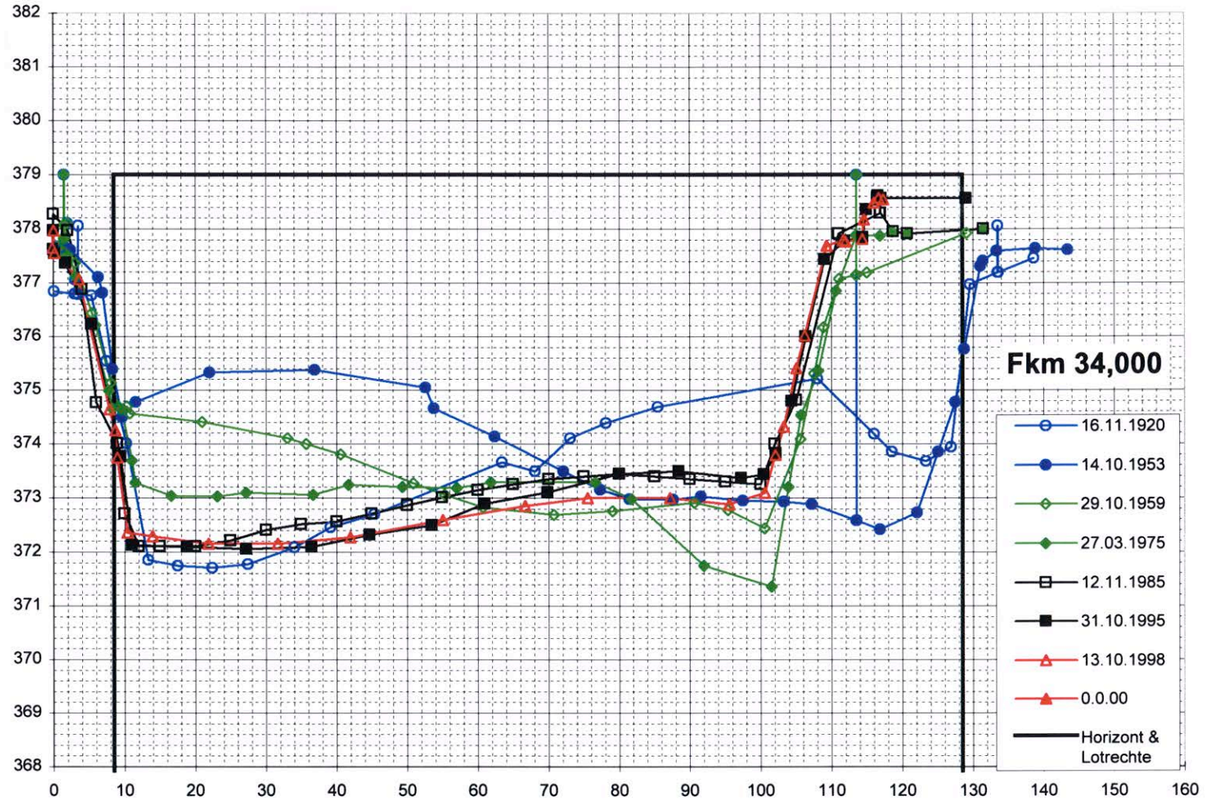

Fkm 26,000
17.11.1920
22.09.1953
01.10.1959
17.03.1975
05.11.1985
08.11.1995
19.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

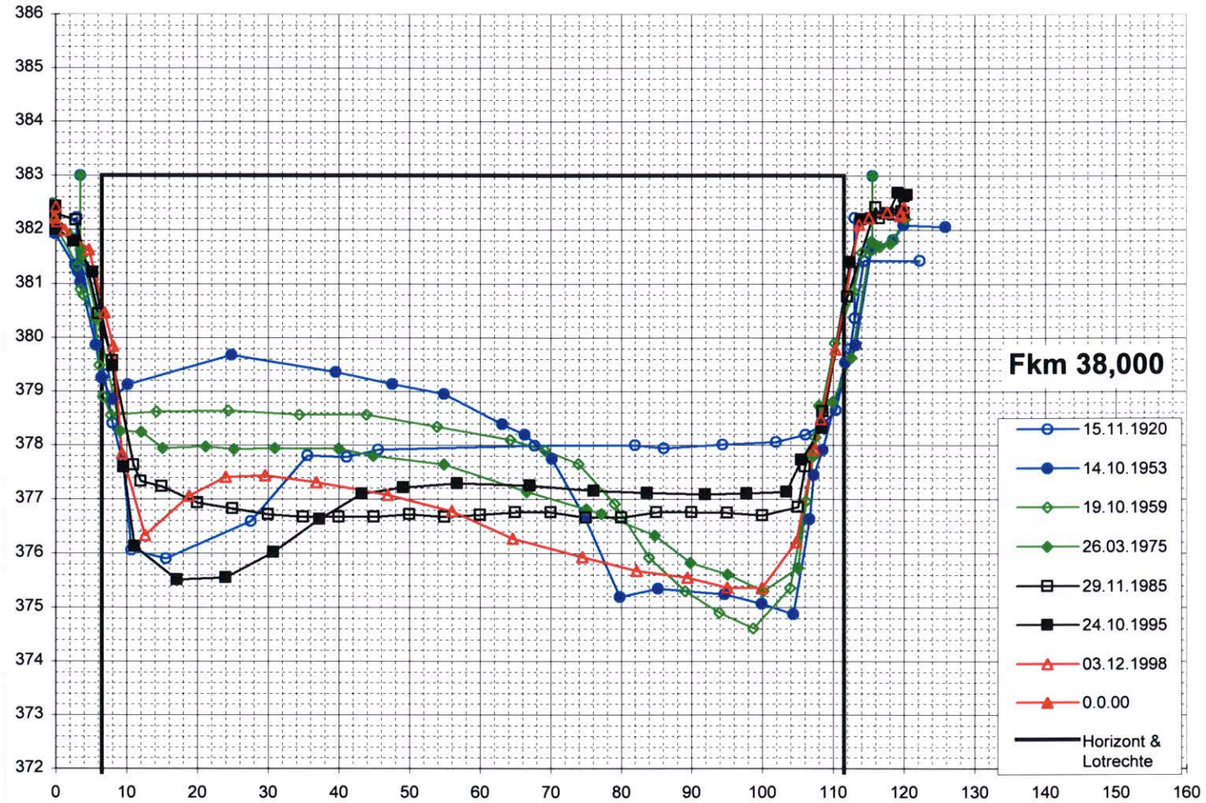

Fkm 30,000
16.11.20
15.10.53
21.10.59
02.04.75
13.11.85
06.11.95
14.10.98
0.0.00
Horizont & Lotrechte

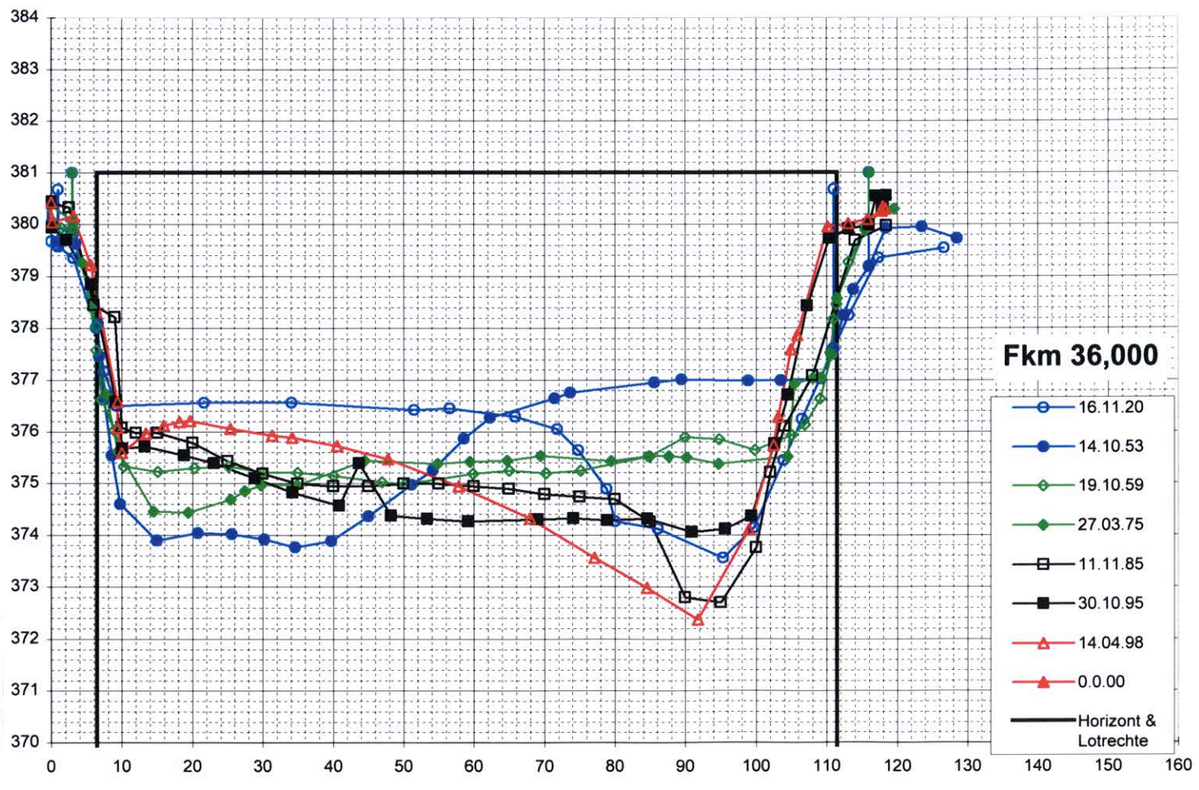

Fkm 28,000
16.11.1920
15.10.1953
21.10.1959
02.04.1975
14.11.1985
07.11.1995
15.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

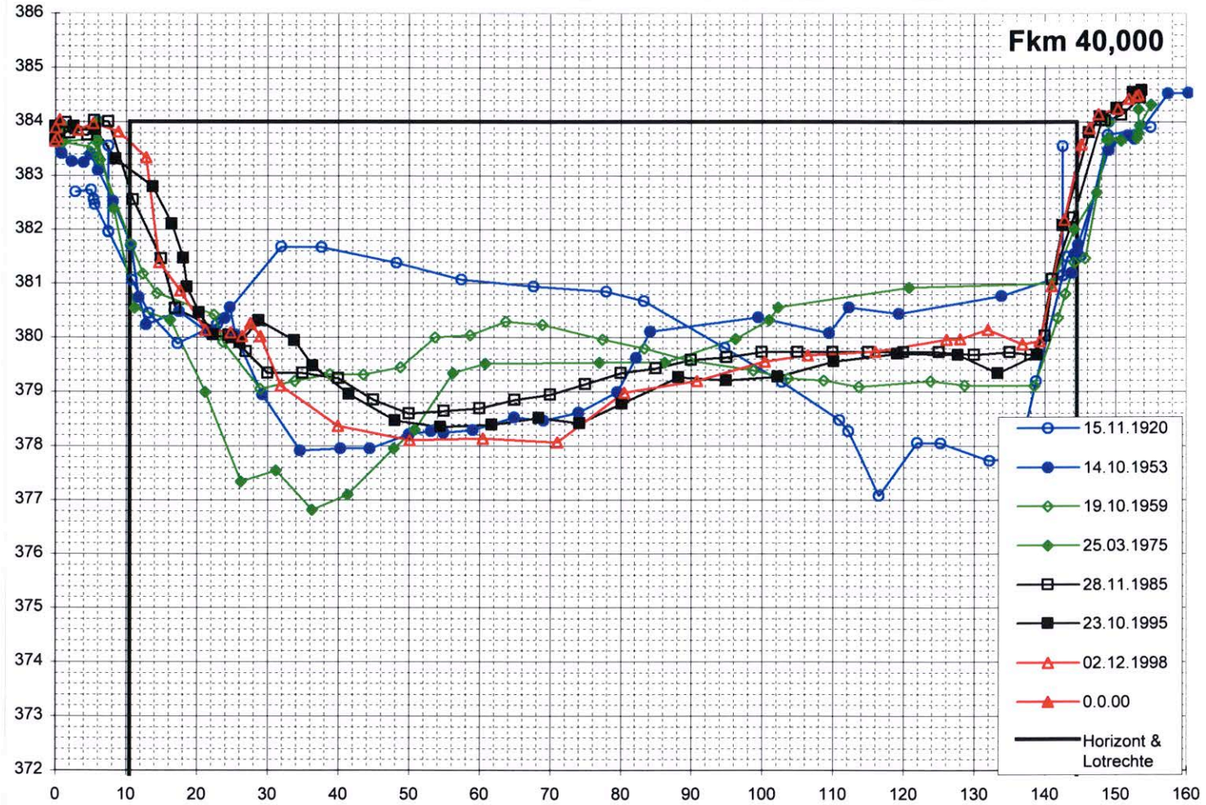

Fkm 32,000
16.11.1920
14.10.1953
21.10.1959
27.03.1975
12.11.1985
06.11.1995
14.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.4

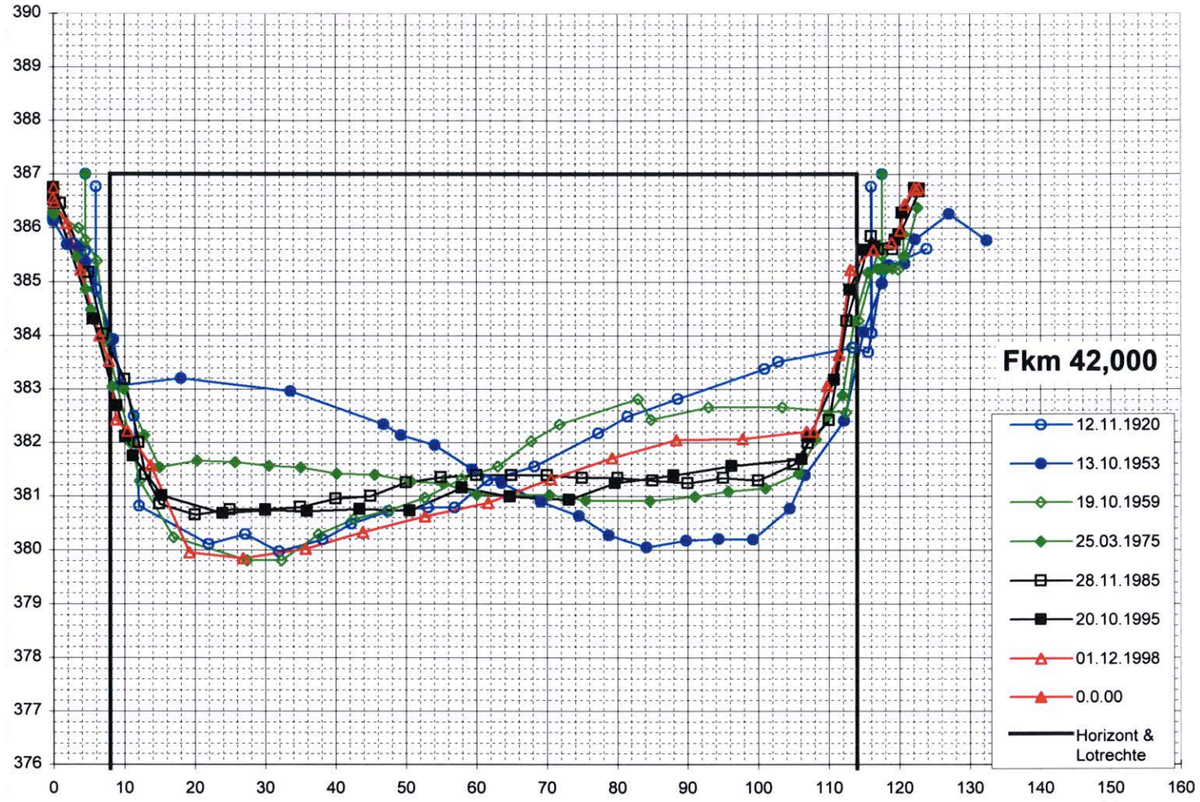

Fkm 34,000
16.11.1920
14.10.1953
29.10.1959
27.03.1975
12.11.1985
31.10.1995
13.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

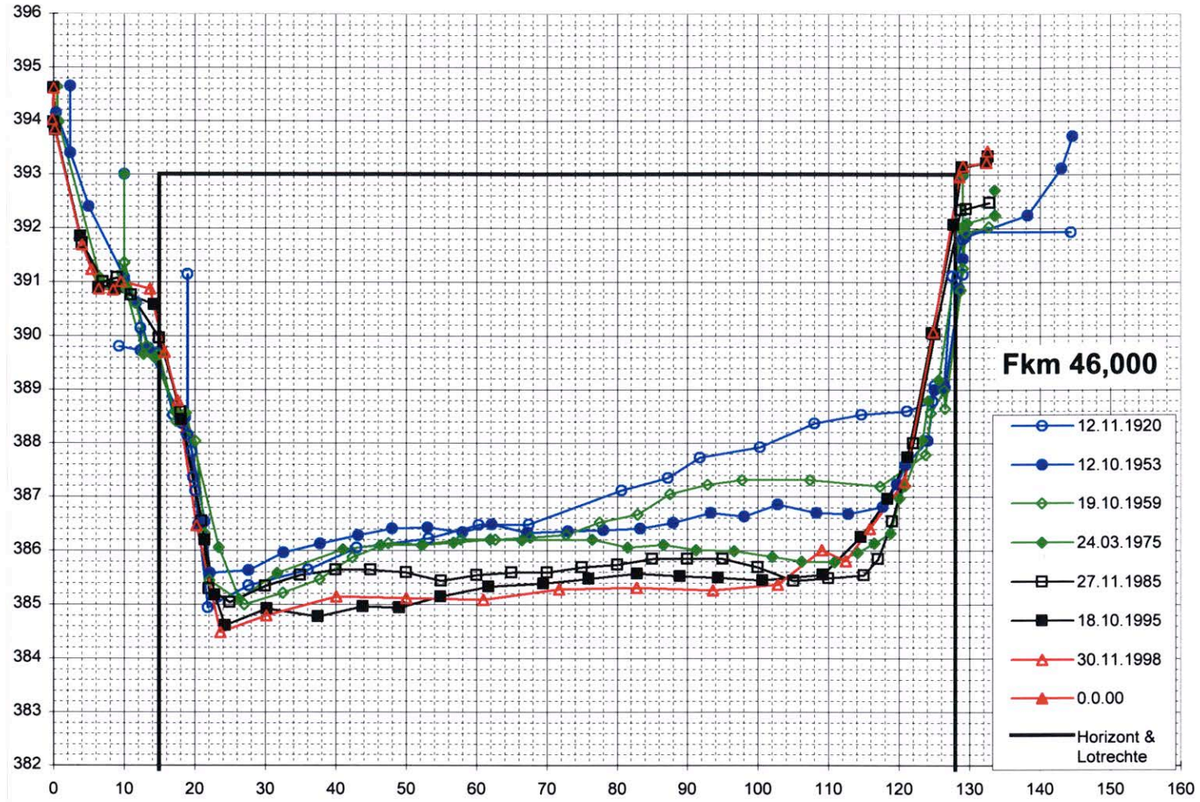

Fkm 38,000
15.11.1920
14.10.1953
19.10.1959
26.03.1975
29.11.1985
24.10.1995
03.12.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

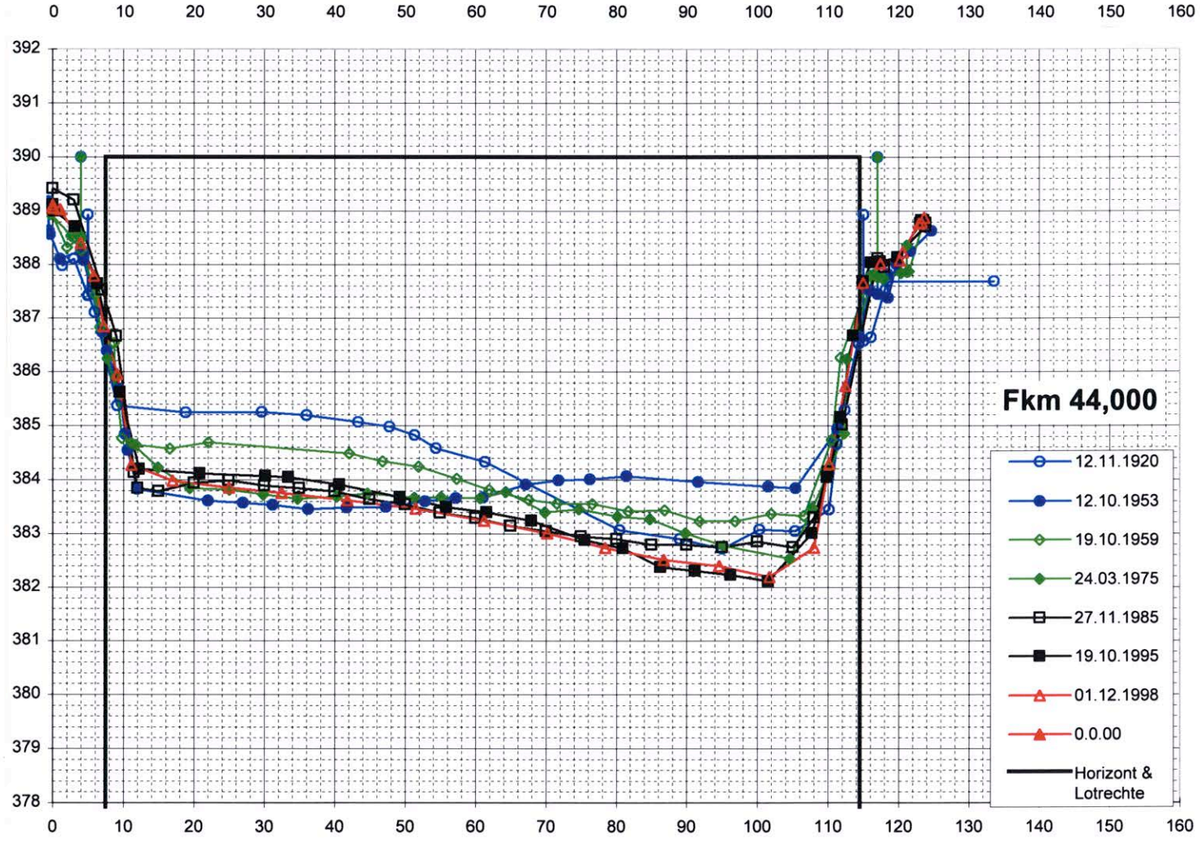

Fkm 36,000
16.11.20
14.10.53
19.10.59
27.03.75
11.11.85
30.10.95
14.04.98
0.0.00
Horizont & Lotrechte

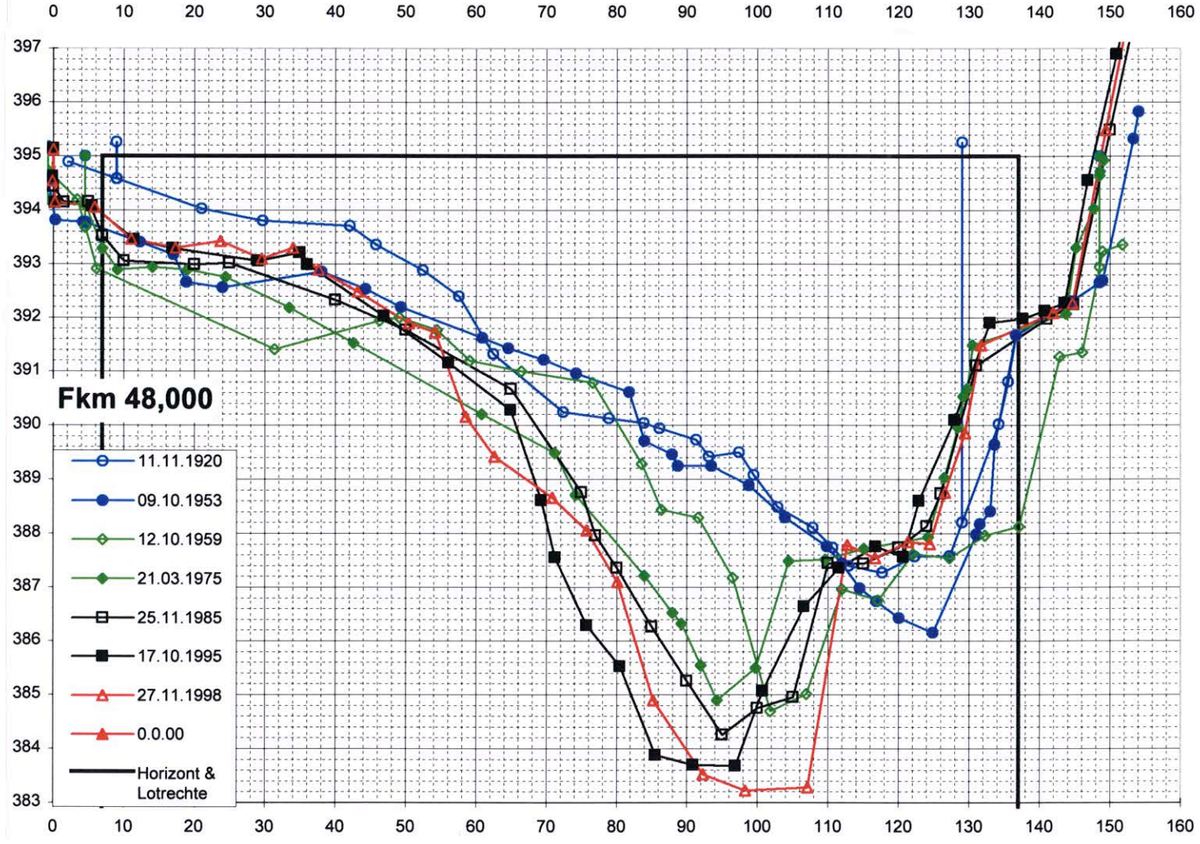

Fkm 40,000
15.11.1920
14.10.1953
19.10.1959
25.03.1975
28.11.1985
23.10.1995
02.12.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.5

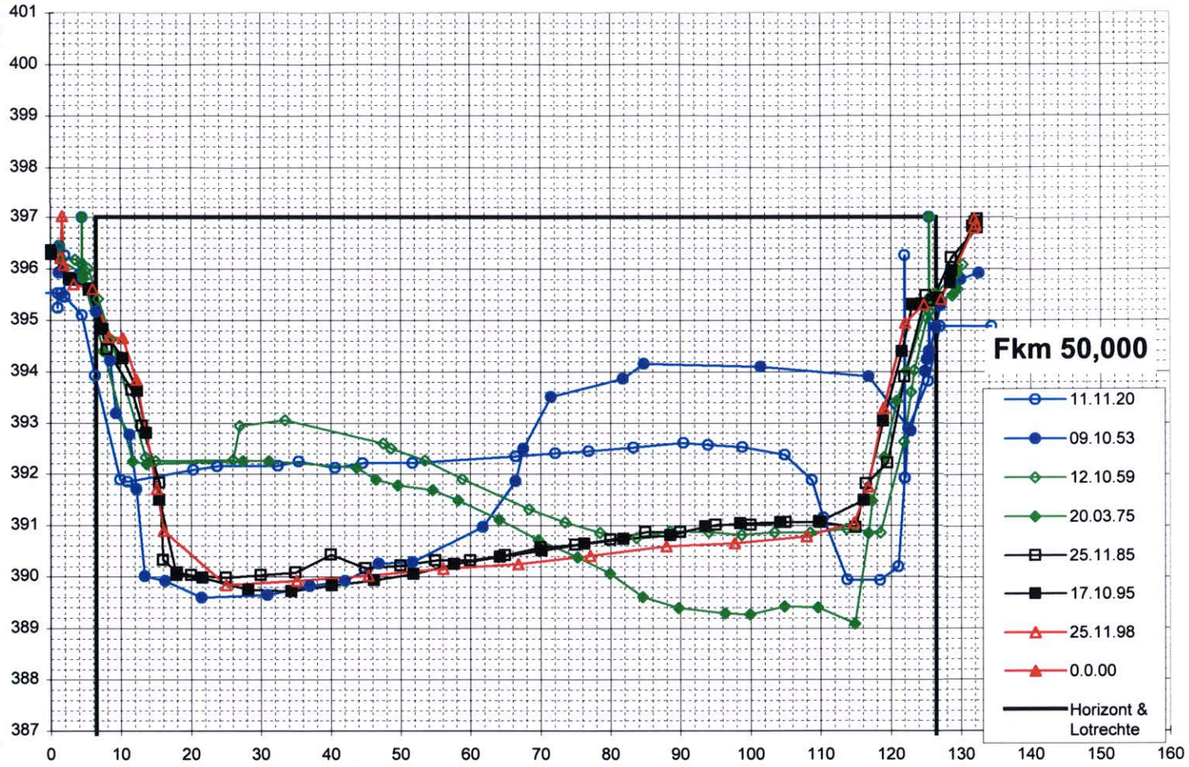

Fkm 42,000
12.11.1920
13.10.1953
19.10.1959
25.03.1975
28.11.1985
20.10.1995
01.12.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

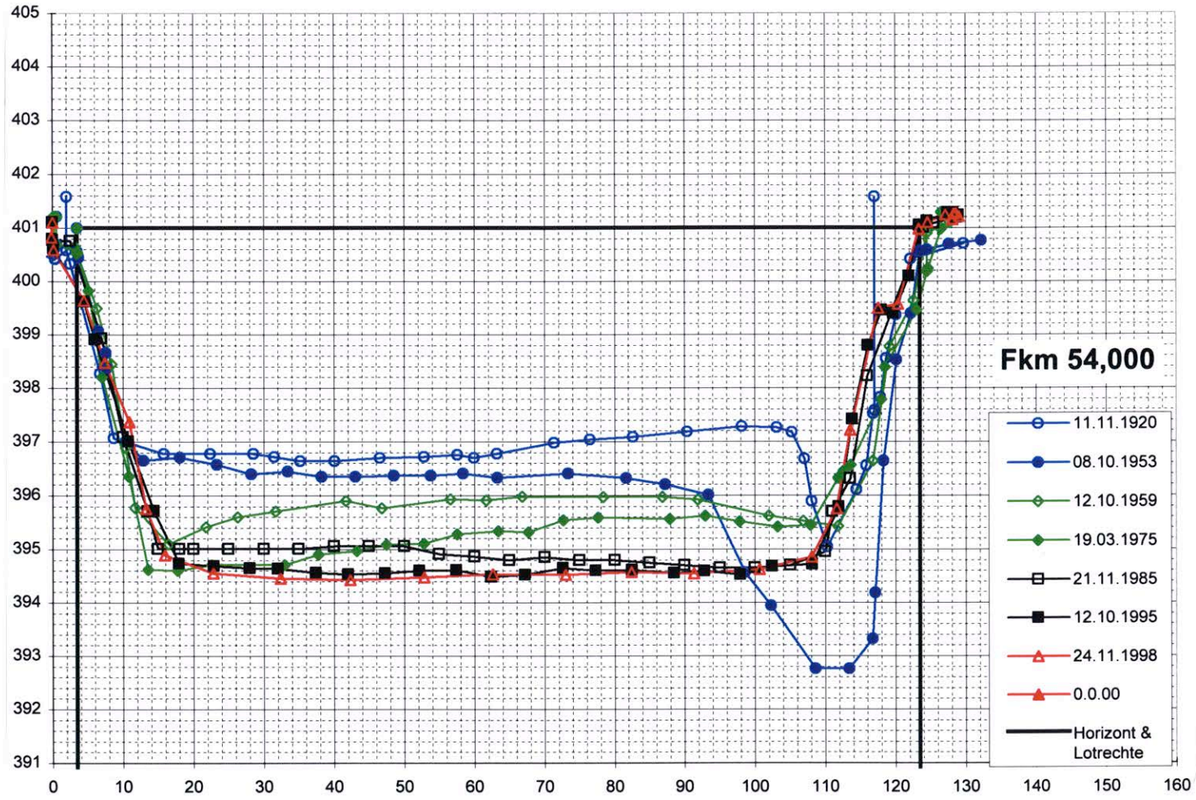

Fkm 46,000
12.11.1920
12.10.1953
19.10.1959
24.03.1975
27.11.1985
18.10.1995
30.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

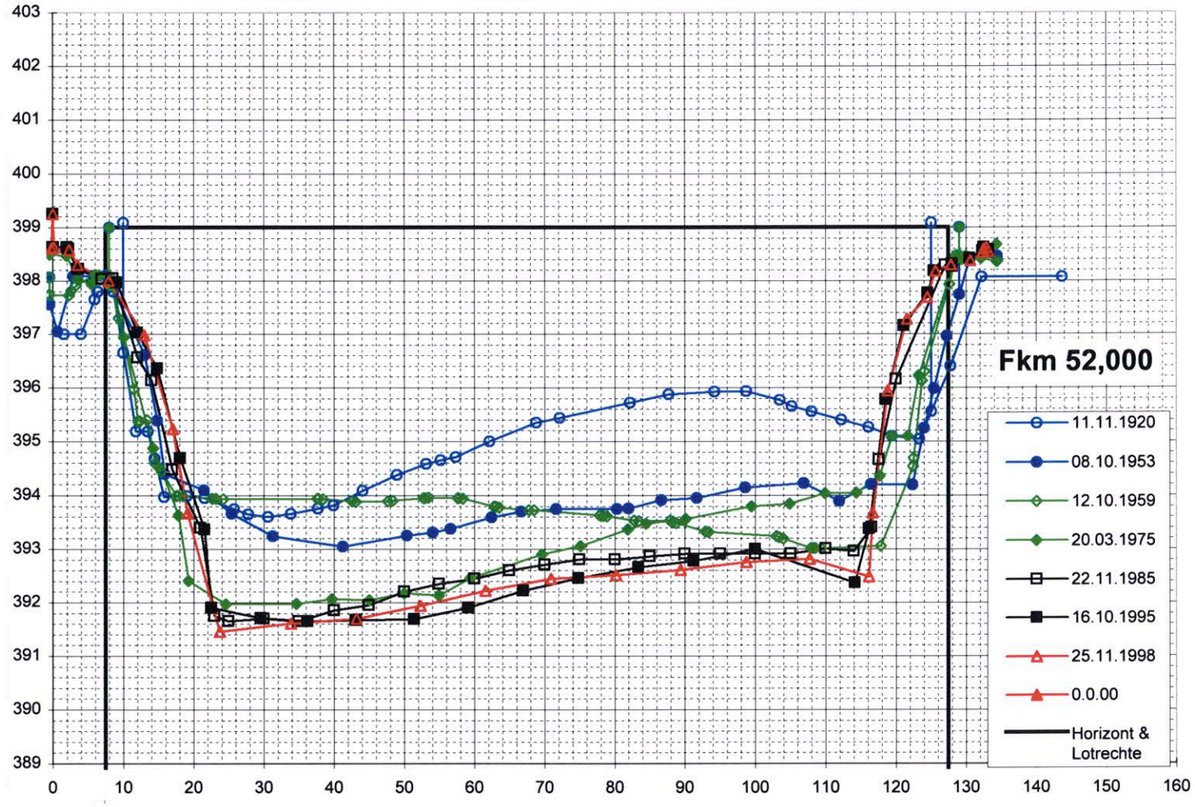

Fkm 44,000
12.11.1920
12.10.1953
19.10.1959
24.03.1975
27.11.1985
19.10.1995
01.12.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

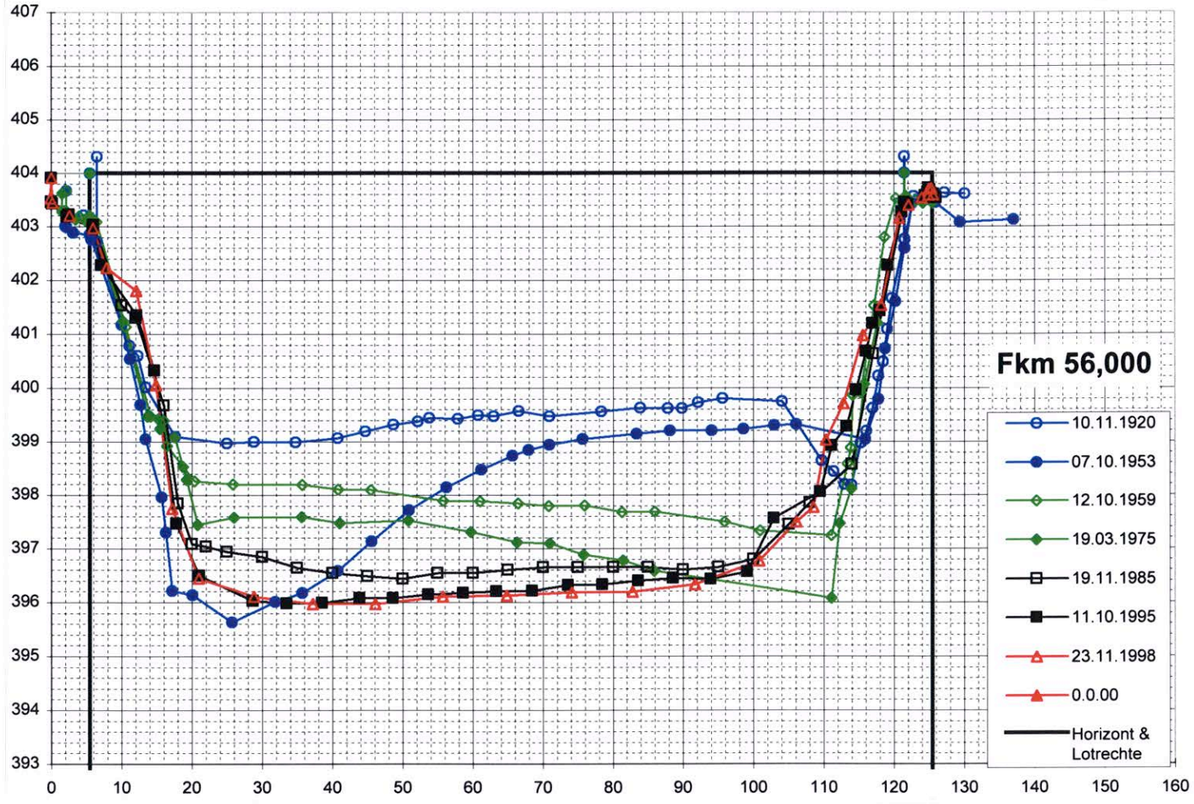

Fkm 48,000
11.11.1920
09.10.1953
12.10.1959
21.03.1975
25.11.1985
17.10.1995
27.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.6

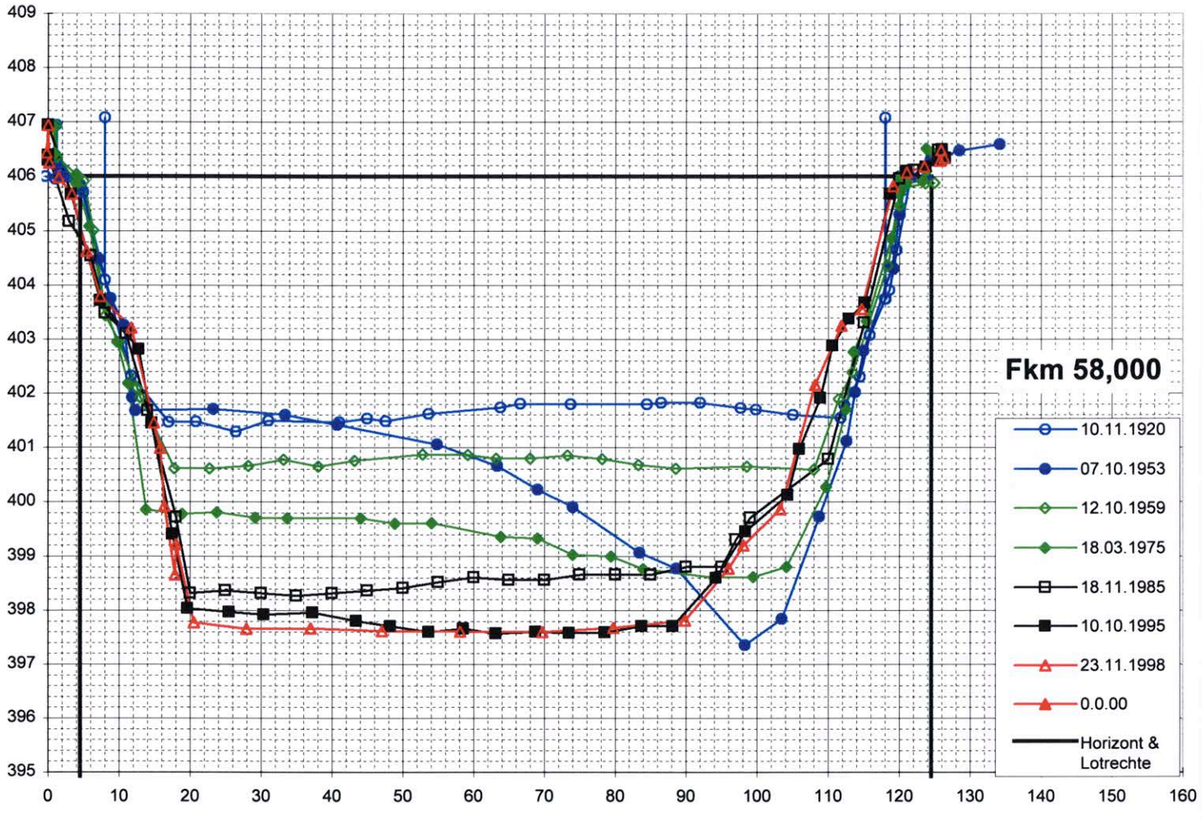

Fkm 50,000
11.11.20
09.10.53
12.10.59
20.03.75
25.11.85
17.10.95
25.11.98
0.0.00
Horizont & Lotrechte

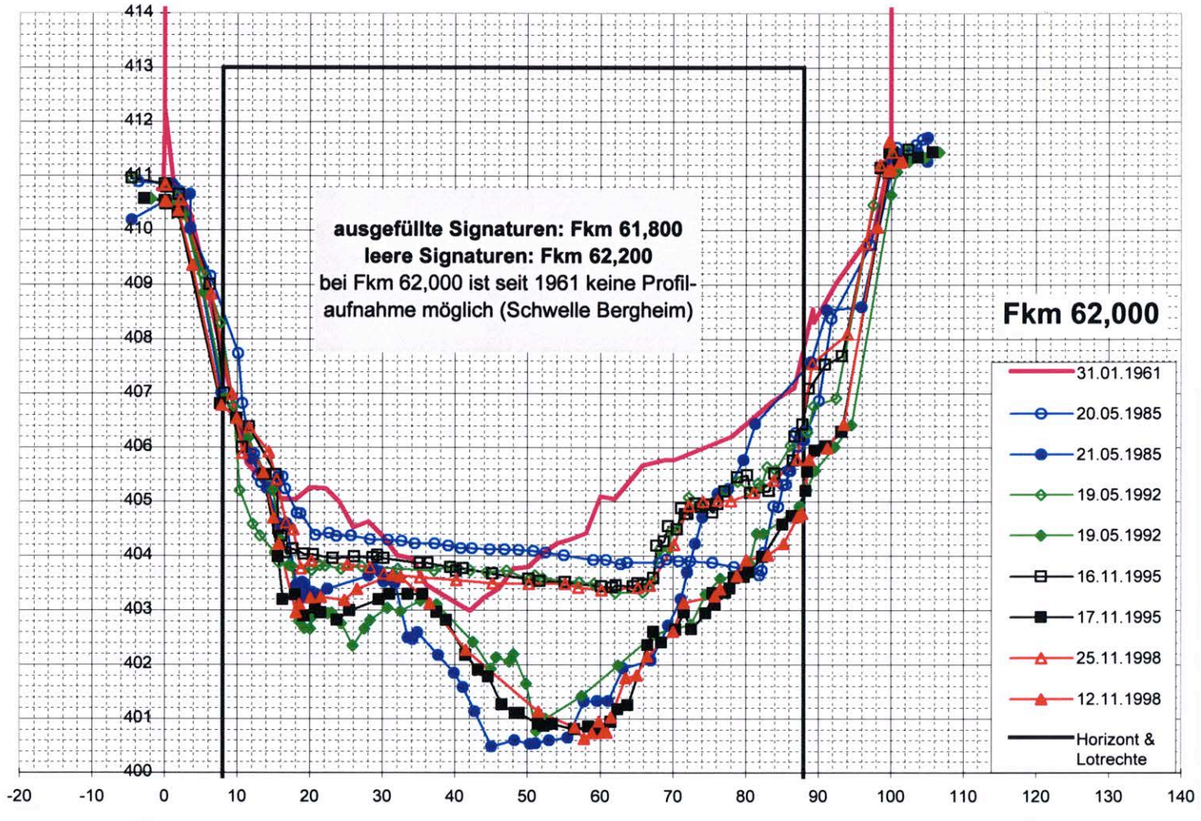

Fkm 54,000
11.11.1920
08.10.1953
12.10.1959
19.03.1975
21.11.1985
12.10.1995
24.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

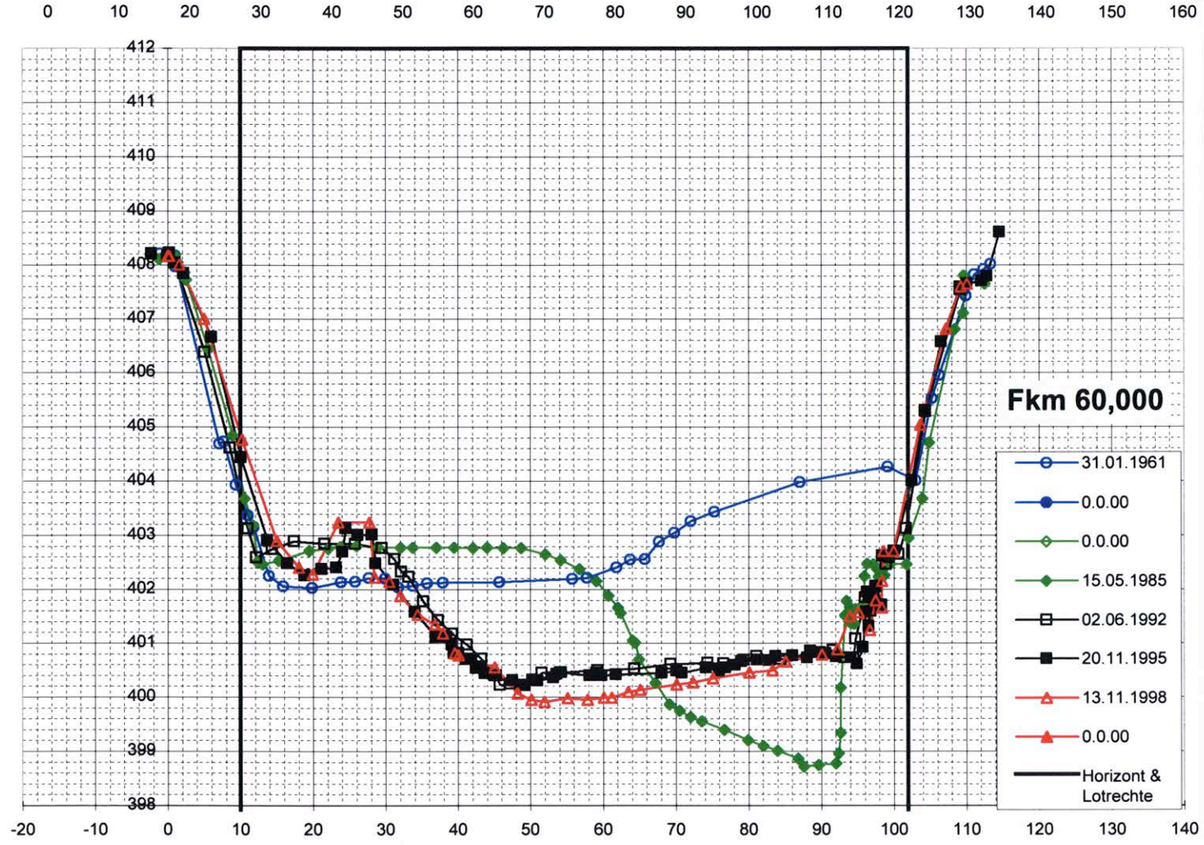

Fkm 52,000
11.11.1920
08.10.1953
12.10.1959
20.03.1975
22.11.1985
16.10.1995
25.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

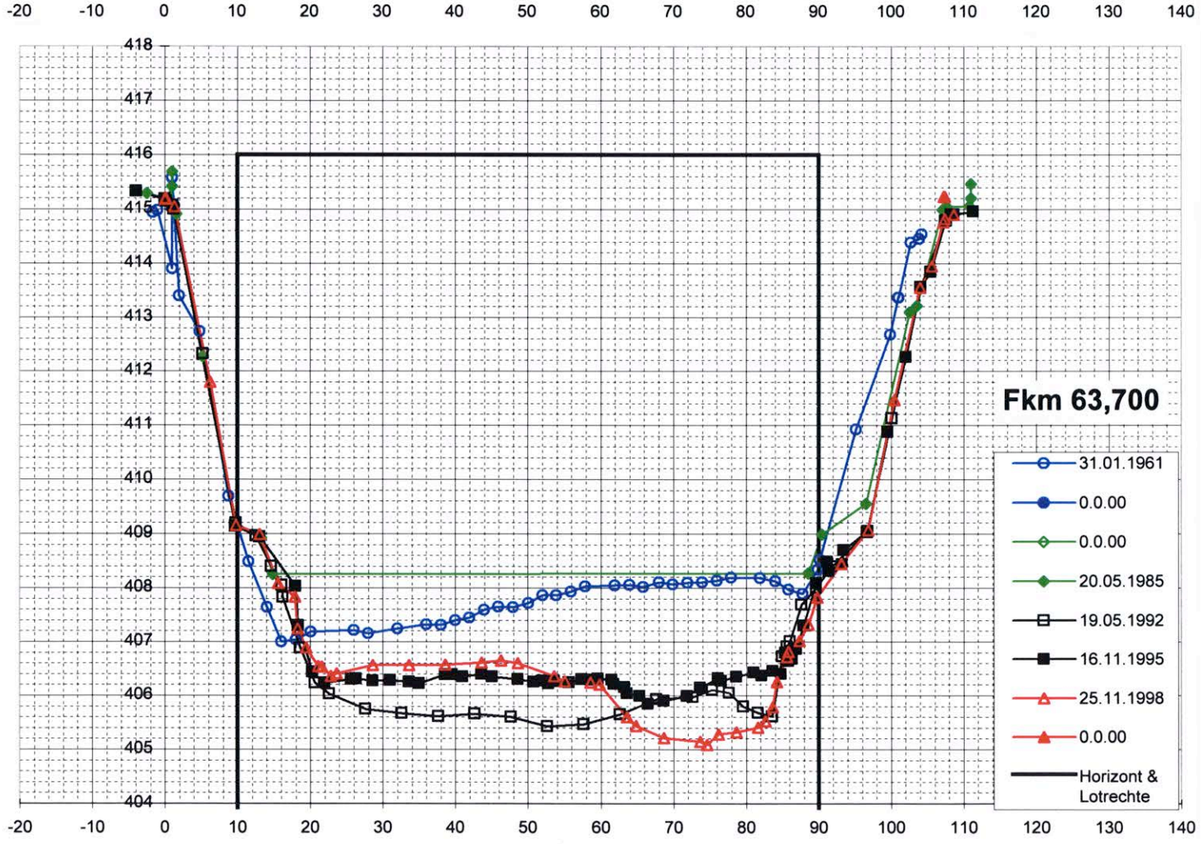

Fkm 56,000
10.11.1920
07.10.1953
12.10.1959
19.03.1975
19.11.1985
11.10.1995
23.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.7

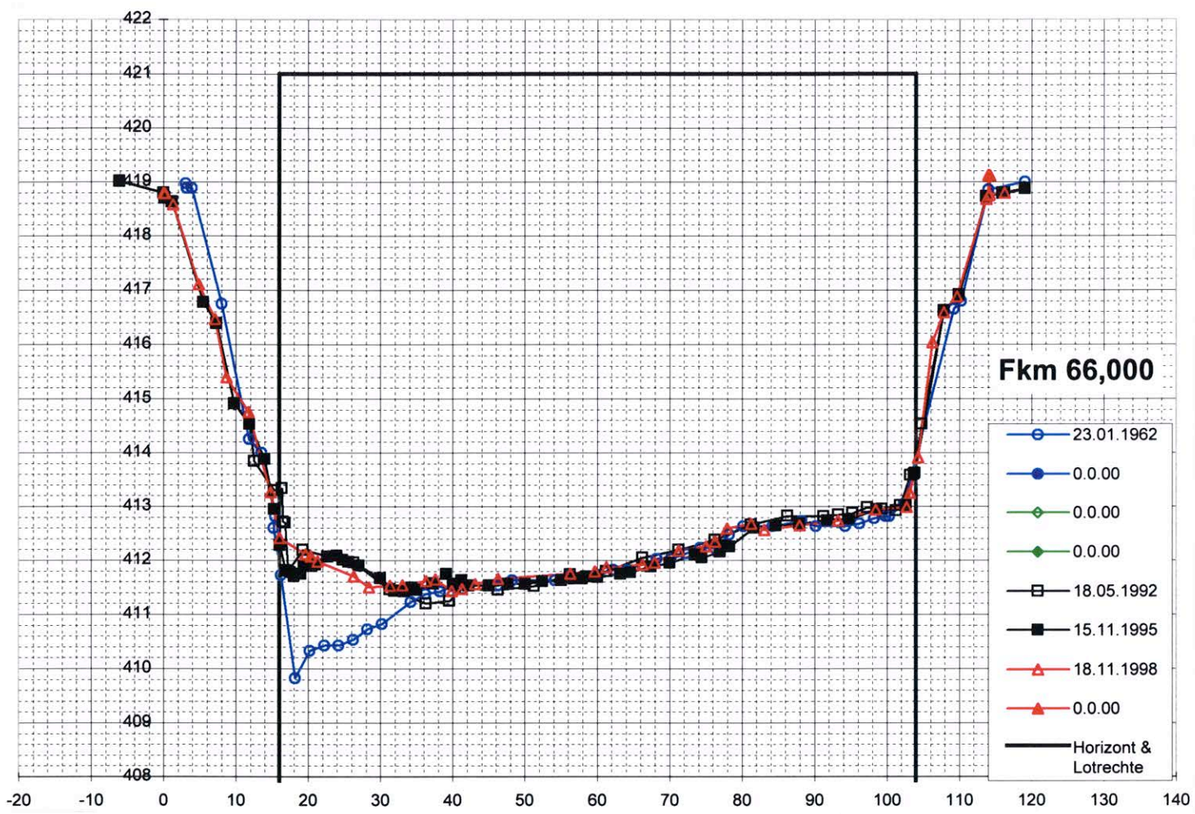

Fkm 58,000
10.11.1920
07.10.1953
12.10.1959
18.03.1975
18.11.1985
10.10.1995
23.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

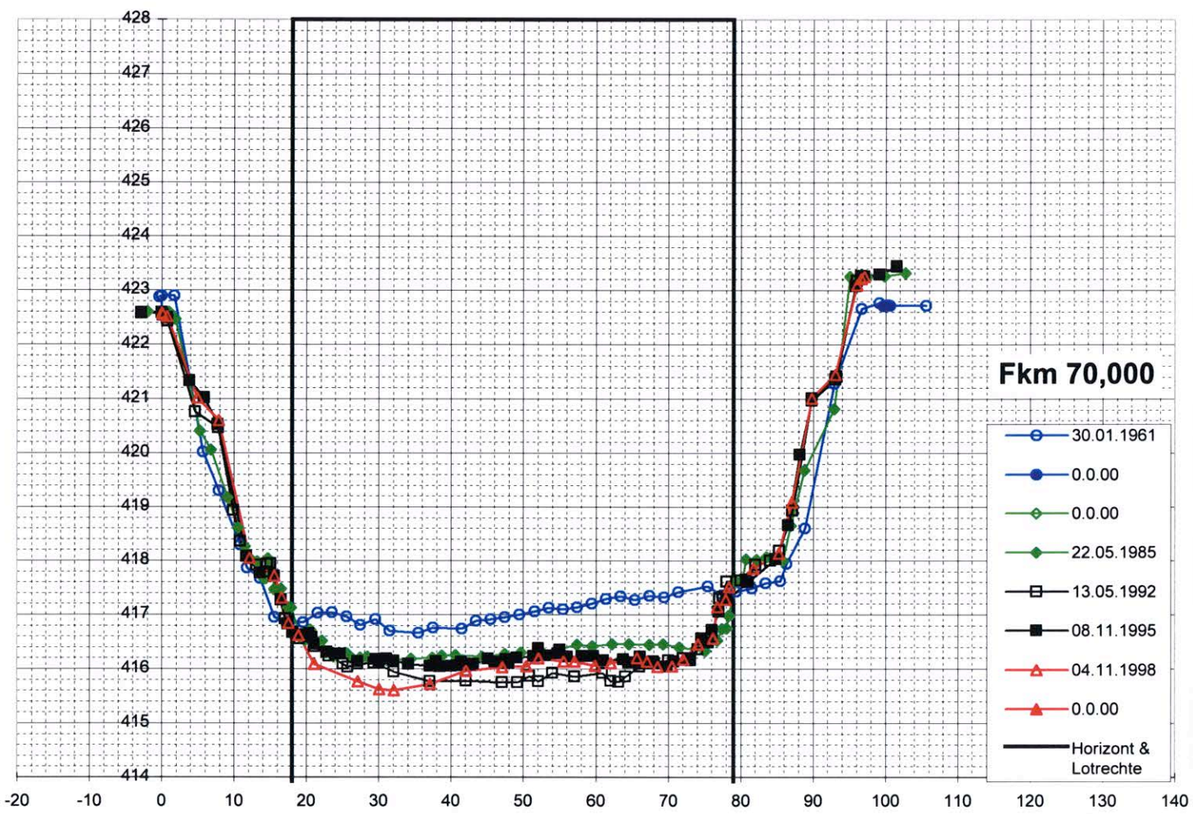

ausgefüllte Signaturen: Fkm 61,800
leere Signaturen: Fkm 62,200
bei Fkm 62,000 ist seit 1961 keine Profil-aufnahme möglich (Schwelle Bergheim)
Fkm 62,000
31.01.1961
20.05.1985
21.05.1985
19.05.1992
19.05.1992
16.11.1995
17.11.1995
25.11.1998
12.11.1998
Horizont & Lotrechte

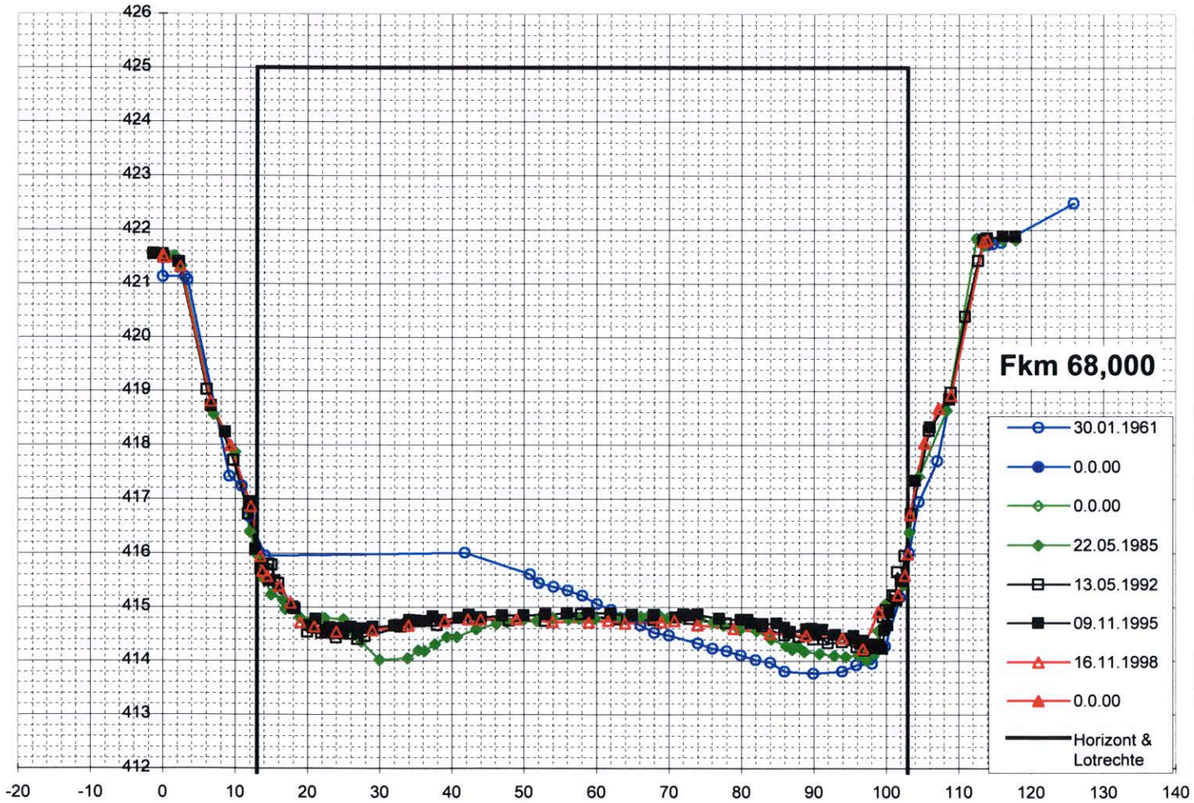

Fkm 60,000
31.01.1961
0.0.00
0.0.00
15.05.1985
02.06.1992
20.11.1995
13.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

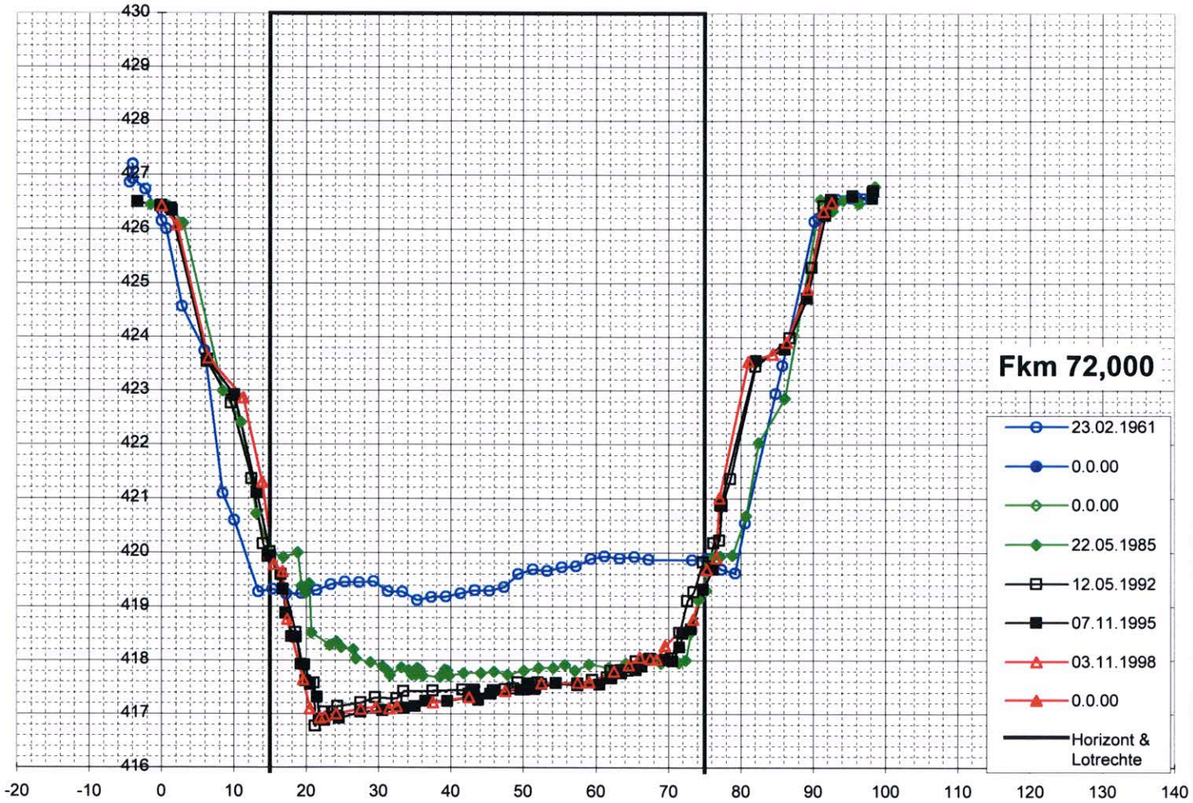

Fkm 63,700
31.01.1961
0.0.00
0.0.00
20.05.1985
19.05.1992
16.11.1995
25.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.8


Fkm 66,000
23.01.1962
0.0.00
0.0.00
0.0.00
18.05.1992
15.11.1995
18.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte


Fkm 70,000
30.01.1961
0.0.00
0.0.00
22.05.1985
13.05.1992
08.11.1995
04.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte


Fkm 68,000
30.01.1961
0.0.00
0.0.00
22.05.1985
13.05.1992
09.11.1995
16.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte


Fkm 72,000
23.02.1961
0.0.00
0.0.00
22.05.1985
12.05.1992
07.11.1995
03.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

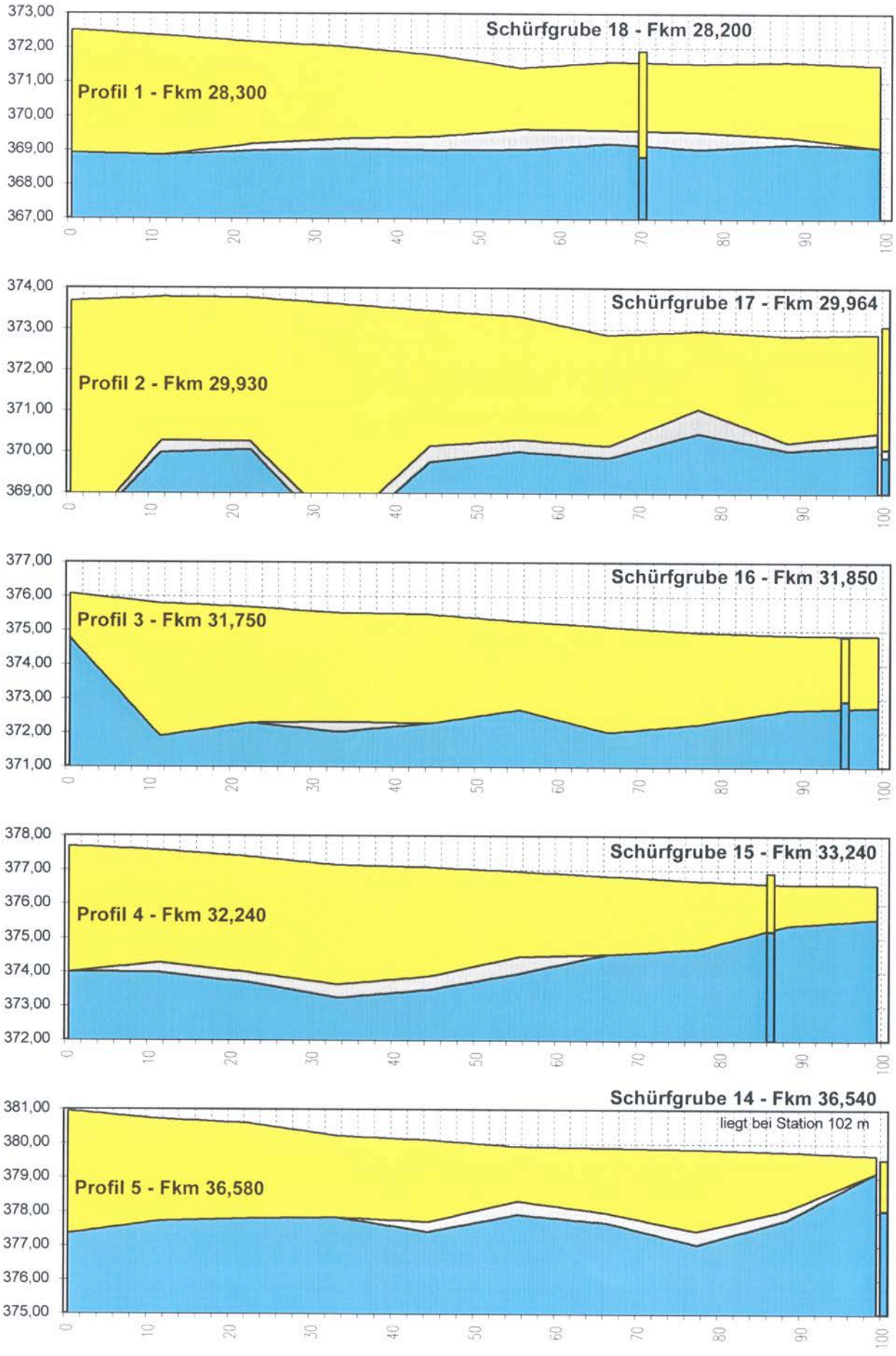
Anlage 22.9

Vergleich von Nutsondierungen
und Schürfgruben

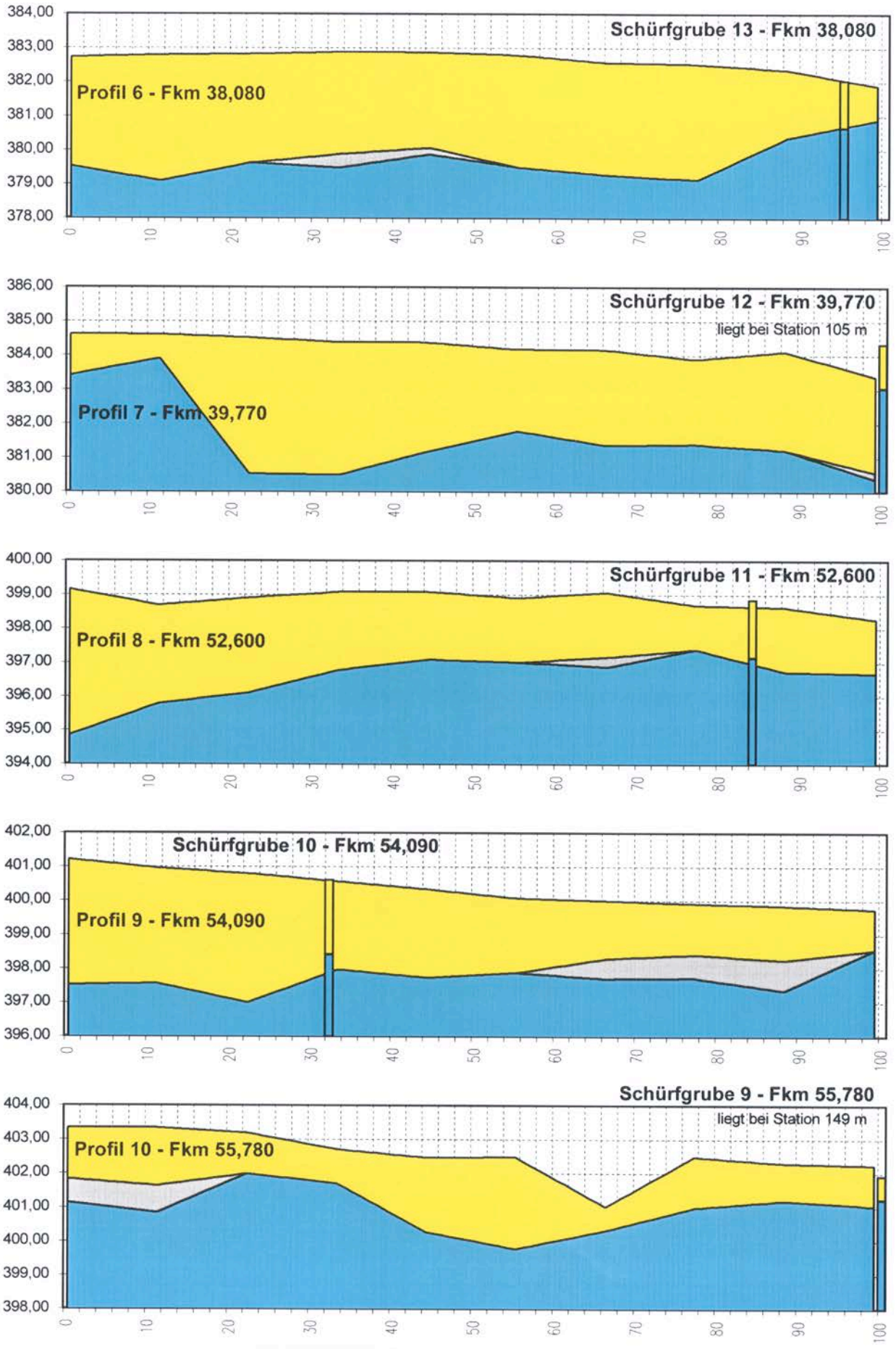
Anlage 23.1 - 23.7

M 1 : 50 000

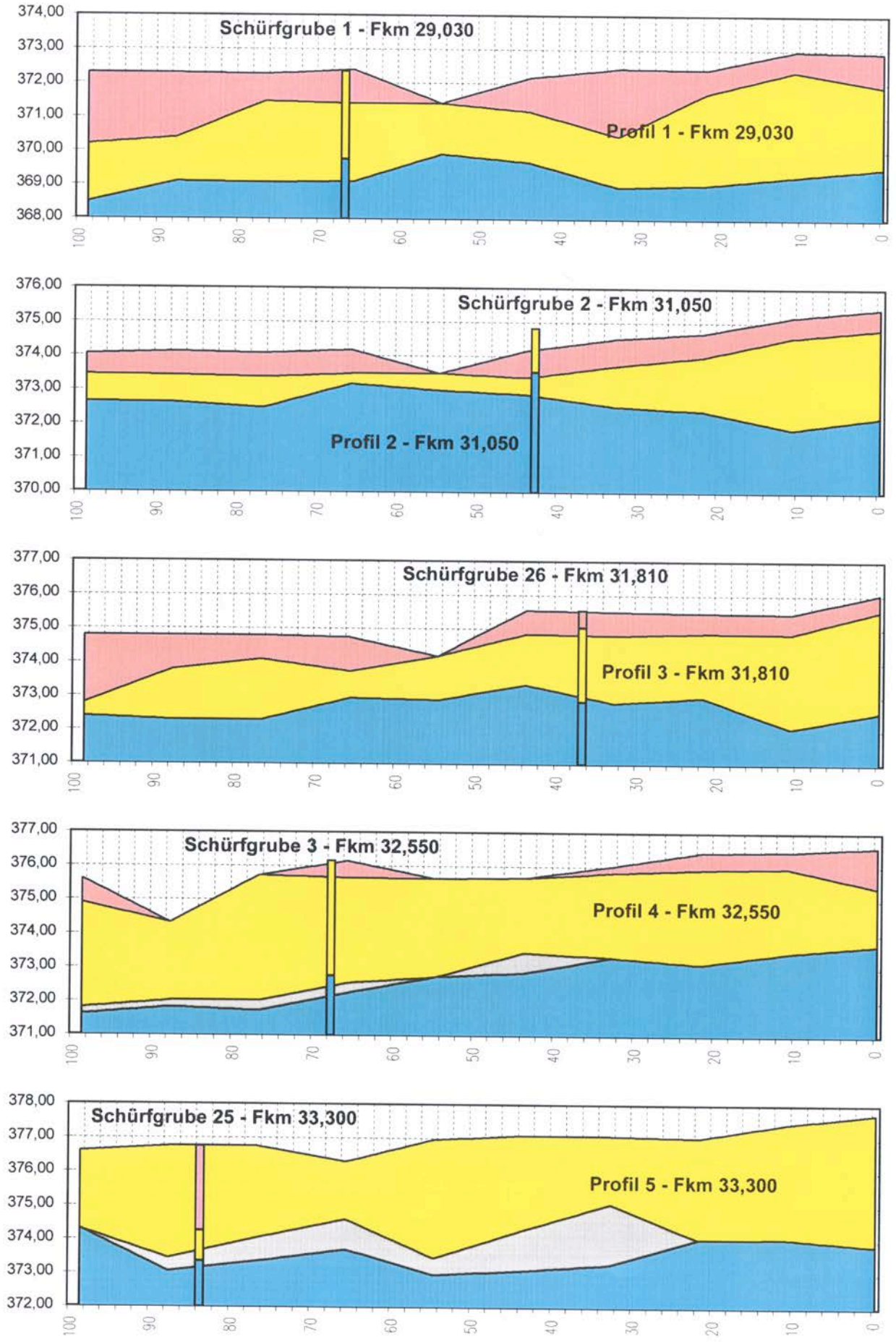
Anlage 23.1


Schürfgrube 18 - Fkm 28,200
Profil 1 - Fkm 28,300
Schürfgrube 17 - Fkm 29,964
Profil 2 - Fkm 29,930
Schürfgrube 16 - Fkm 31,850
Profil 3 - Fkm 31,750
Schürfgrube 15 - Fkm 33,240
Profil 4 - Fkm 32,240
Schürfgrube 14 - Fkm 36,540
liegt bei Station 102 m
Profil 5 - Fkm 36,580
Kies, sandig
Feinsand, schluffig
Ton, Schluff (weich)
Schluff/Feinsand (steif)

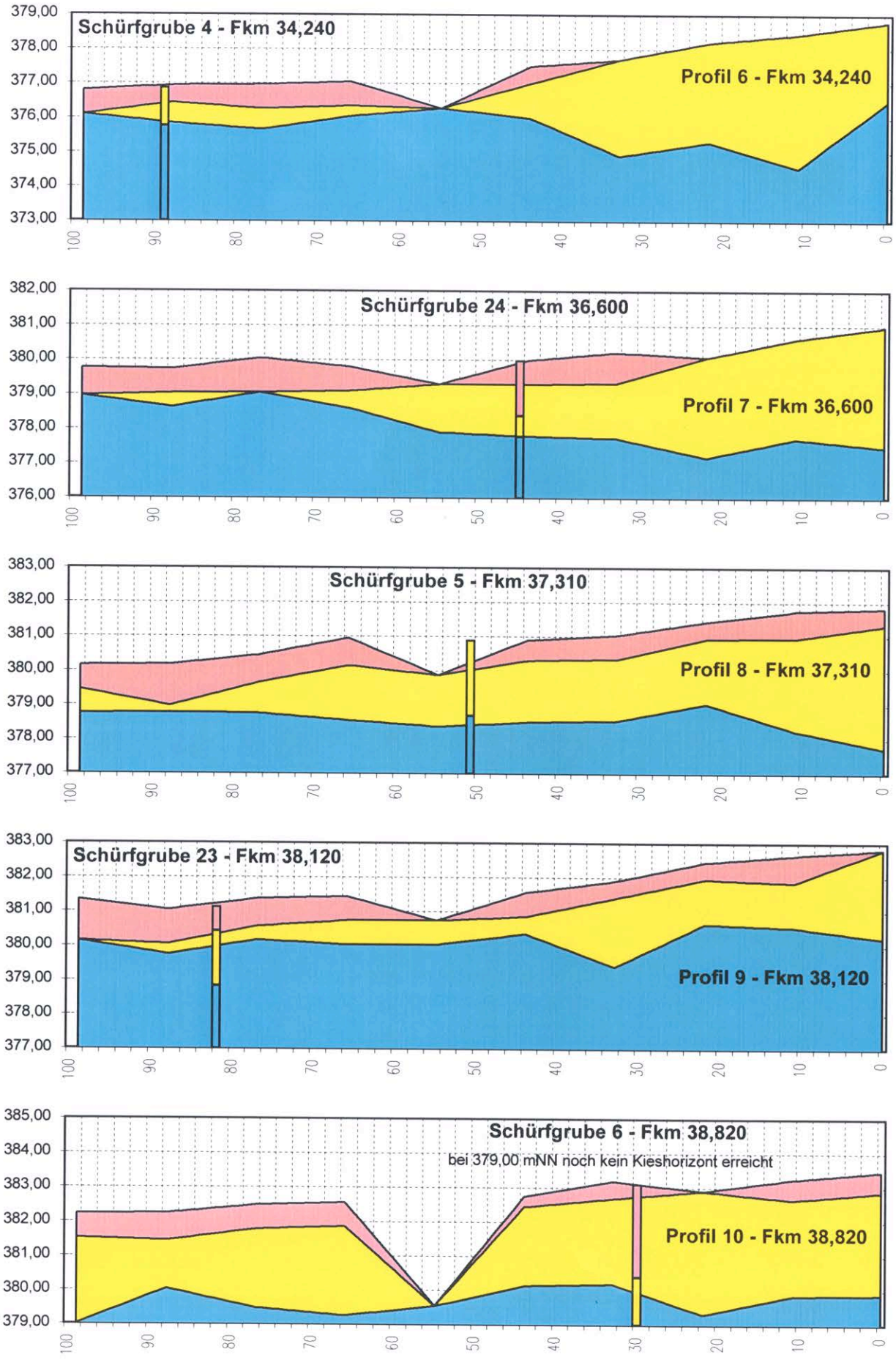
Anlage 23.2


Schürfgrube 13 - Fkm 38,080
Profil 6 - Fkm 38,080
Schürfgrube 12 - Fkm 39,770
liegt bei Station 105 m
Profil 7 - Fkm 39,770
Schürfgrube 11 - Fkm 52,600
Profil 8 - Fkm 52,600
Schürfgrube 10 - Fkm 54,090
Profil 9 - Fkm 54,090
Schürfgrube 9 - Fkm 55,780
liegt bei Station 149 m
Profil 10 - Fkm 55,780
Kies, sandig
Feinsand, schluffig
Ton, Schluff (weich)
Schluff/Feinsand (steif)

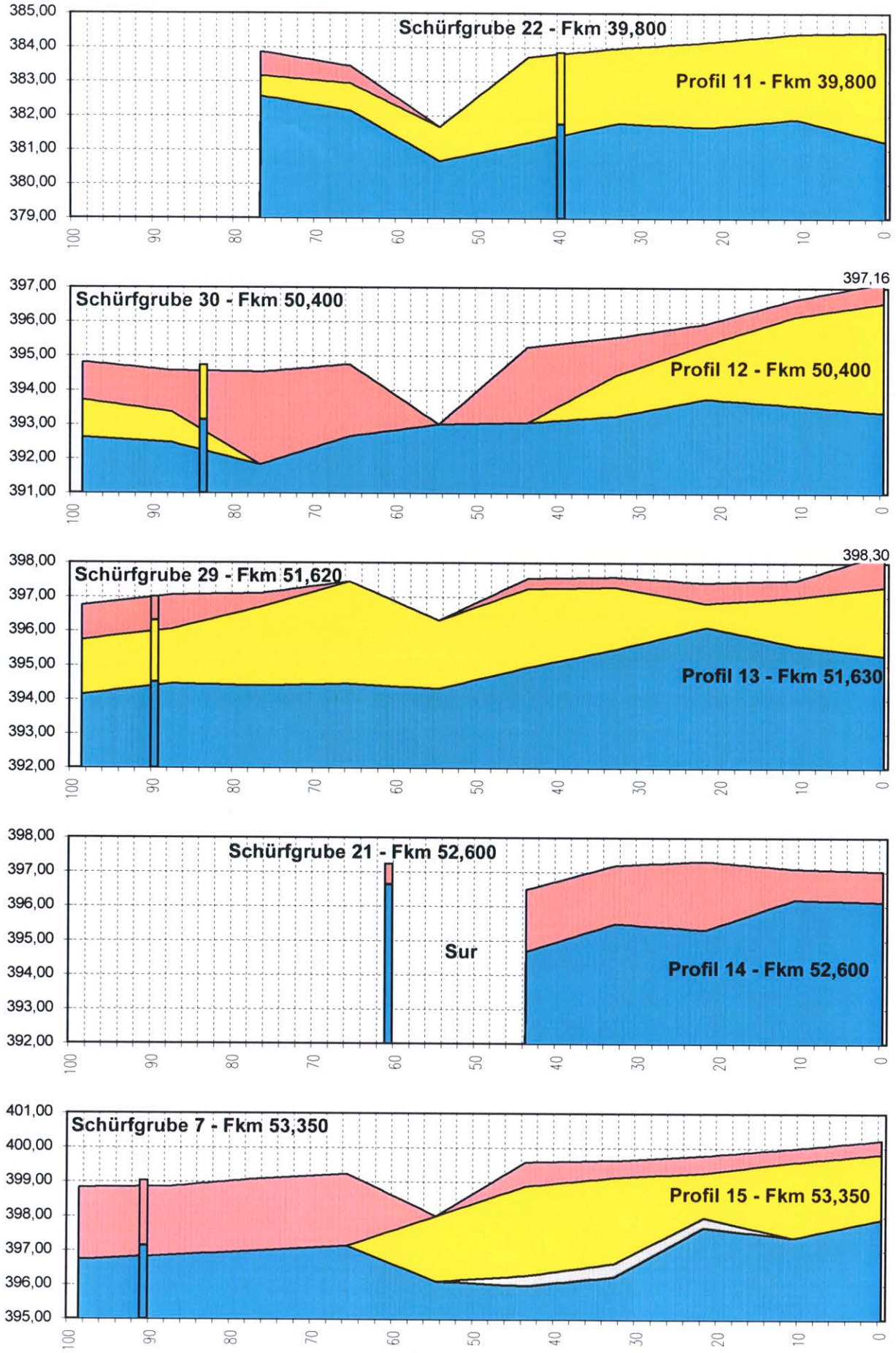
Anlage 23.3


Schürfgrube 1 - Fkm 29,030
Profil 1 - Fkm 29,030
Schürfgrube 2 - Fkm 31,050
Profil 2 - Fkm 31,050
Schürfgrube 26 - Fkm 31,810
Profil 3 - Fkm 31,810
Schürfgrube 3 - Fkm 32,550
Profil 4 - Fkm 32,550
Schürfgrube 25 - Fkm 33,300
Profil 5 - Fkm 33,300
Kies, sandig
Feinsand, schluffig
Ton, Schluff (weich)
Schluff/Feinsand (steif)

Anlage 23.4

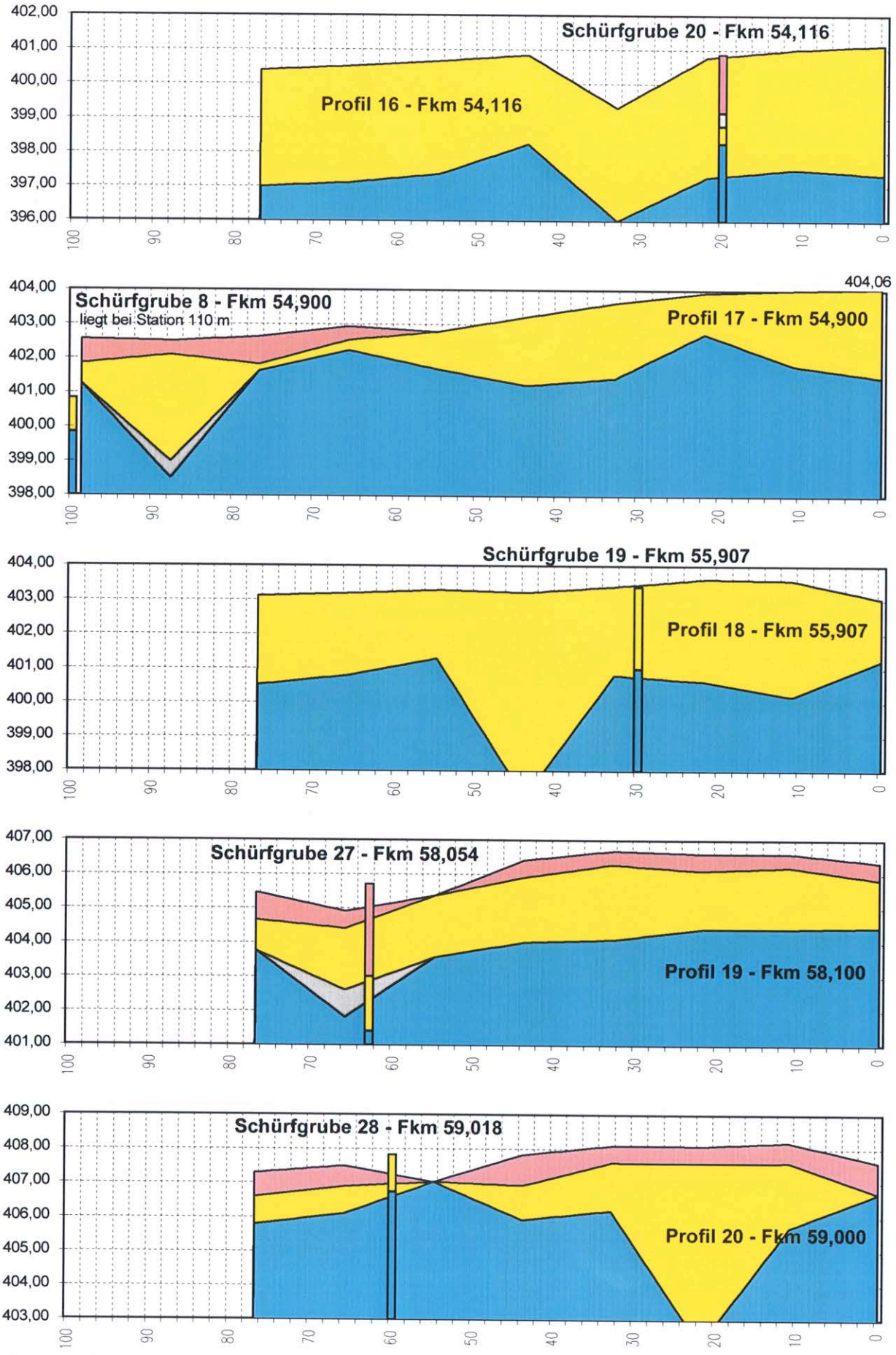

Schürfgrube 4 - Fkm 34,240
Profil 6 - Fkm 34,240
Schürfgrube 24 - Fkm 36,600
Profil 7 - Fkm 36,600
Schürfgrube 5 - Fkm 37,310
Profil 8 - Fkm 37,310
Schürfgrube 23 - Fkm 38,120
Profil 9 - Fkm 38,120
Schürfgrube 6 - Fkm 38,820
bei 379,00 mNN noch kein Kieshorizont erreicht
Profil 10 - Fkm 38,820
Kies, sandig
Feinsand, schluffig
Ton, Schluff (weich)
Schluff/Feinsand (steif)

Anlage 23.5



- Kies, sandig
- Feinsand, schluffig
- Ton, Schluff (weich)
- Schluff/Feinsand (steif)

Anlage 23.6


Schürfgrube 20 - Fkm 54,116
Profil 16 - Fkm 54,116
Schürfgrube 8 - Fkm 54,900
liegt bei Station 110 m
Profil 17 - Fkm 54,900
404,06
Schürfgrube 19 - Fkm 55,907
Profil 18 - Fkm 55,907
Schürfgrube 27 - Fkm 58,054
Profil 19 - Fkm 58,100
Schürfgrube 28 - Fkm 59,018
Profil 20 - Fkm 59,000
Kies, sandig
Feinsand, schluffig
Ton, Schluff (weich)
Schluff/Feinsand (steif)

Anlage 23.7

Tabellenteil

abschnittsweise Zusammenstellung aller Mittelwerte

Mittelwerte		$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{m,D}$	$d_{m,I}$	$d_{50,D}$	$d_{50,I}$	$d_{40,I}$	$d_{30,I}$
Probenanzahl		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Salzach oberhalb der Saalachmündung									
Abschnitt 4 (95,955-82,88)									
OGRIS (GUS-Erg.)	1			104,400	53,000				
Kiesbank/Sohle	8	137,808	94,050	70,193	42,803	67,950	32,942	22,692	14,533
Abschnitt 3 (82,88-75,062)									
OGRIS (GUS-Erg.)	1			83,500	50,000				
Kiesbank/Sohle	8	130,817	85,311	87,590	36,839	98,267	25,111	15,344	8,467
Abschnitt 2 (75,062-63,95)									
OGRIS (GUS-Erg.)	1			68,200	48,900				
Kiesbank/Sohle	19	148,515	101,758	97,984	43,177	97,450	30,215	19,112	10,480
Abschnitt 1 (63,95-59,3)									
OGRIS (GUS-Erg.)	1			69,200	45,000				
Kiesbank/Sohle	11	121,560	86,477	79,268	36,249	83,967	24,479	16,226	10,273
Salzach unterhalb der Saalachmündung									
Abschnitt 1a (59,3-53,0)									
Bohrung 1a	10		59,359		21,873		12,792	8,162	4,689
Schürfgrube 1a	22		44,116		19,036		11,632	7,947	4,958
UniBW 1a	1		72,000		25,705		13,800	9,900	6,000
OGRIS (GUS-Erg.)	1			65,900	36,500				
Vorbemessung	1	83,400	62,700	47,100	25,600		17,000		5,900
Kiesbank/Sohle	28	98,562	102,368	57,889	42,279	58,040	29,338	16,761	8,867
wie vor ohne Ö1996	22	98,562	70,063	57,889	28,345	28,345	19,187	11,443	6,557
Abschnitt 1b (53,0-49,0)									
Bohrung 1b	13		53,506		19,579		11,320	6,909	3,689
Schürfgrube 1b	11		41,273		19,584		14,900	9,227	5,436
UniBW 1b	1		60,000		21,605		10,500	6,000	3,100
OGRIS (GUS-Erg.)	1			69,200	38,000				
Vorbemessung	1	63,000	58,900	38,200	26,500		20,700		10,000
Kiesbank/Sohle	12	86,092	59,892	48,730	25,299	50,025	17,733	12,508	7,958
Abschnitt 2 (49,0-44,0)									
Bohrung 2	22		53,072		20,494		14,235	9,294	4,946
Schürfgrube 2	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 2	1		48,000		17,096		8,600	5,100	2,800
OGRIS (GUS-Erg.)	1			60,000	26,500				
Geschiebefänger	18		71,069		35,746		30,700	25,669	20,281
Vorbemessung	1	73,100	62,900	40,800	28,400		23,500		12,000
Kiesbank/Sohle	27	81,089	80,169	45,663	33,993	43,475	24,415	17,527	11,451
wie vor ohne Ö1996	21	77,304	62,178	43,765	27,293	41,184	21,463	15,912	10,477
Abschnitt 3a (44,0-38,0)									
Bohrung 3a			51,569		20,111		12,925	8,761	4,945
Schürfgrube 3a	14		46,100		17,788		11,500	8,109	5,473
UniBW 3a	1		47,000		20,209		11,200	6,900	3,400
OGRIS (GUS-Erg.)	1			60,000	26,500				
Vorbemessung	1	76,700	55,400	46,300	26,400		46,100		11,900
Kiesbank/Sohle	29	100,394	81,144	58,859	37,097	59,808	27,373	20,549	14,432
wie vor ohne Ö1996	17	100,394	59,051	58,859	26,761	59,808	21,054	15,737	10,701
Abschnitt 3b (38,0-29,0)									
Bohrung 3b	27		46,576		18,529		12,080	8,078	4,797
Schürfgrube 3b	25		49,538		20,060		13,783	9,767	6,096
UniBW 3b	1		50,000		18,578		10,000	6,000	4,100
Vorbemessung	1	57,400	45,100	30,300	19,700		27,700		8,000
Kiesbank/Sohle	41	60,318	45,879	31,990	20,268	29,451	15,125	11,597	8,555

abschnittsweise Zusammenstellung aller Mittelwerte

Mittelwerte		$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{m,D}$	$d_{m,I}$	$d_{50,D}$	$d_{50,I}$	$d_{40,I}$	$d_{30,I}$
Probenanzahl		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Abschnitt 3c (29,0-22,0)									
Bohrung 3c	14		44,753		17,944		11,804	8,127	4,991
Schürfgrube 3c	1		32,700		13,467		8,700	6,200	2,400
UniBW 3c	1		43,000		14,953		7,000	3,700	1,400
Vorbemessung	1	65,000	47,800	34,000	20,400		32,300		7,200
Kiesbank/Sohle	30	65,111	47,749	33,836	20,365	31,969	14,380	10,442	7,067
Abschnitt 4a (22,0-14,0)									
Bohrung 4a	19		50,509		20,516		14,458	9,439	5,116
Schürfgrube 4a	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 4a	1		47,200		18,520		10,500	7,000	4,300
Vorbemessung	1	69,900	59,000	38,200	28,100		35,700		13,100
Kiesbank/Sohle	28	70,466	59,019	37,845	28,088	35,090	24,790	18,466	13,135
Abschnitt 4b (14,0-8,0)									
Bohrung 4b	2		30,597		11,397		6,845	4,190	1,966
Schürfgrube 4b	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 4b	1		28,300		11,494		7,000	4,600	2,800
Vorbemessung	1	63,500	50,000	35,200	24,100		32,400		10,500
Kiesbank/Sohle	16	63,543	50,820	34,499	23,929	31,409	19,338	14,472	10,128
Abschnitt 5a (8,0-6,6)									
Bohrung 5a	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
Schürfgrube 5a	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 5a	1		28,300		11,494		7,000	4,600	2,800
Vorbemessung	1	45,900	44,100	25,400	24,800		21,200		10,700
Kiesbank/Sohle	8	45,933	44,050	25,367	24,838	21,167	18,217	13,600	10,717
Abschnitt 4b+5a (14,0-6,6)									
Bohrung 4b+5a	2		48,612		19,647		13,733	8,939	4,816
Schürfgrube 4b+5a	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 4b+5a	1		28,300		11,494		7,000	4,600	2,800
Vorbemessung	1	61,300	48,800	33,900	24,200		19,400		10,500
Kiesbank/Sohle	13	61,511	49,510	33,446	24,105	30,227	19,121	14,303	10,242
Abschnitt 5b (6,6-1,4)									
Bohrung 5b	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
Schürfgrube 5b	0		entfällt		entfällt		entfällt	entfällt	entfällt
UniBW 5b	1		28,300		11,494		7,000	4,600	2,800
Kiesbank/Sohle	4	entfällt	46,346	entfällt	22,141	entfällt	17,000	12,815	8,977
Saalach									
Abschnitt 1 (2,5-0,0)									
Bohrung 1	8	86,218	53,473	55,770	21,228	55,643	14,665	9,500	5,734
Vorbemessung	1	83,400	62,700	47,100	25,600		17,000	entfällt	5,900
Kiesbank/Sohle	6	123,878	75,054	81,715	31,232	87,989	23,022	15,416	9,165
Abschnitt 2 (8,0-2,5)									
Bohrung 1	29	75,780	46,132	44,413	18,868	43,305	13,704	9,308	5,789
Vorbemessung	1	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Kiesbank/Sohle	6	113,006	39,912	54,440	16,323	42,027	11,038	6,688	4,401
Abschnitt 3 (10,2-8,0)									
Bohrung 1	0	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Vorbemessung	1	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Kiesbank/Sohle	6	100,209	73,963	58,961	30,059	59,700	19,681	12,689	7,668
Abschnitt 4 (10,2-20,7)									
Bohrung 1	24	99,087	62,755	63,200	26,061	59,694	19,393	12,224	7,141
Vorbemessung	1	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Kiesbank/Sohle	6	114,536	78,714	73,910	34,813	73,527	26,754	20,000	14,057

Ergebnisse Luminophorenversuch Saalach - Salzach

Ergebnis Geschiebe "Gelb I" 20-100 mm (ab der 8. Entnahme keine Funde)					
Entnahme	Entnahmeort, Beschreibung	Menge	Steine [-]	Vp [%]	Entnahmedatum
1	Saal 20,0 - Bereich	550	0	0	9.-10.9.87
2	Saal 20,0-7,9	1200	0	0	13.-15.9.88
3	Saal 20,4-16,2	684	0	0	10.-11.11.88
	Saal 14,8	144	3	0,18	
	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	324	15	0,41	
	Saal 7,8 unterhalb Zollhauswehr	180	0	0	
	Saalachmündung	288	6	0,18	
4	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	324	4	0,19	15.12.88
5	Saal 2,9 und Rott	72	0	0	19.01.89
	Saalachmündung	576	2	0,03	
	Salz 52,1 Surspitze	216	1	0,04	
	Salz 48,0 Laufen	486	2	0,04	
6	Saalachmündung	576	2	0,03	
	Salz 48,0 Laufen	1746	2	0,01	
7	Salz 27,3 Bereich Tittmoning	720	3	0,01	12.10.89

Legende: Saal = Saalach-Fkm Salz = Salzach-Fkm

Vp = Verdünnungsgrad = Masse Einzelkorn * Funde / Menge

Ergebnisse Luminophorenversuch Saalach - Salzach

Ergebnis Geschiebe "Rot" 20-100 mm (14. bis 16. Entnahme keine Funde)					
Entnahme	Entnahmeort, Beschreibung	Menge [kg]	Steine [-]	Vp [%]	Entn.Dat.
3	Saal 9,0 ohne Staatswehr	324	21	0,57	10.-
	Saal 7,8 unterhalb Zollhauswehr	180	27	1,32	11.11.88
	Saalachmündung	288	34	1,04	
4	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	324	26	0,71	15.12.88
5	Saal 2,9 unterhalb Rott	72	0	0	19.01.89
	Saalachmündung	576	9	0,14	
	Salz 52,1 Surspitze	216	1	0,04	
	Salz 48,0 Laufen	486	3	0,05	
6	Saalachmündung	576	4	0,06	15.06.89
	Salz 48,0 Laufen	1746	11	0,06	
7	Salz 27,3 Bereich Tittmoning	2250	16	0,06	12.10.89
8	Salz 17,3 Raitenhaslach	738	2	0,02	1.2.90
	Salz 12,2 Burghausen	720	1	0,01	
	Salz 9,2 Durchbruch	720	7	0,08	
9	Inn 65,4-66,4 (Deponie Gstetten)	666	0	0	26.04.90
10	Saalachmündung	666	3	0,04	26.07.90
	Salz 48,0 Laufen	540	0	0	14.9.90
	Salz 27,2 Tittmoning	378	0	0	
	Salz 17,5 Raitenhaslach	252	0	0	
	Salz 12,2 Burghausen	342	0	0	
	Salz 9,3 Durchbruch	720	3	0,04	
11	Saalachmündung	648	2	0,03	8.11.90
	Salz 48,0 Laufen	414	0	0	
	Salz 47,4 Oberndorf	324	1	0,03	
12	Salz 45,5 Osing	450	3	0,06	24.-25.9.91
	Salz 40,0 Lebenau	468	4	0,08	
	Salz 27,3 Tittmoning	486	0	0	
	Salz 23,4 Hochöster	288	6	0,18	
	Salz 17,2 Raitenhaslach	396	5	0,11	
	Salz 12,2 Burghausen	576	14	0,21	
	Salz 9,5 Durchbruch	270	0	0	
	Salz 5,0-6,0 Staubereich	1242	5	0,13	
17	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	288	4	0,12	22.-
	Saalachmündung	306	27	0,78	24 .11.95
	Salz 48,0 Laufen	180	3	0,15	
	Salz 26,8 Tittmoning	216	3	0,12	
	Salz 20,0-20,4 Hochöster	504	292	4,84	
	Salz 17,2 Raitenhaslach	216	3	0,12	
	Salz 12,2 Burghausen	288	129	3,94	
	Salz 9,3 Durchbruch	270	92	3,00	

Legende: Saal = Saalach-Fkm Salz = Salzach-Fkm
Vp = Verdünnungsgrad = Masse Einzelkorn * Funde / Menge

Ergebnisse Luminophorenversuch Saalach - Salzach

Ergebnis Geschiebe "Grün" 20-100 mm

(Eingabe vor der 10. Entnahme, 14. bis 17 Entnahme keine Funde)

Entnahme	Entnahmeort, Beschreibung	Menge [kg]	Steine [-]	Vp [%]	Entnahmedatum
10	Saalachmündung	666	2	0,03	26.07.90
	Salz 48,0 Laufen	540	0	0	14.09.90
	Salz 27,2 Tittmoning	378	2	0,05	
	Salz 17,5 Raitenhaslach	252	2	0,07	
	Salz 12,2 Burghausen	342	2	0,05	
	Salz 9,3 Durchbruch	720	4	0,05	
11	Saalachmündung	648	8	0,11	8.11.90
	Salz 48,0 Laufen	414	0	0	
	Salz 47,4 Oberndorf	324	2	0,05	
12	Salz 45,5 Osing	450	0	0	24.-25.09.91
	Salz 40,0 Lebenau	468	3	0,06	
	Salz 27,3 Tittmoning	486	1	0,02	
	Salz 23,4 Hochöster	288	1	0,03	
	Salz 17,2 Raitenhaslach	396	0	0	
	Salz 12,2 Burghausen	576	7	0,11	
	Salz 9,5 Durchbruch	270	3	0,10	
	Salz 5,0-6,0 Staubereich	342	1	0,03	

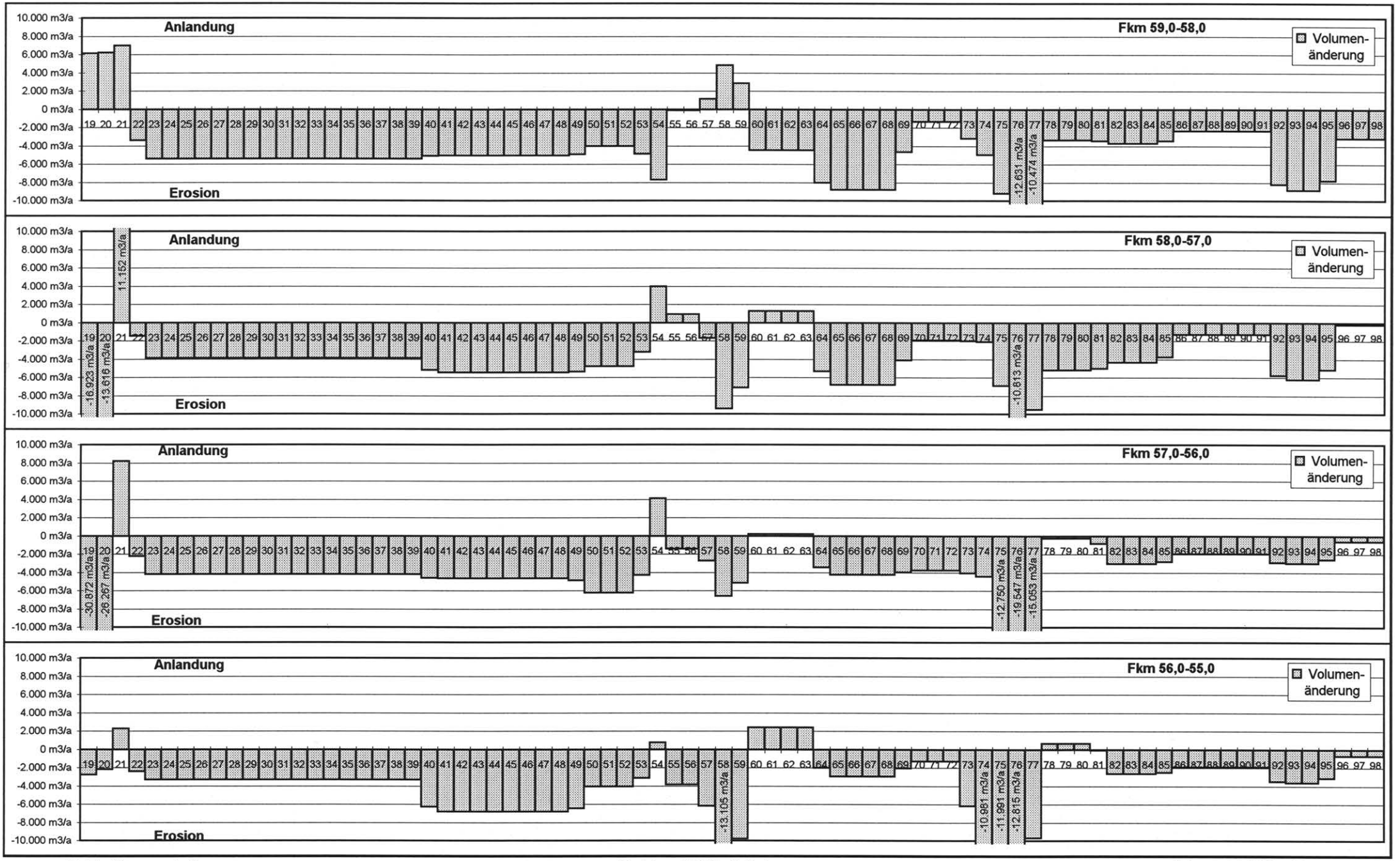
Legende: Saal = Saalach-Fkm Salz = Salzach-Fkm

Vp = Verdünnungsgrad = Masse Einzelkorn * Funde / Menge

Ergebnisse Luminophorenversuch Saalach - Salzach

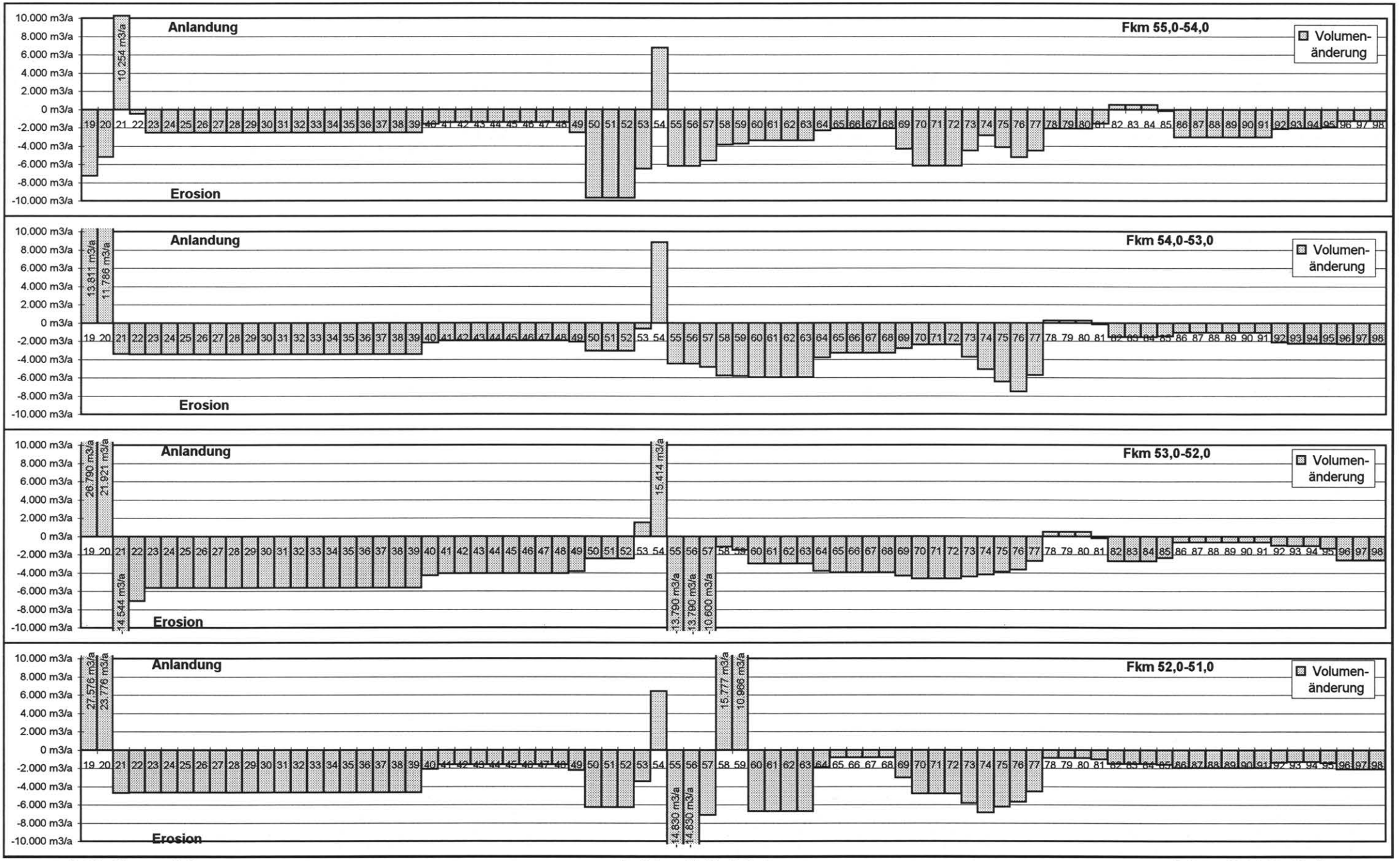
Ergebnis Geschiebe "Gelb II" 20-100 mm (Eingabe erst vor der 14. Entnahme)					
Entnahme	Entnahmeort, Beschreibung	Menge [kg]	Steine [-]	Vp [%]	Entnahmedatum
14	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	378	12	0,38	13.-14.1.92
	Saalachmündung	180	0	0	
	Salz 48,0 Laufen	360	8	0,20	
	Salz 40,0 Lebenau	540	10	0,16	
	Salz 28,7 Tittmoning	396	5	0,11	
	Salz 20,2 Hochöster	0	0	0	
	Salz 17,3 Raitenhaslach	450	3	0,06	
	Salz 12,3 Burghausen	396	0	0	
	Salz 9,2 Durchbruch	504	3	0,05	
15	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	270	2	0,07	11.-12.8.93
	Saalachmündung	450	4	0,08	
	Salz 48,0 Laufen	342	2	0,05	
	Salz 40,0 Lebenau	360	1	0,02	
	Salz 28,7 Tittmoning	450	2	0,04	
	Salz 20,2 Hochöster	324	2	0,06	
	Salz 17,3 Raitenhaslach	396	2	0,04	
	Salz 12,3 Burghausen	360	6	0,15	
	Salz 9,2 Durchbruch	396	1	0,02	
16	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	234	0	0	26.-27.7.94
	Saalachmündung	540	7	0,11	
	Salz 48,0 Laufen	450	4	0,08	
	Salz 40,0 Lebenau	450	2	0,04	
	Salz 28,7 Tittmoning	414	3	0,06	
	Salz 20,2 Hochöster	432	0	0	
	Salz 17,3 Raitenhaslach	450	0	0	
	Salz 12,3 Burghausen	450	2	0,04	
	Salz 9,2 Durchbruch	378	1	0,02	
17	Saal 9,0 oberhalb Staatswehr	288	0	0	22.-24.11.95
	Saalachmündung	306	0	0	
	Salz 48,0 Laufen	180	1	0,05	
	Salz 26,8 Tittmoning	216	0	0	
	Salz 20,0-20,4 Hochöster	504	2	0,04	
	Salz 17,2 Raitenhaslach	216	4	0,16	
	Salz 12,2 Burghausen	288	2	0,06	
	Salz 9,3 Durchbruch	270	0	0	
Legende:	Saal = Saalach-Fkm Salz = Salzach-Fkm Vp = Verdünnungsgrad = Masse Einzelkorn * Funde / Menge				

abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen

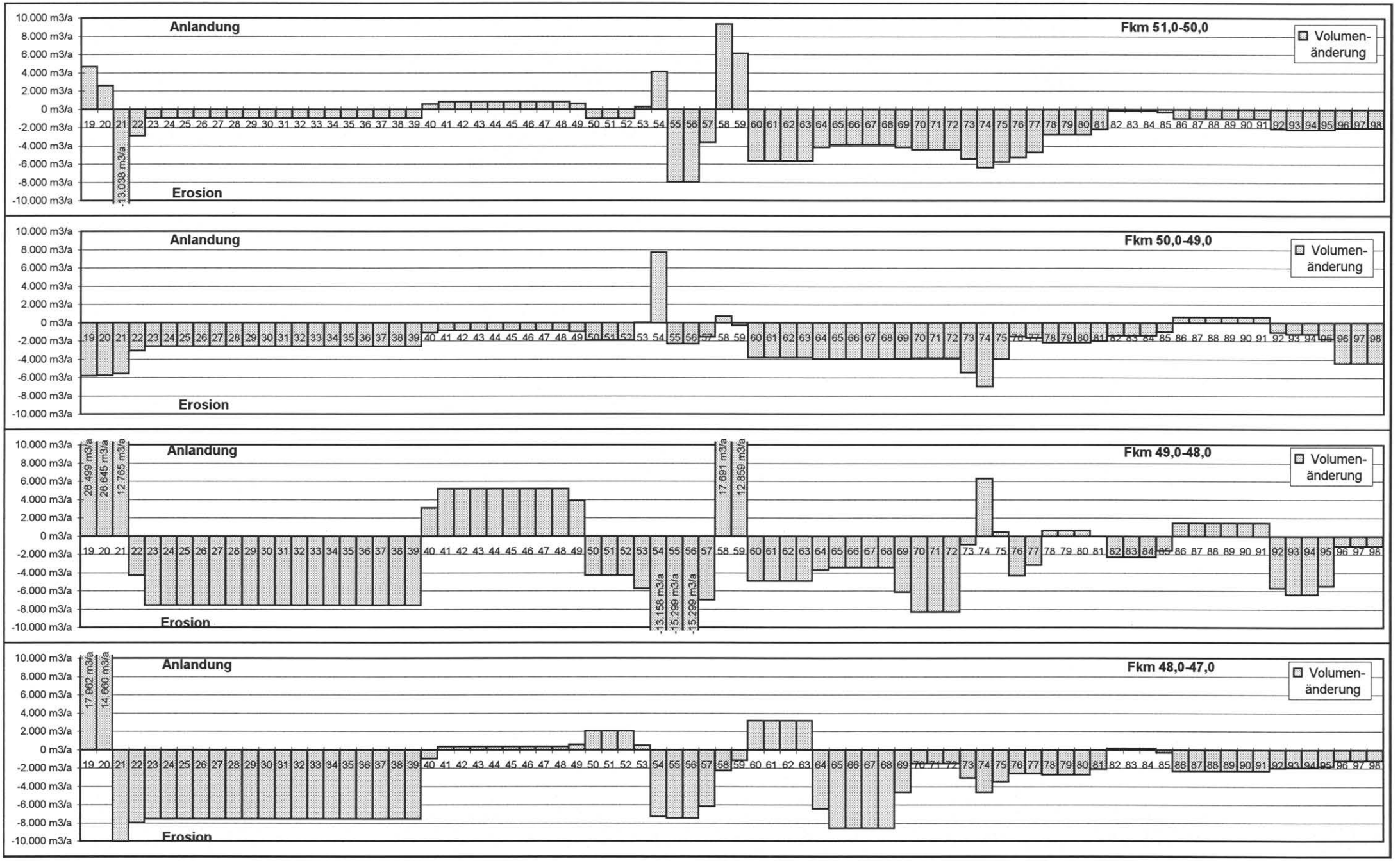


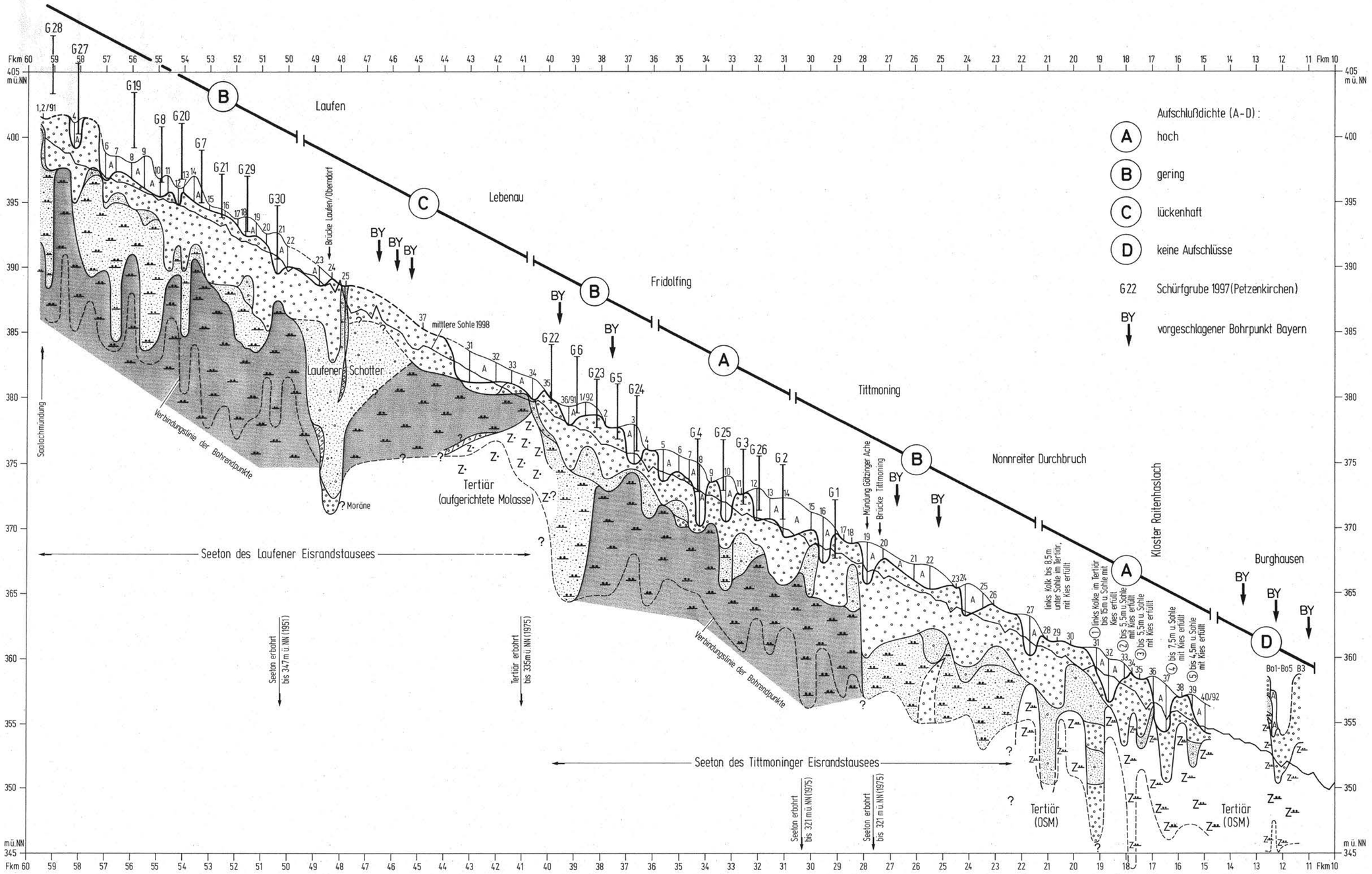
Datei: Masse_a.dm3 Register: 59-55 - Seite 1 Datum: 24.11.99 - 16:48

abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen





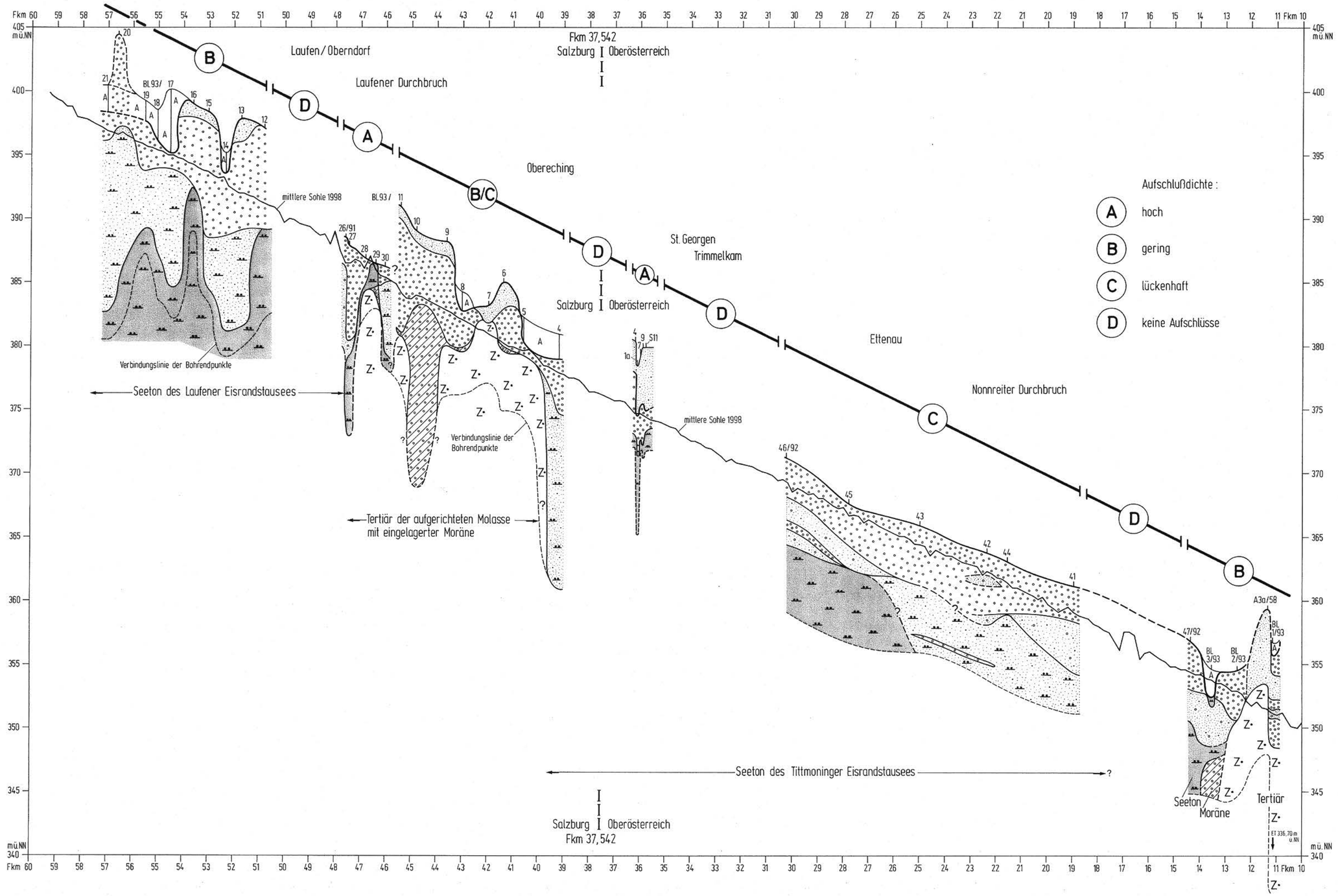
Anlage 25.1

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle
Linkes Ufer

M 1 : 125 000 / 250



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies, Sand, z.T. kiesig } Geschiebe der Salzach, Laufener Schotter
- Moräne
- schluffig-sandig, schluffig-tonig } Seeton

Tertiär

- Z· Sandstein, sandsteinartig

- mittlere Sohle 1998
- A künstliche Aufschüttung für Bohrung auf Kiesbank oder im Wasser

Bohrungen

20	Nummer der Bohrung
26/91	Serie 1991
46/92	Serie 1992
BL93	Serie 1993
1a,4,7,9,S11	Sonderuntersuchung 1983 bei Fkm 36
A3a/58	Brücke Burghausen 1958

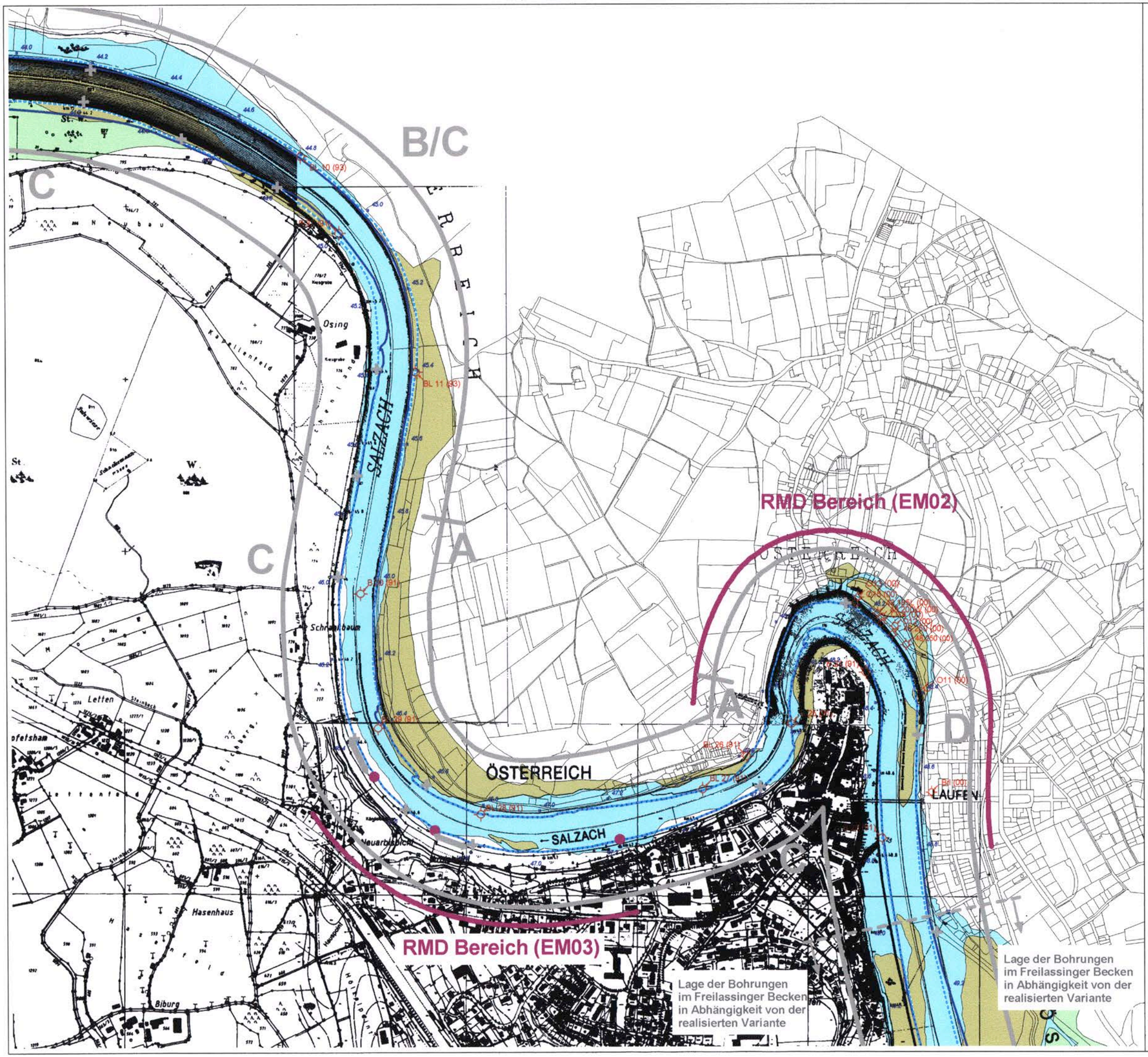
Anlage 25.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle
Rechtes Ufer

M 1 : 125 000 / 250



Legende:

Geologische Erkundungen

- Schürfgrube mit Nummer (Grube 7)
- Nutsondierung mit Nummer (Profil A5)
- Bohrung mit Bohrnummer und Jahreszahl (B 2 (91))

WRS - Basisvarianten (Stand 09/00)

- Variante 2
- Variante 2/3

Topographische Elemente

- Flußkilometer

Historische Karte 1817

- Wasser
- Schotter
- Wald
- Wiese, Freifläche

- Aufschlußdichte der Bohrungen
  - A - hoch
  - B - gering
  - C - lückenhaft
  - D - keine Aufschlüsse
- Erkundungsbereich RMD
- mögliche Bohrungsstandorte nach WRS (Geoteam)
- mögliche Bohrungsstandorte nach RMD

1 ha — Maßstab 1 : 10.000

0 100 200 300 400 500 m

Anlage 26

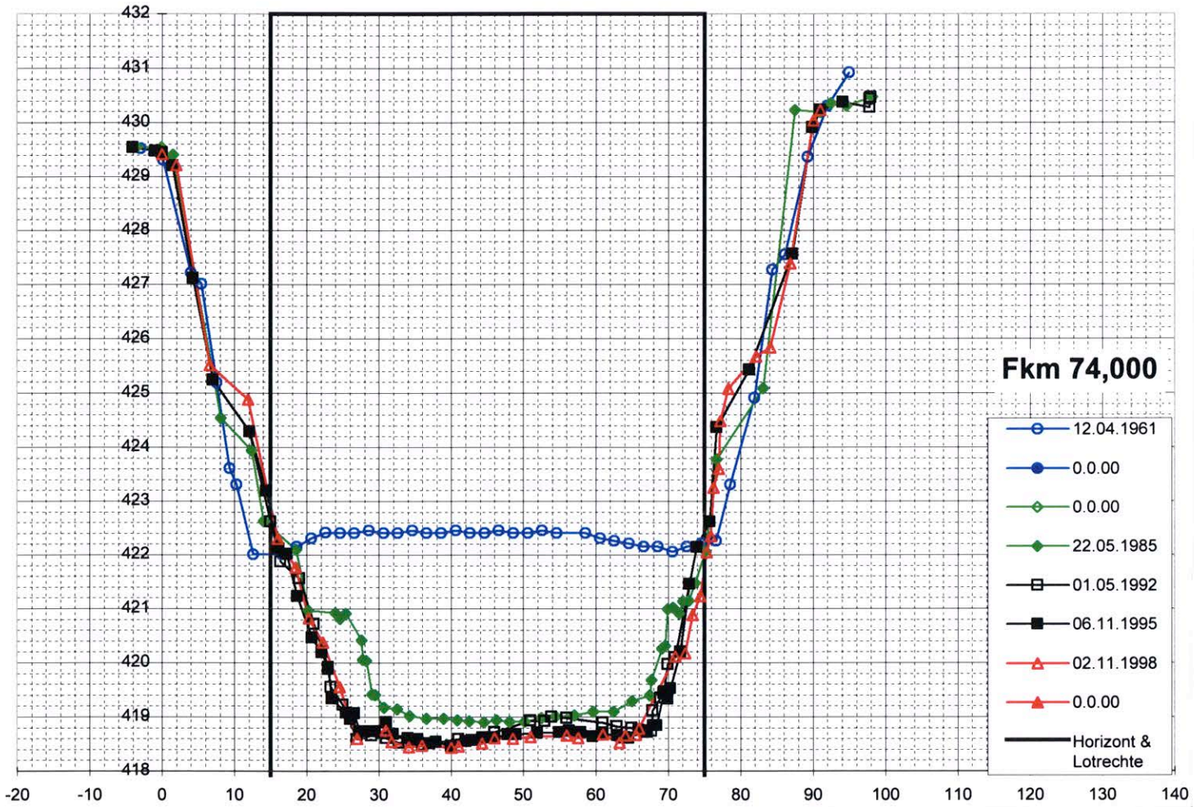
Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

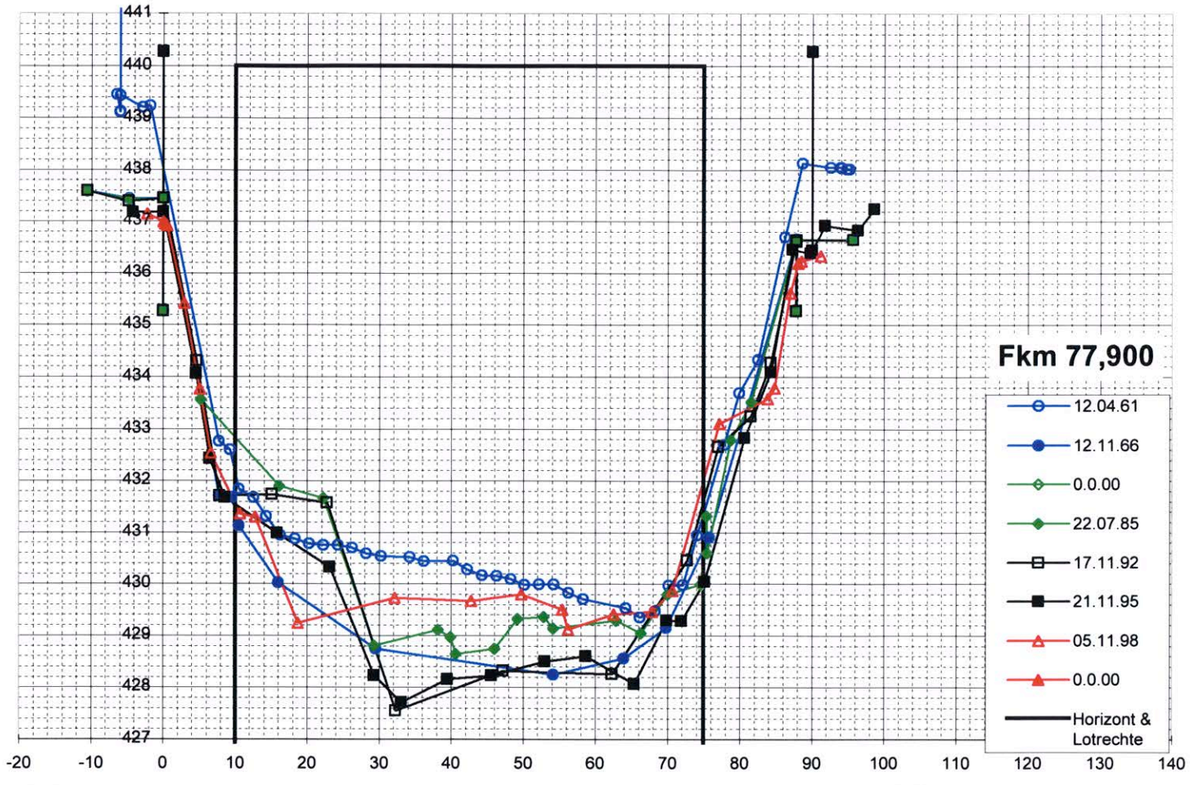
Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

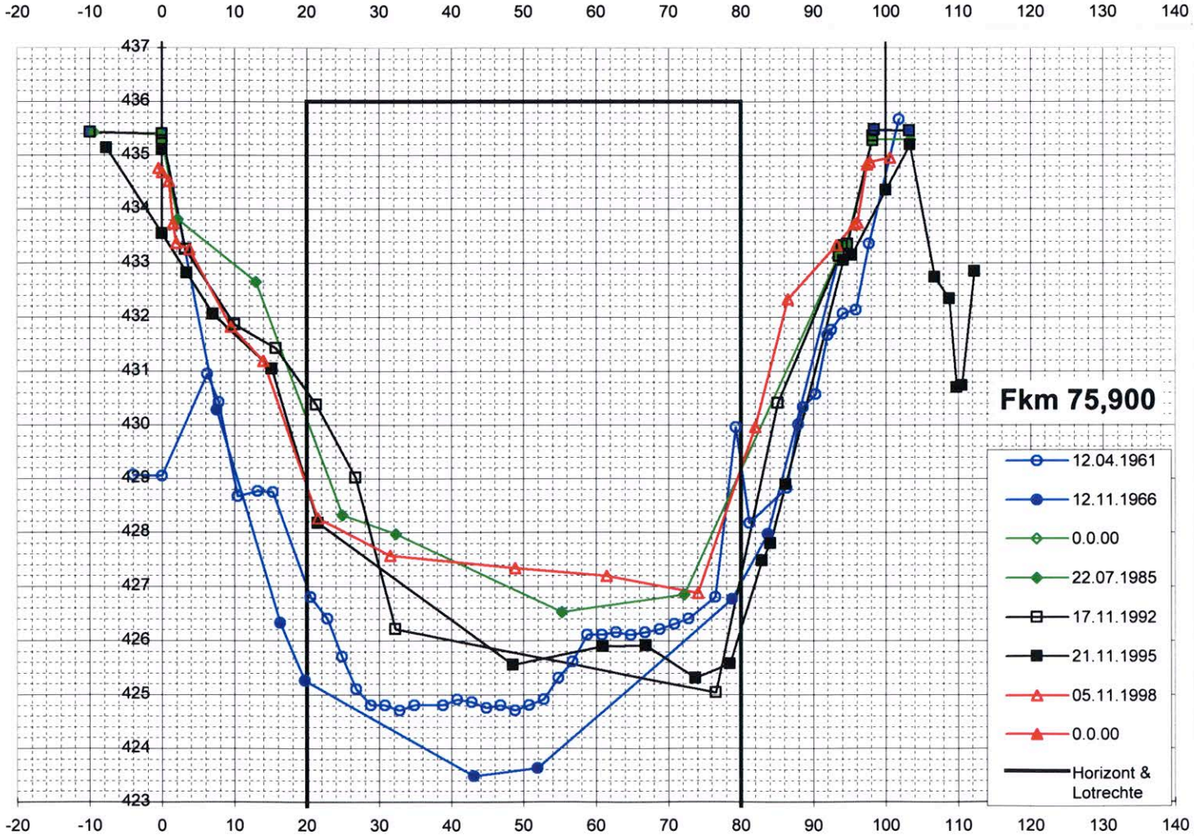
Lageplan mit geologischen Aufschlüssen und Ergänzungsvorschlag

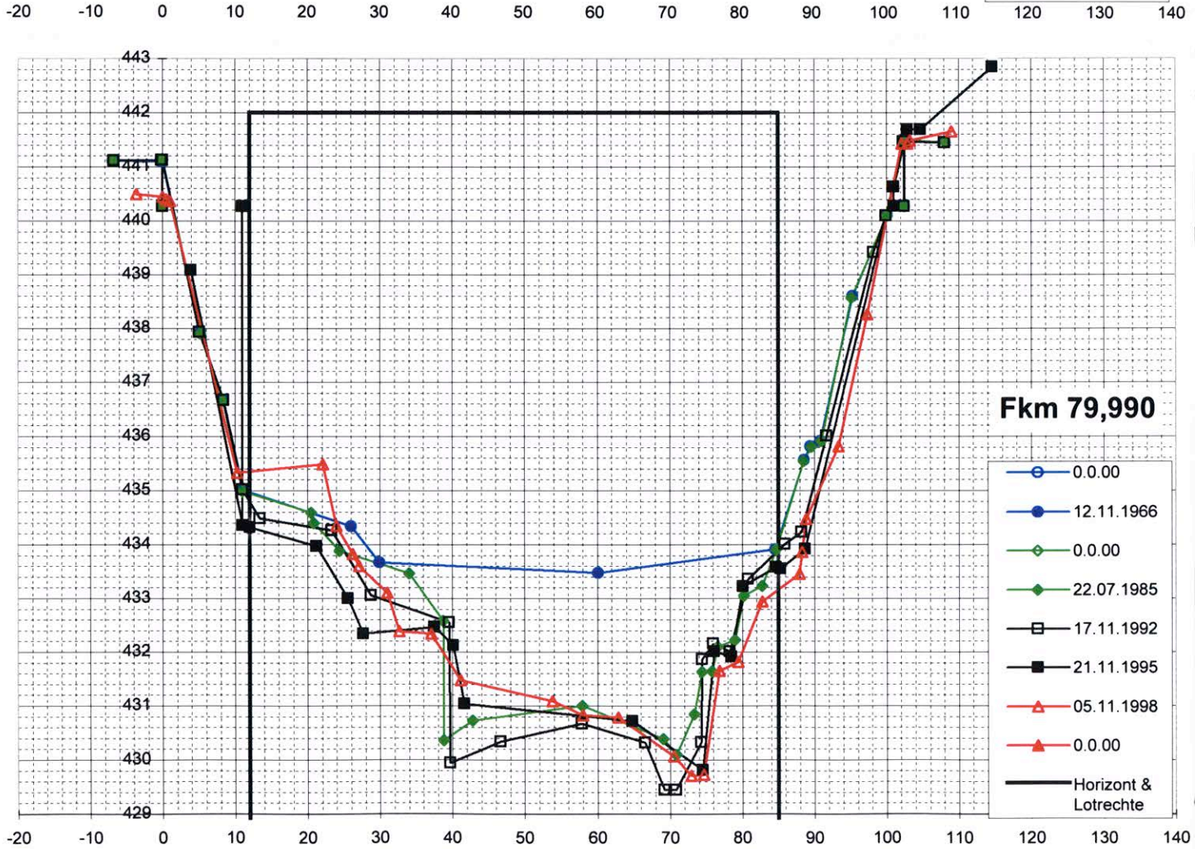
M 1 : 10 000

Kartographie: ICRA 10/2000

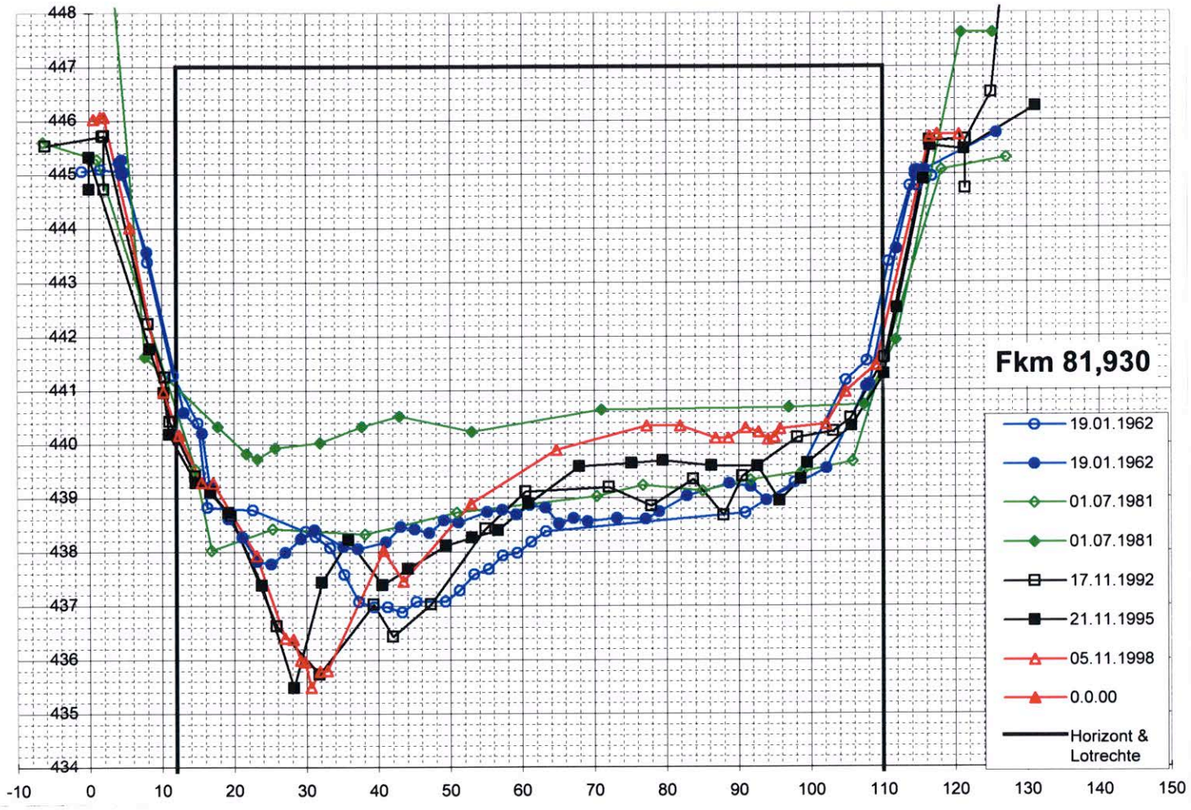

Fkm 74,000
12.04.1961
0.0.00
0.0.00
22.05.1985
01.05.1992
06.11.1995
02.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

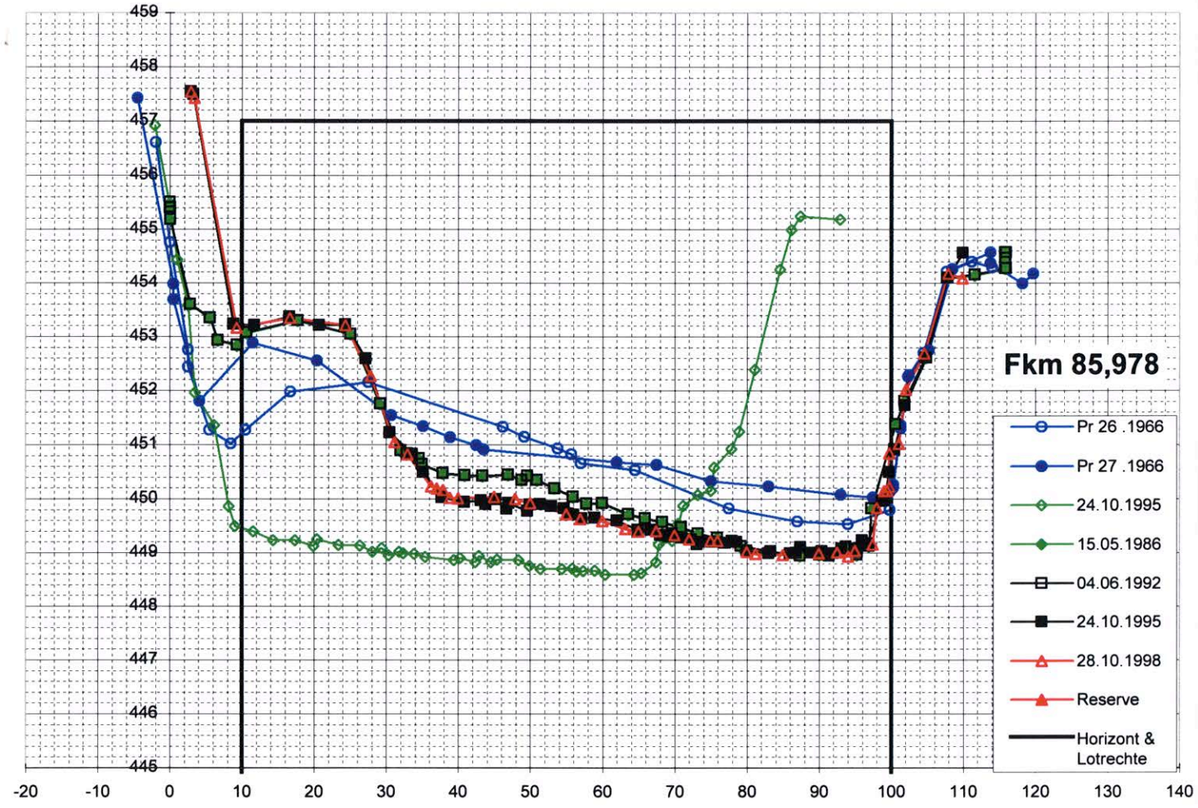

Fkm 77,900
12.04.61
12.11.66
0.0.00
22.07.85
17.11.92
21.11.95
05.11.98
0.0.00
Horizont & Lotrechte

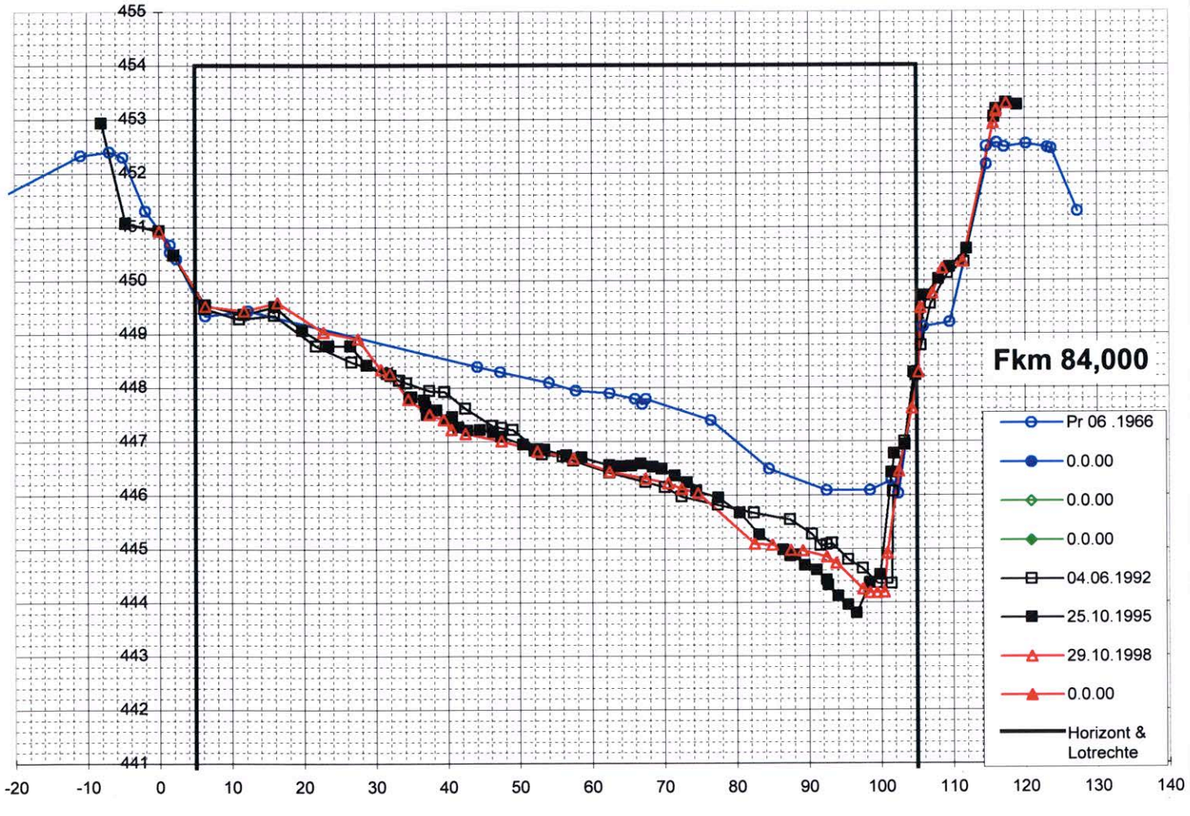

Fkm 75,900
12.04.1961
12.11.1966
0.0.00
22.07.1985
17.11.1992
21.11.1995
05.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

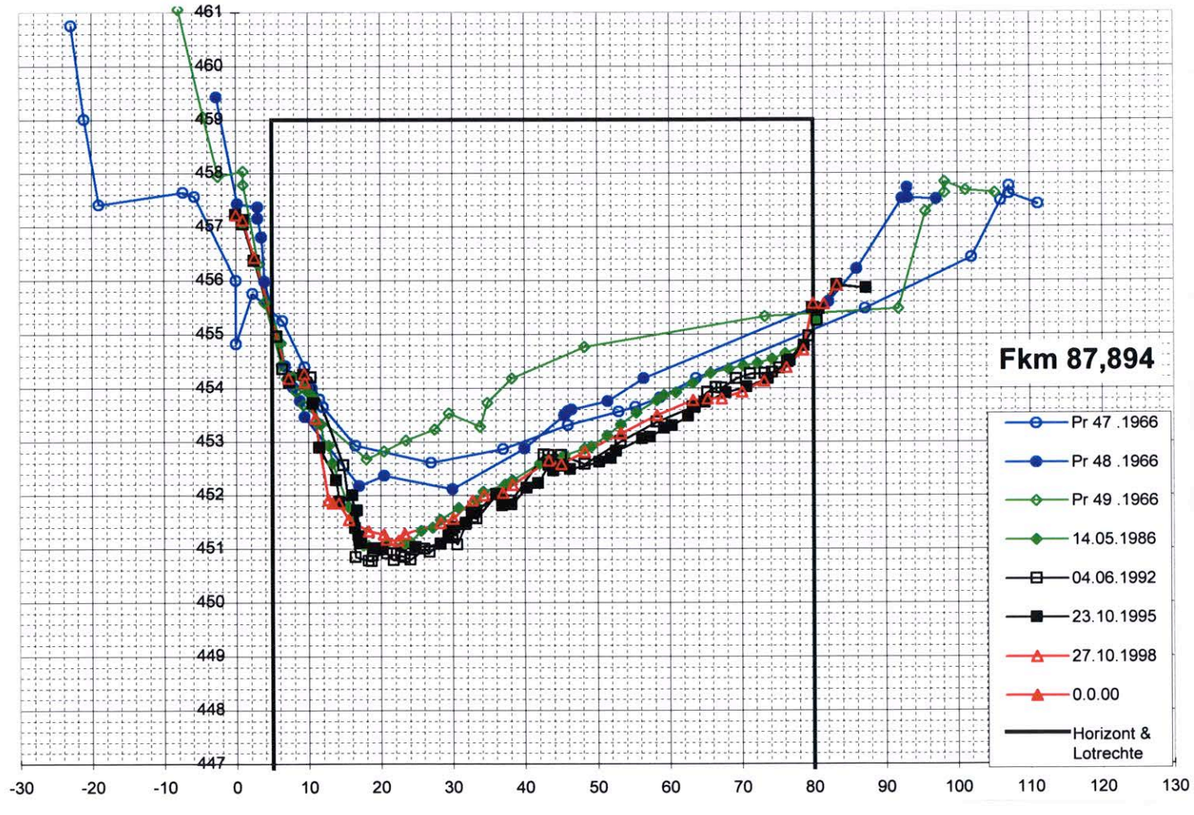

Fkm 79,990
0.0.00
12.11.1966
0.0.00
22.07.1985
17.11.1992
21.11.1995
05.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.10

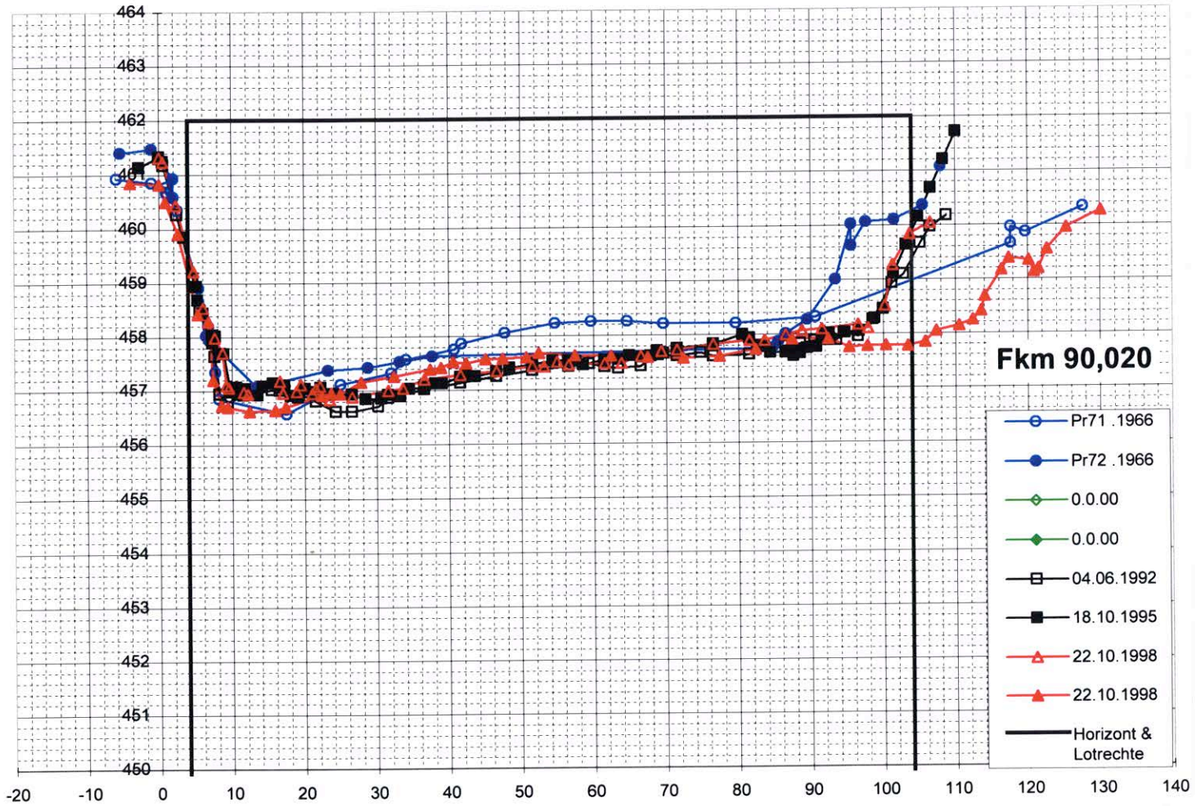

Fkm 81,930
19.01.1962
19.01.1962
01.07.1981
01.07.1981
17.11.1992
21.11.1995
05.11.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

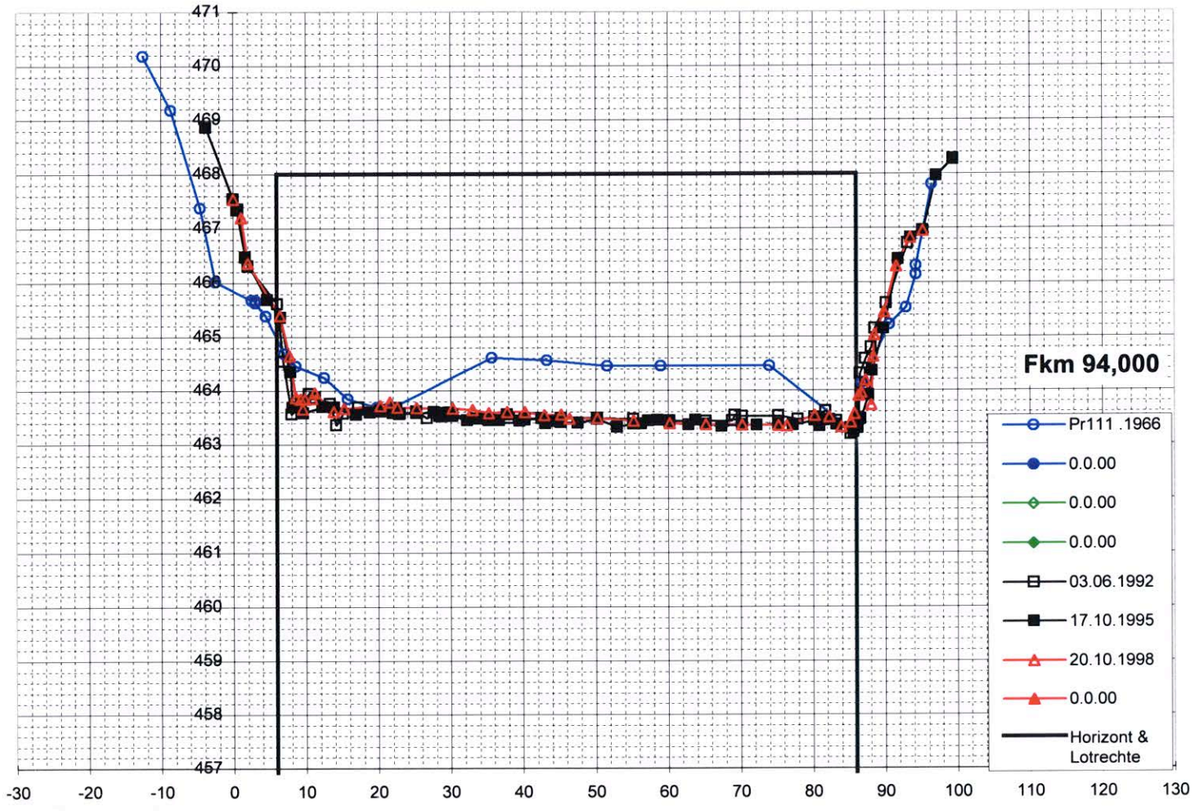

Fkm 85,978
Pr 26 .1966
Pr 27 .1966
24.10.1995
15.05.1986
04.06.1992
24.10.1995
28.10.1998
Reserve
Horizont & Lotrechte

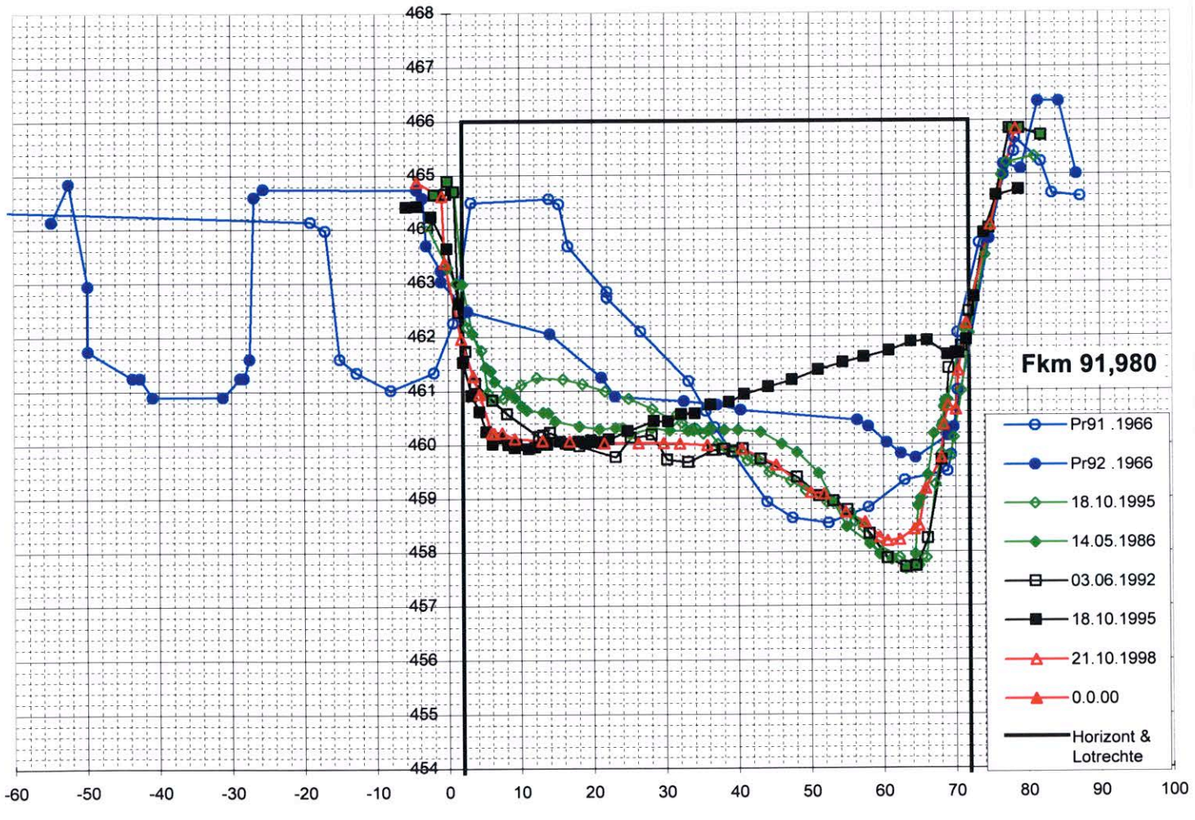

Fkm 84,000
Pr 06 .1966
0.0.00
0.0.00
0.0.00
04.06.1992
25.10.1995
29.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

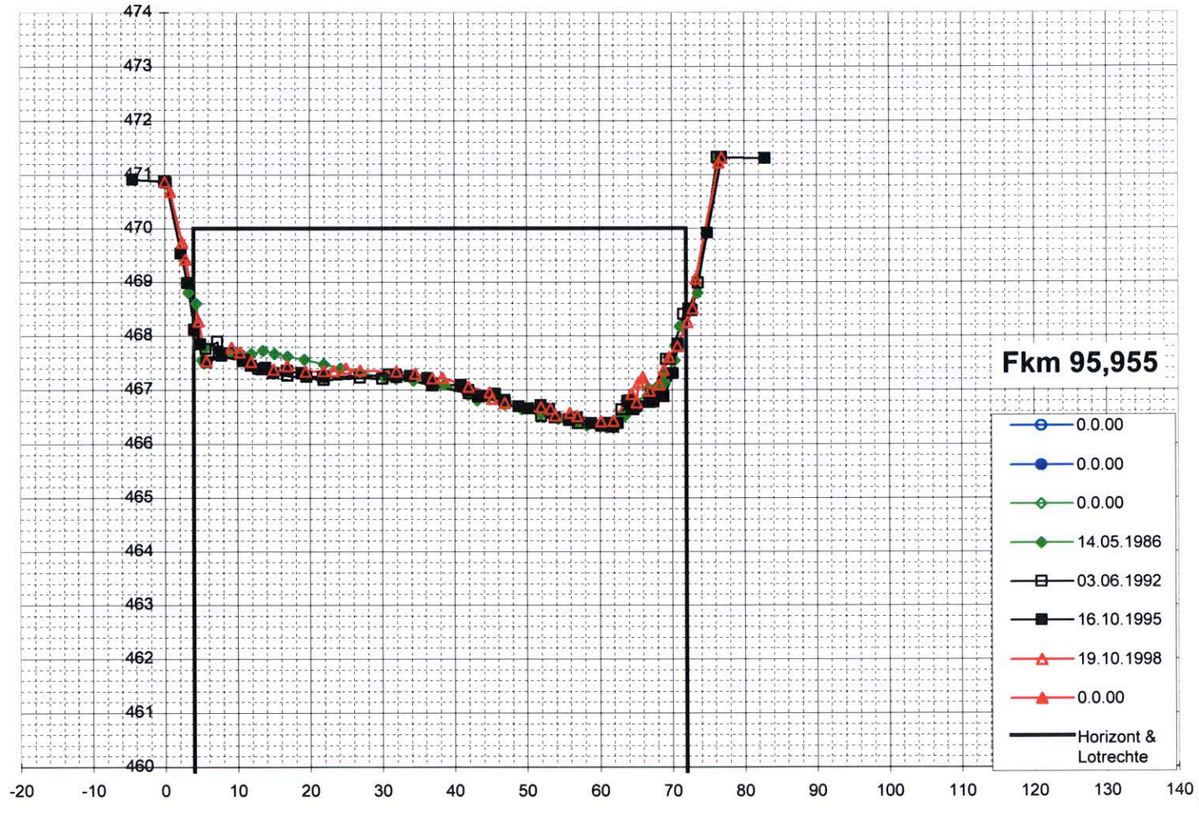

Fkm 87,894
Pr 47 .1966
Pr 48 .1966
Pr 49 .1966
14.05.1986
04.06.1992
23.10.1995
27.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.11

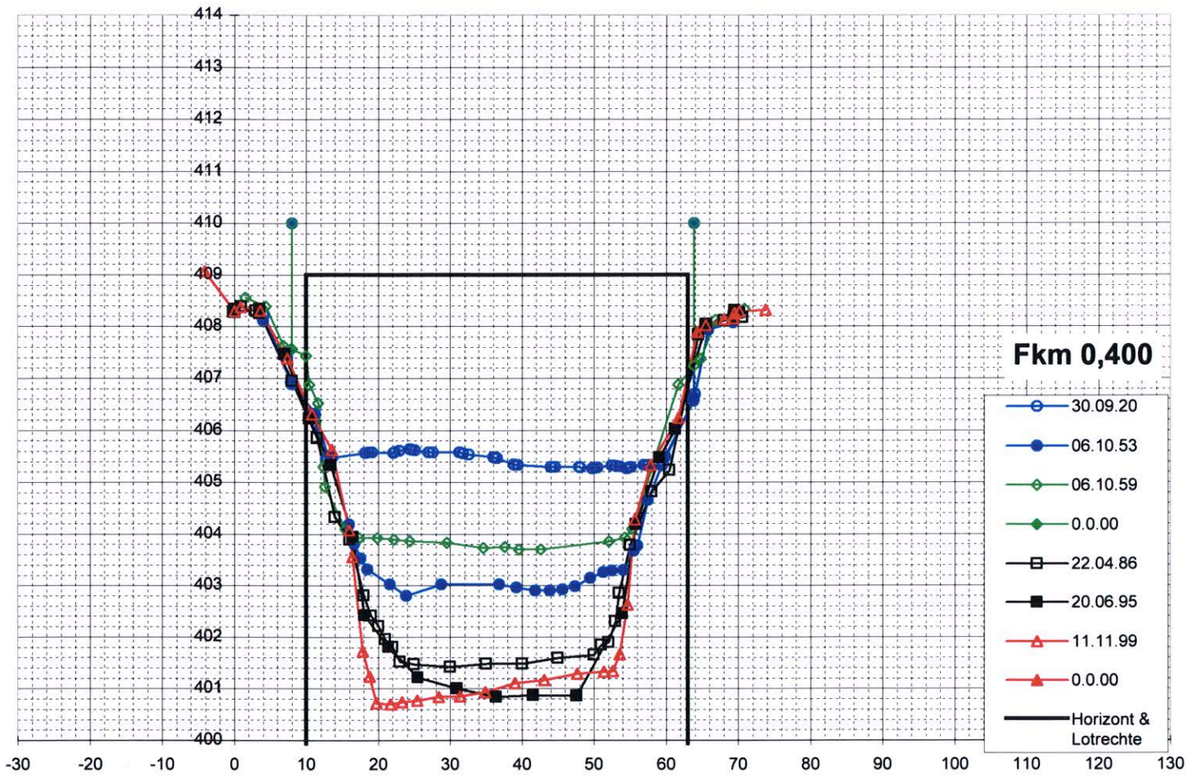

Fkm 90,020
Pr71 .1966
Pr72 .1966
0.0.00
0.0.00
04.06.1992
18.10.1995
22.10.1998
22.10.1998
Horizont & Lotrechte

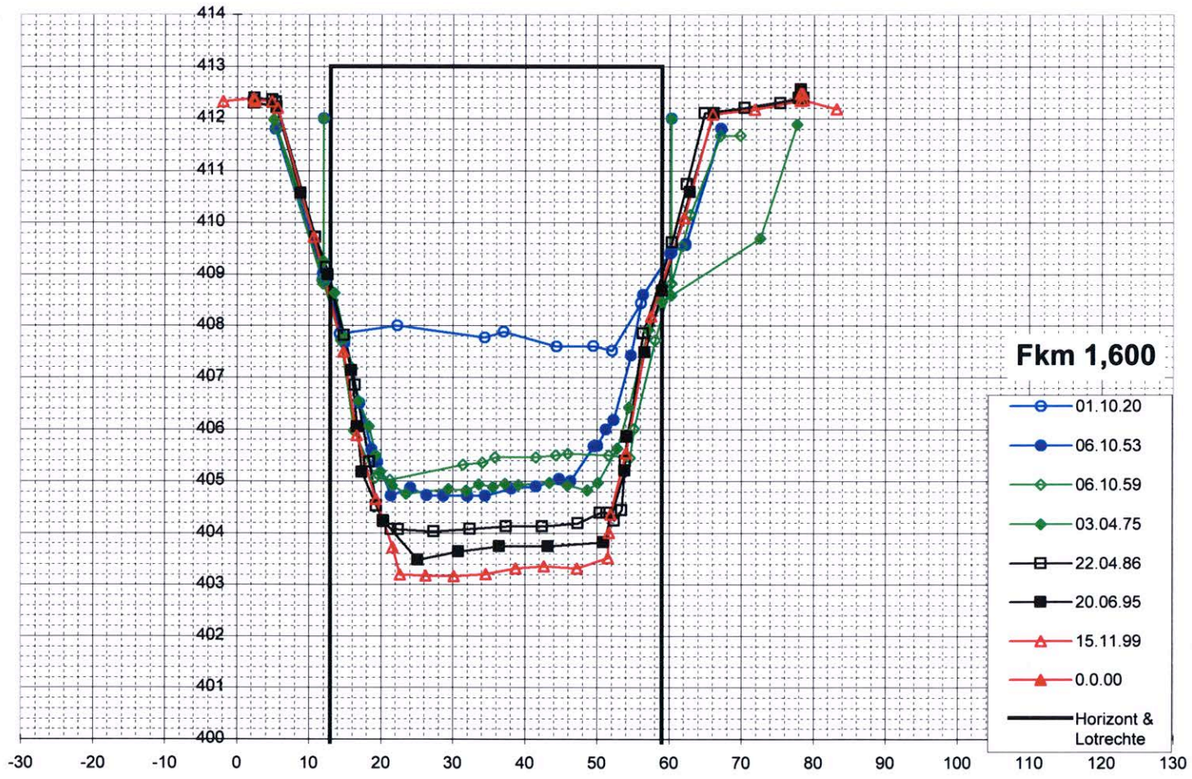

Fkm 94,000
Pr111 .1966
0.0.00
0.0.00
0.0.00
03.06.1992
17.10.1995
20.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

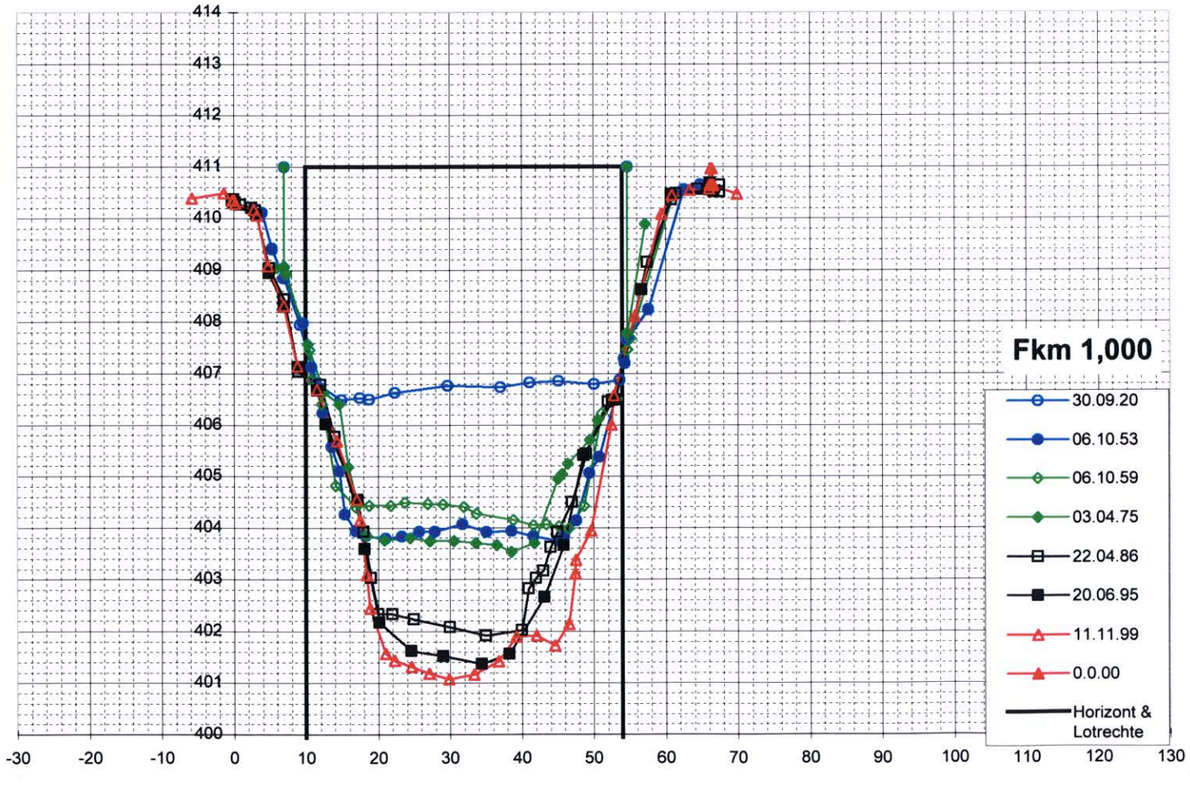

Fkm 91,980
Pr91 .1966
Pr92 .1966
18.10.1995
14.05.1986
03.06.1992
18.10.1995
21.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

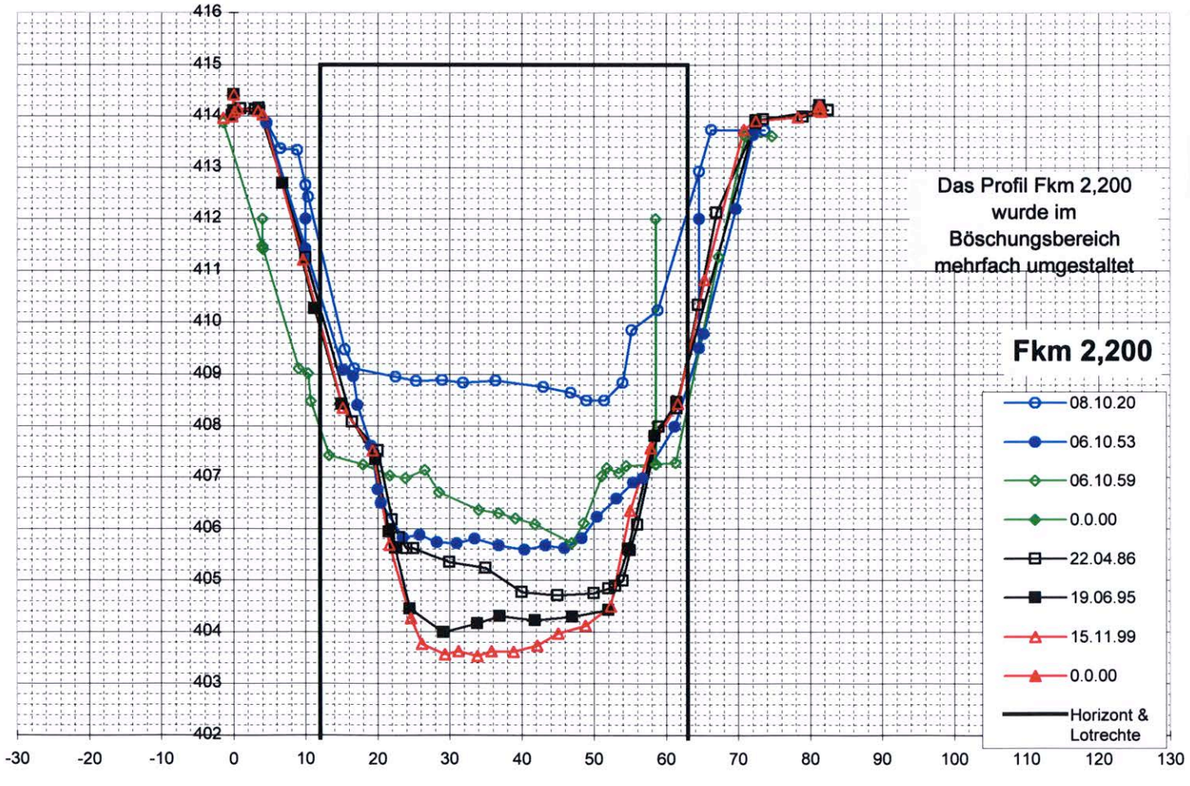

Fkm 95,955
0.0.00
0.0.00
0.0.00
14.05.1986
03.06.1992
16.10.1995
19.10.1998
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.12


Fkm 0,400
30.09.20
06.10.53
06.10.59
0.0.00
22.04.86
20.06.95
11.11.99
0.0.00
Horizont & Lotrechte

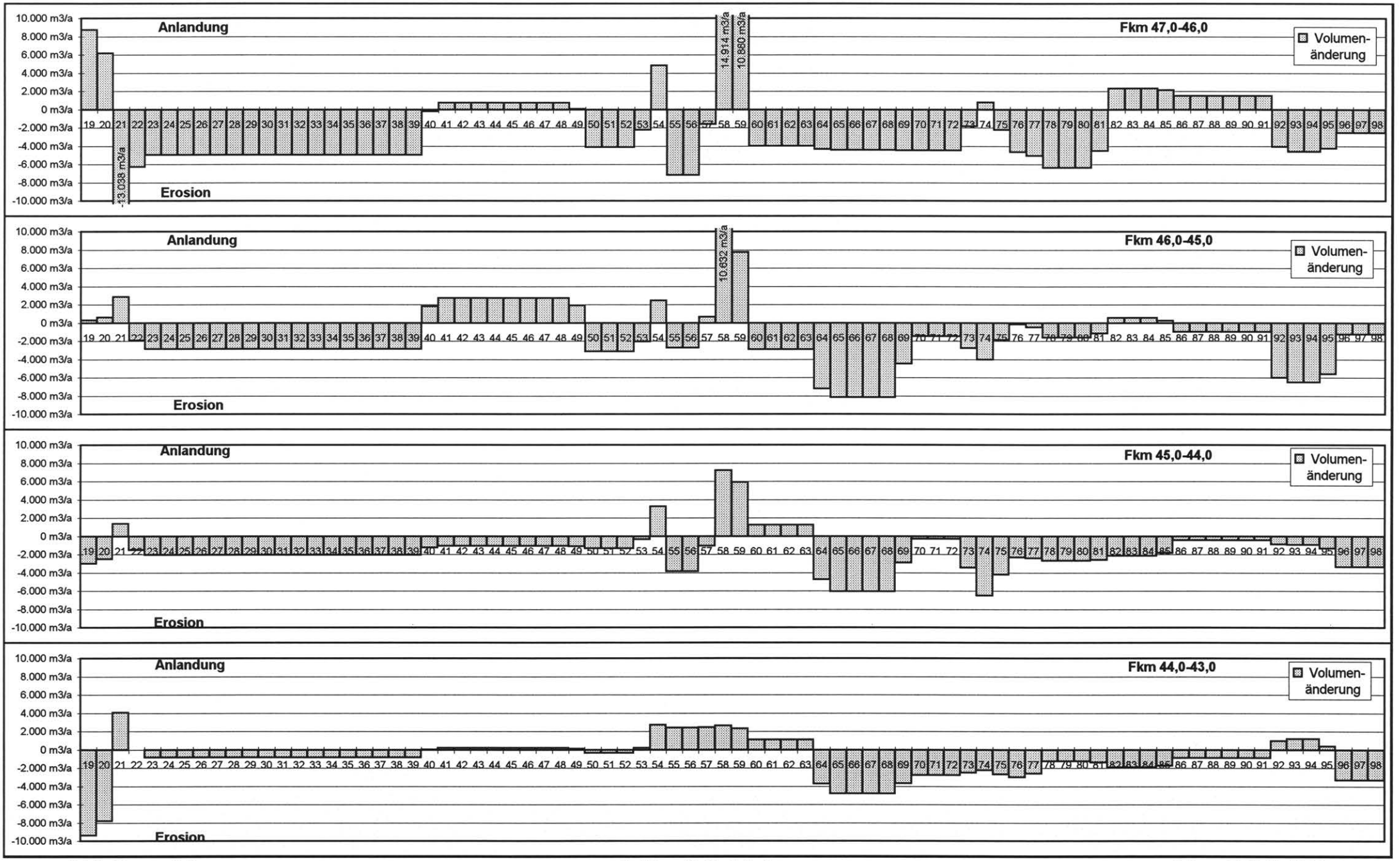

Fkm 1,600
01.10.20
06.10.53
06.10.59
03.04.75
22.04.86
20.06.95
15.11.99
0.0.00
Horizont & Lotrechte


Fkm 1,000
30.09.20
06.10.53
06.10.59
03.04.75
22.04.86
20.06.95
11.11.99
0.0.00
Horizont & Lotrechte

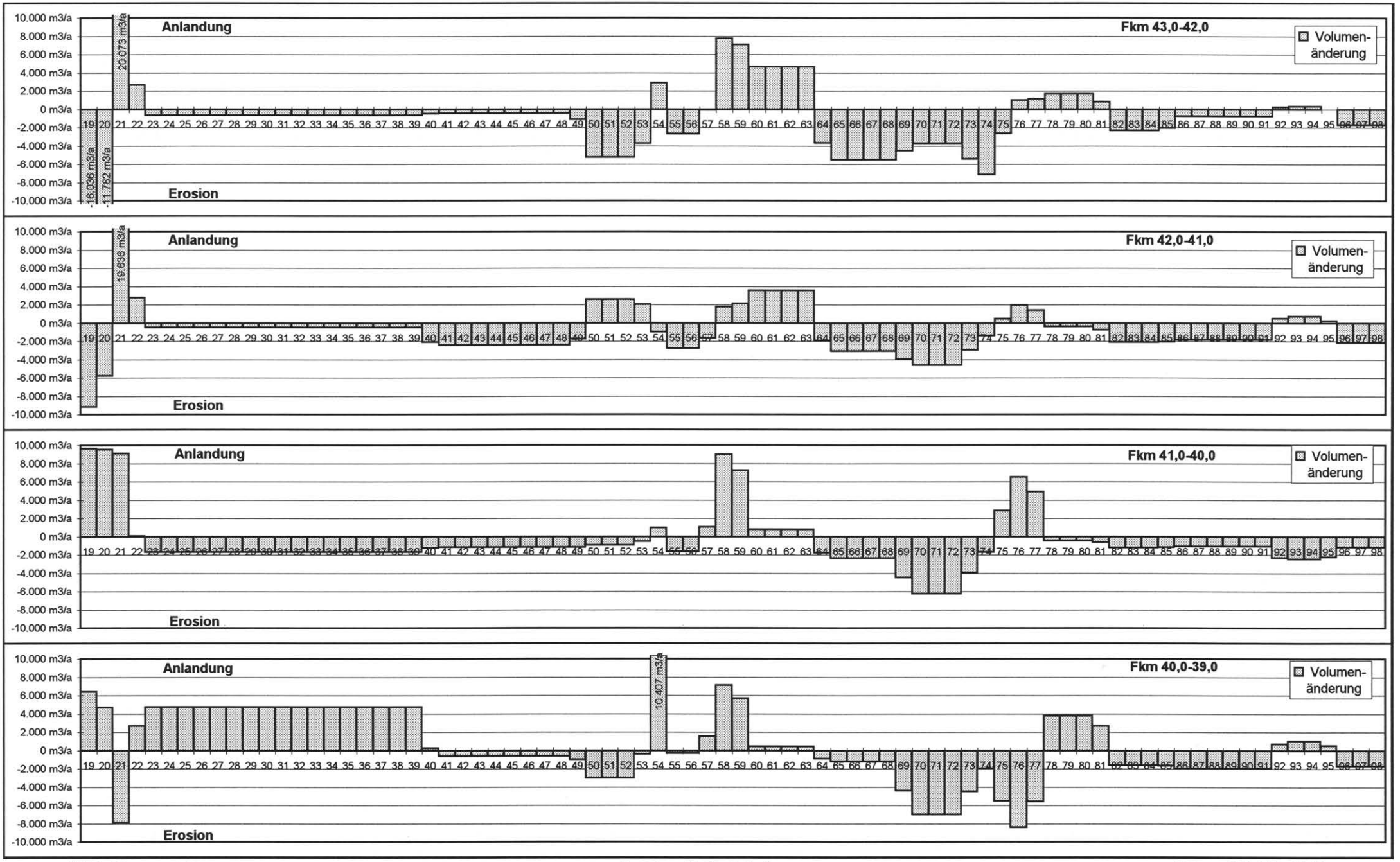

Das Profil Fkm 2,200 wurde im Böschungsbereich mehrfach umgestaltet
Fkm 2,200
08.10.20
06.10.53
06.10.59
0.0.00
22.04.86
19.06.95
15.11.99
0.0.00
Horizont & Lotrechte

Anlage 22.13

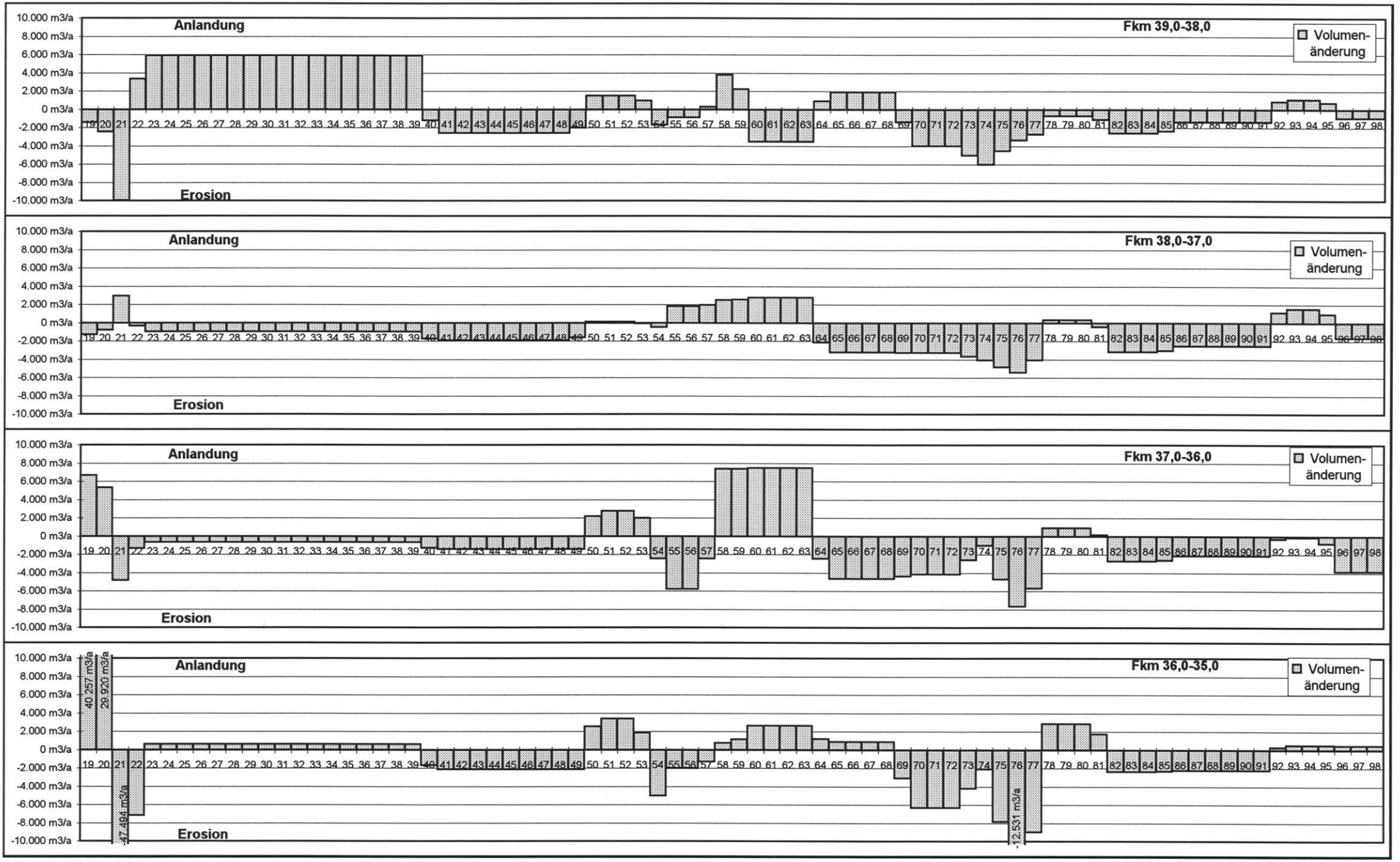
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



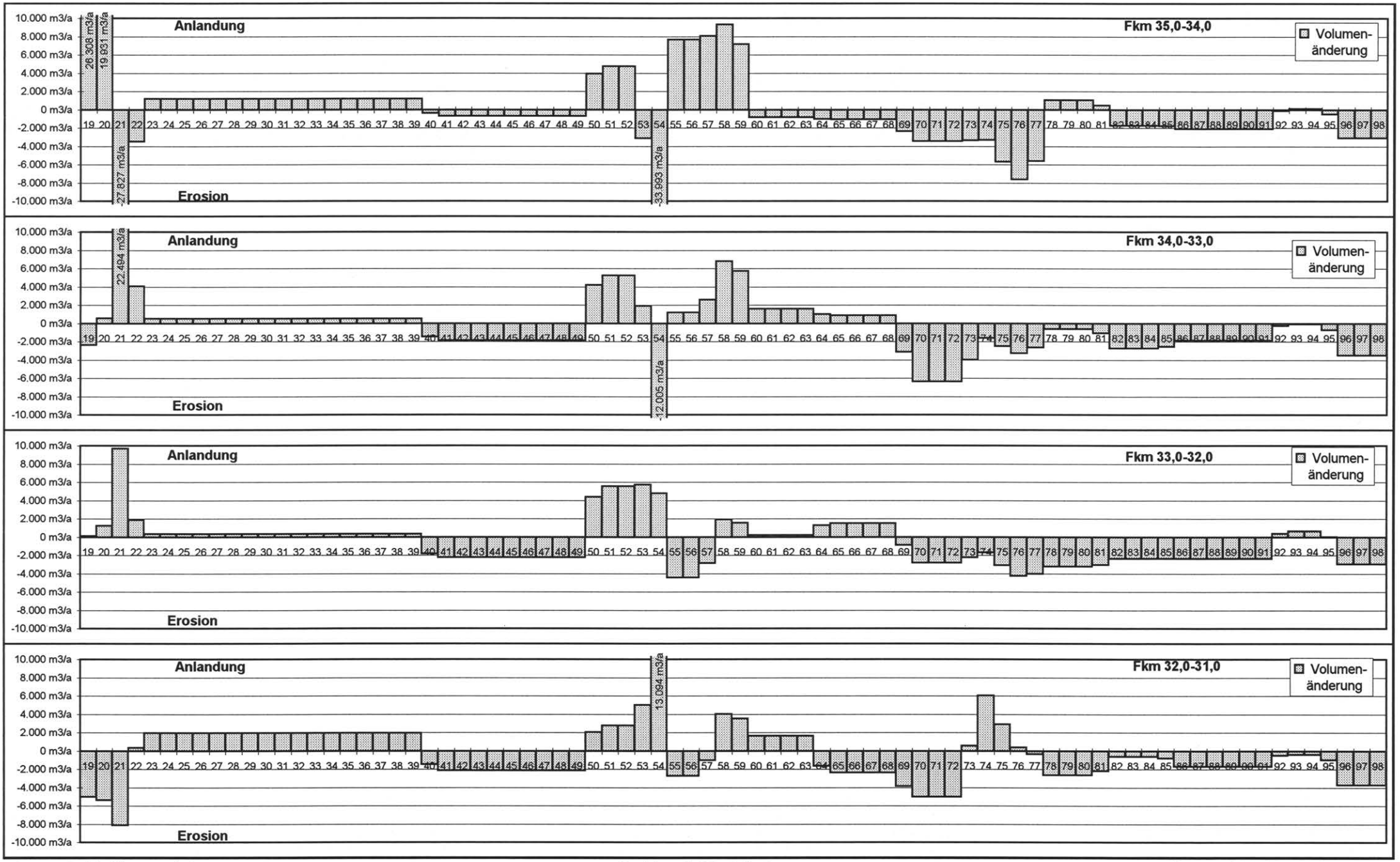
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



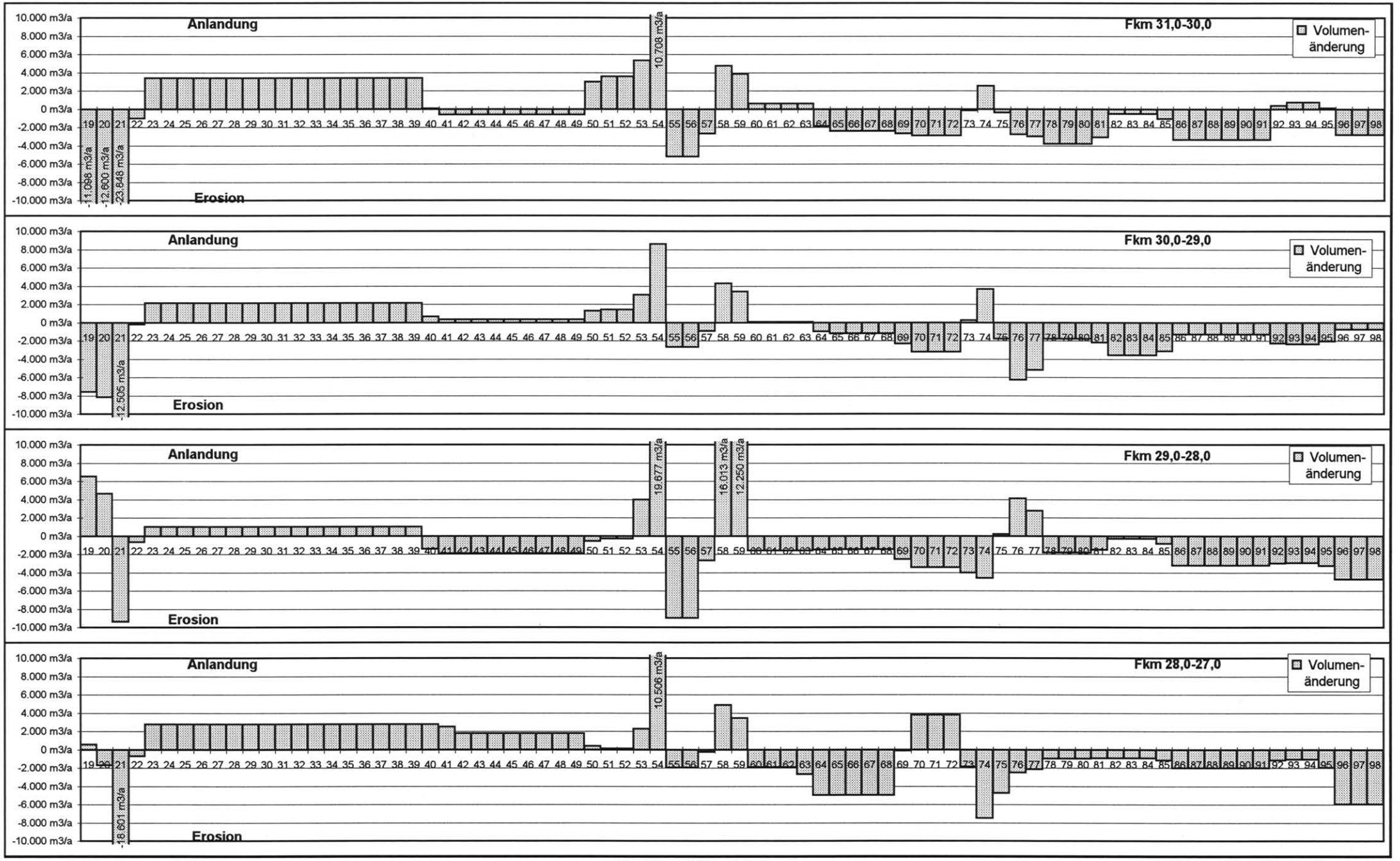
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



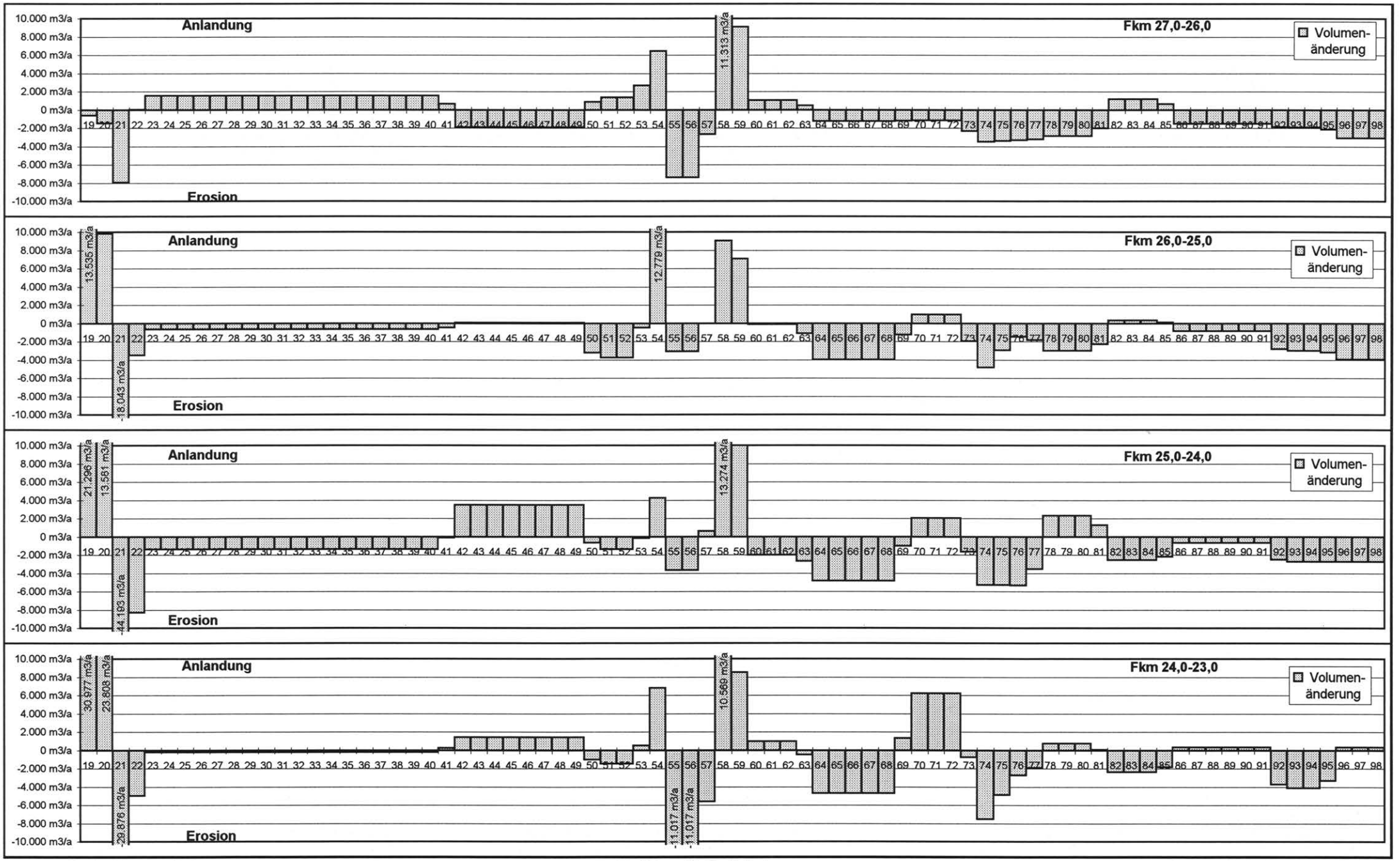
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



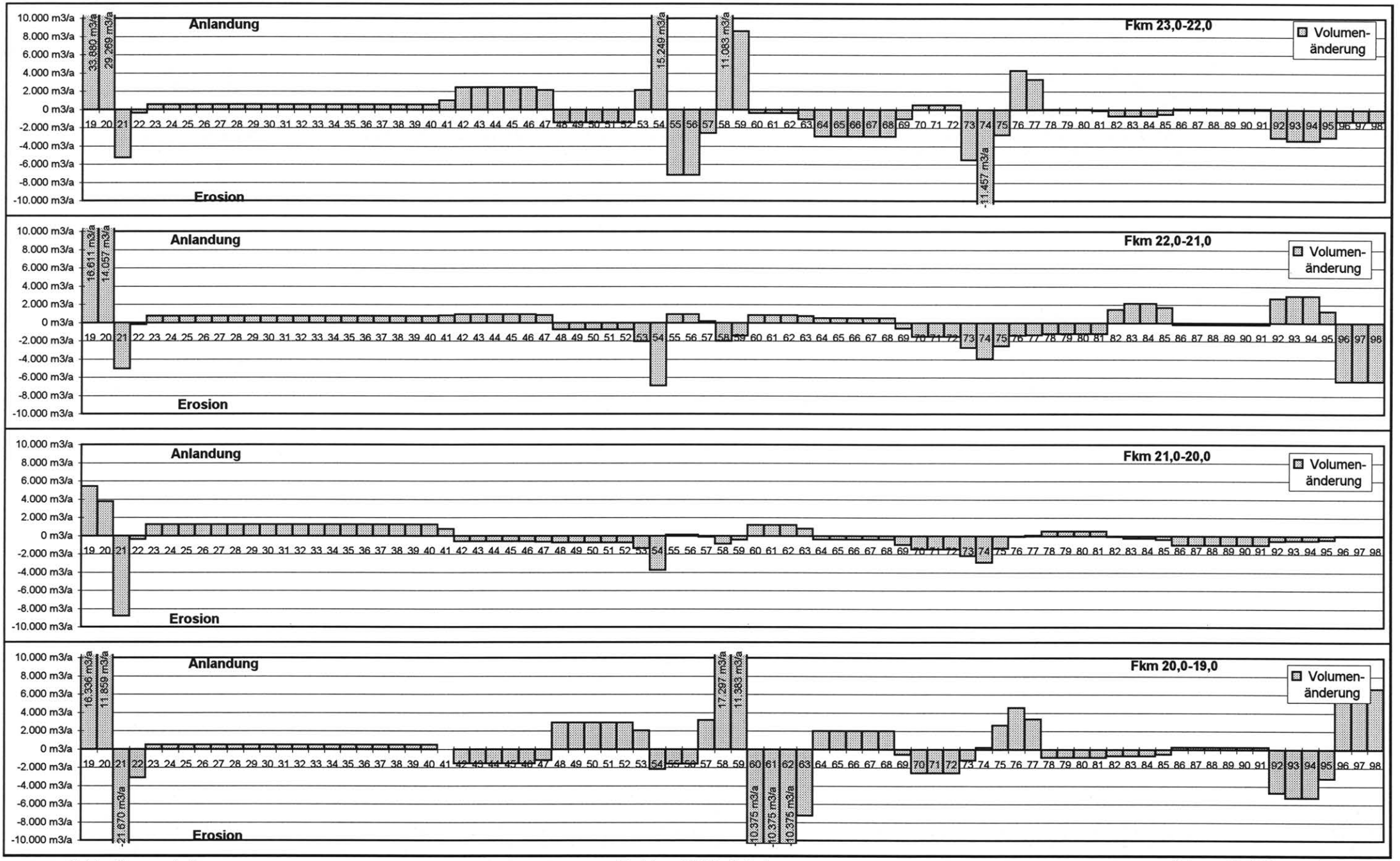
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



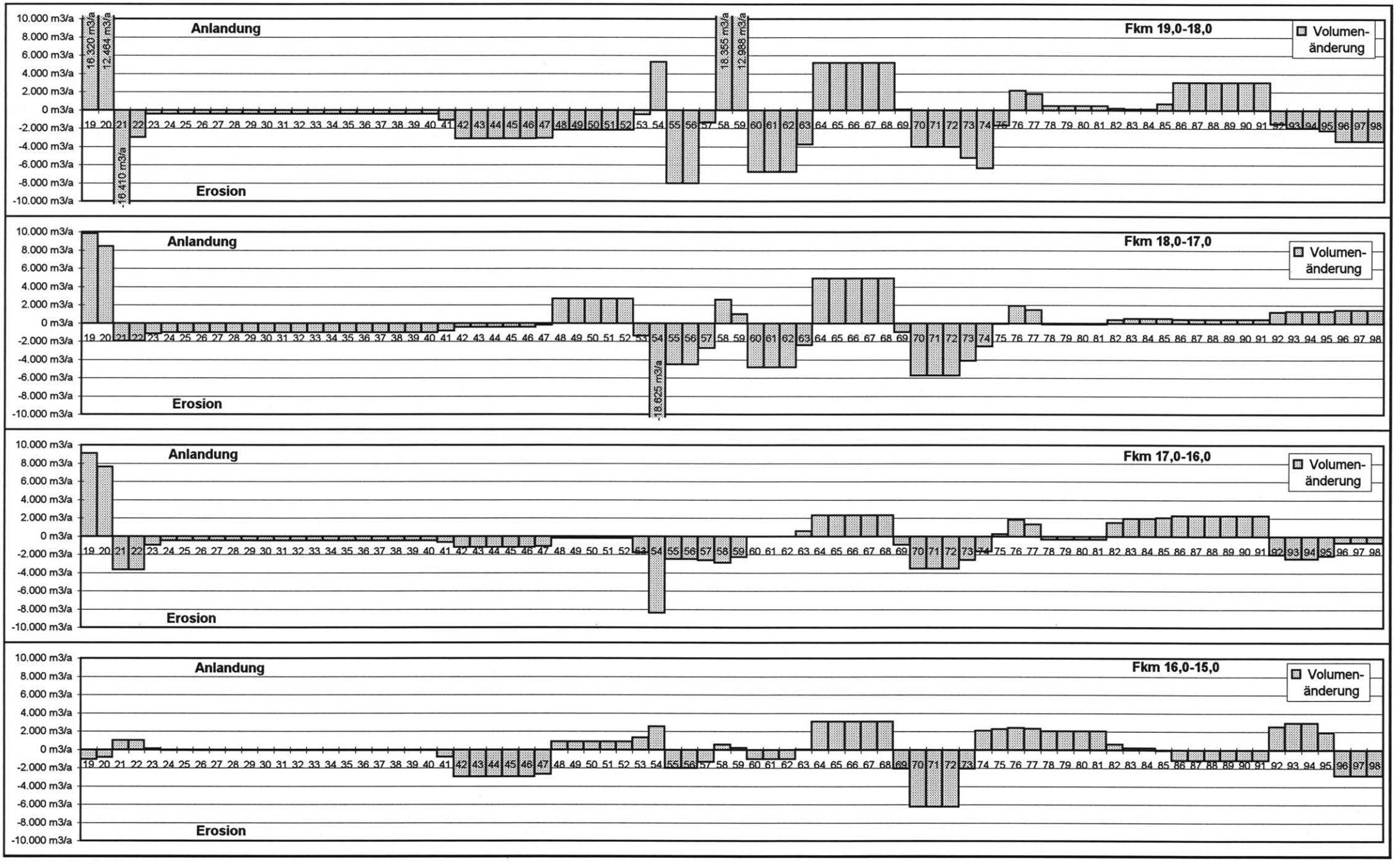
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



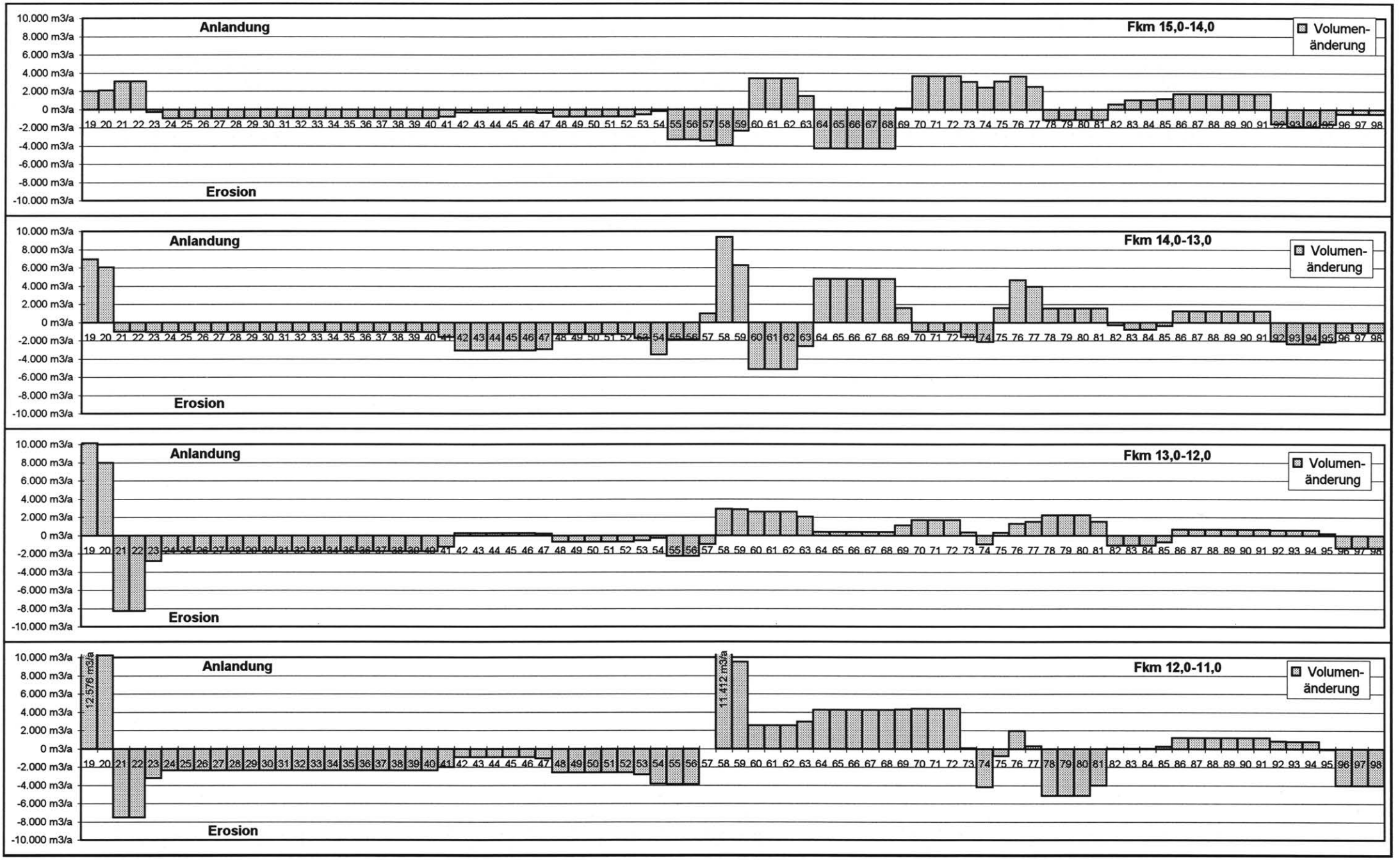
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



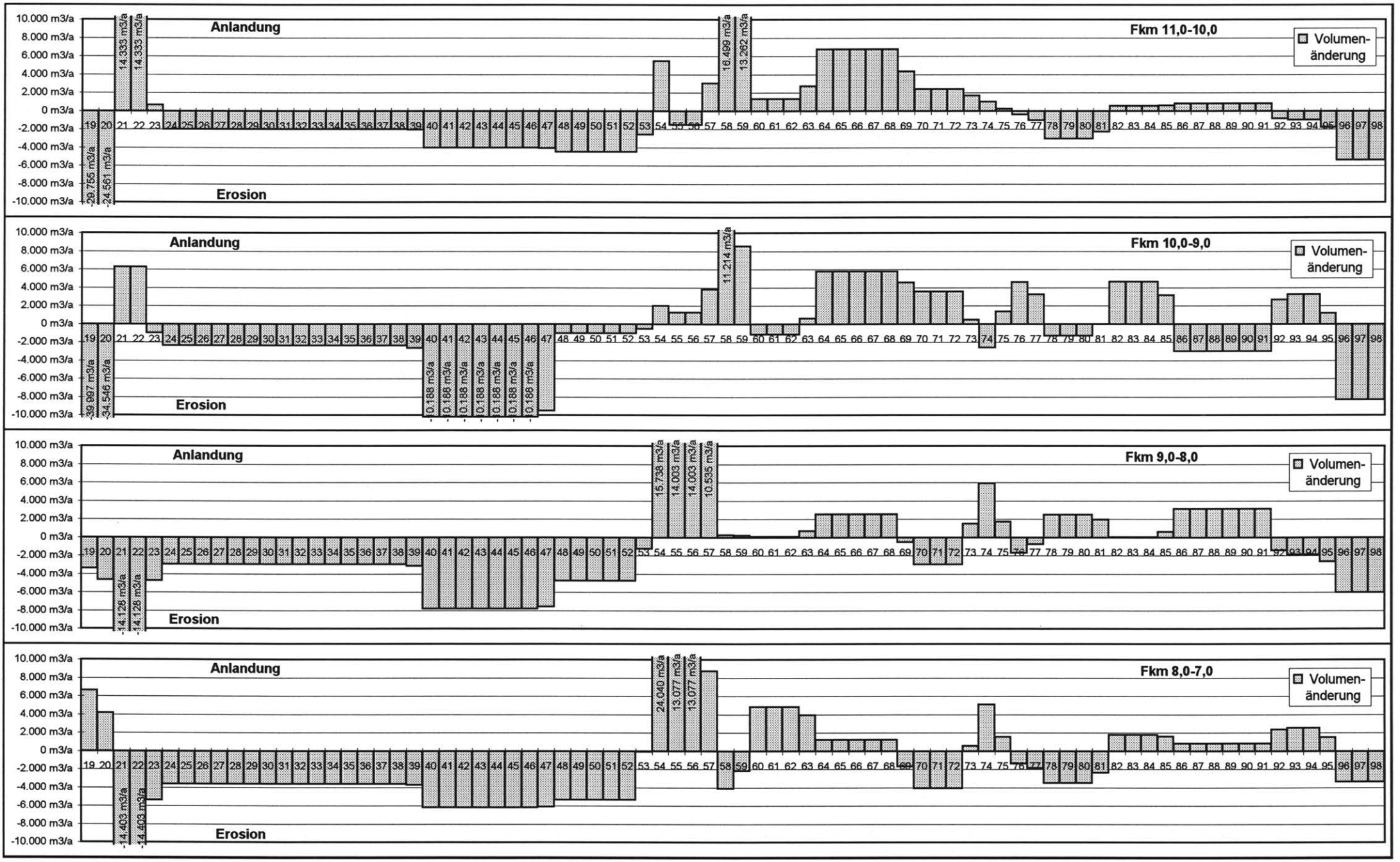
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



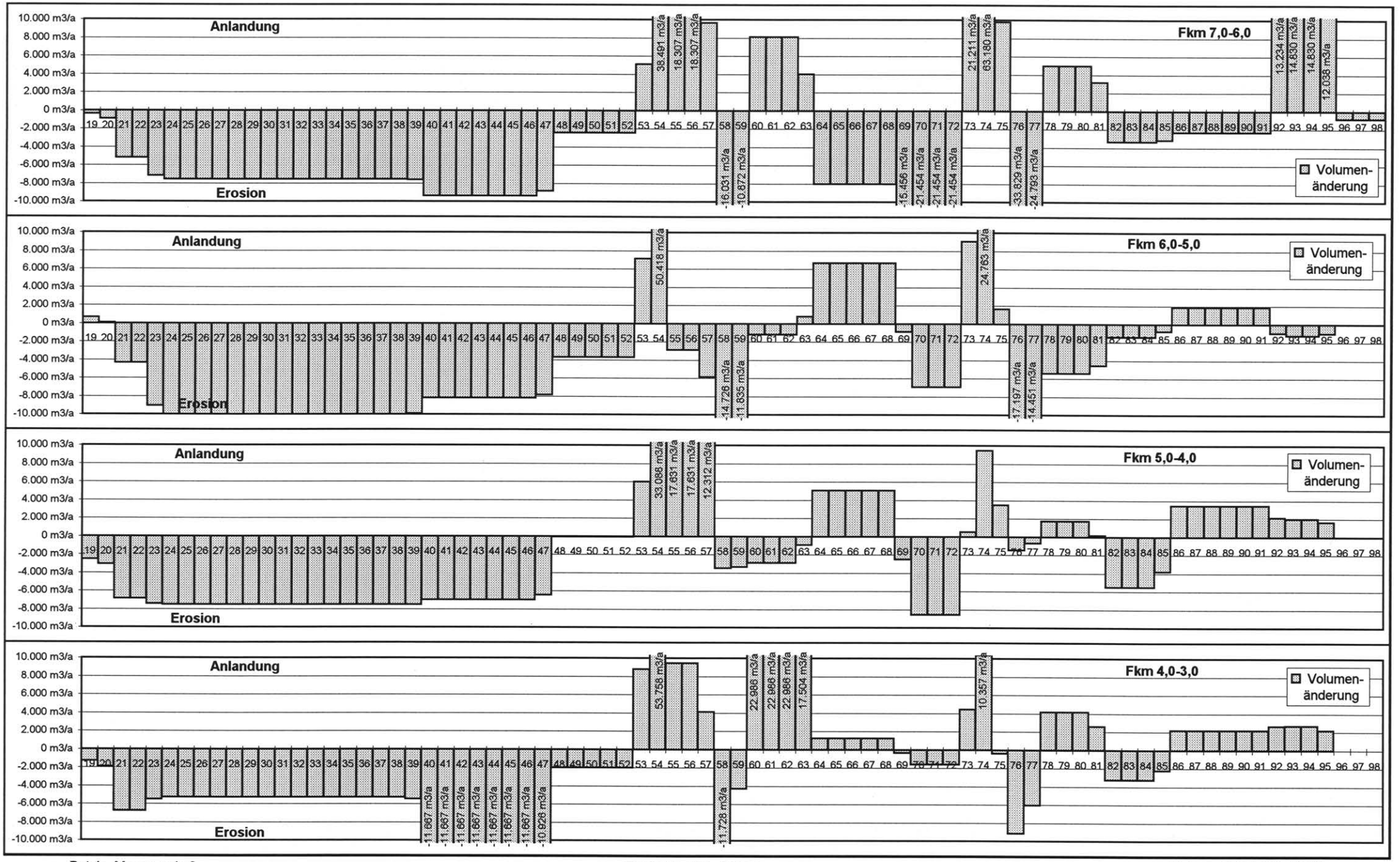
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



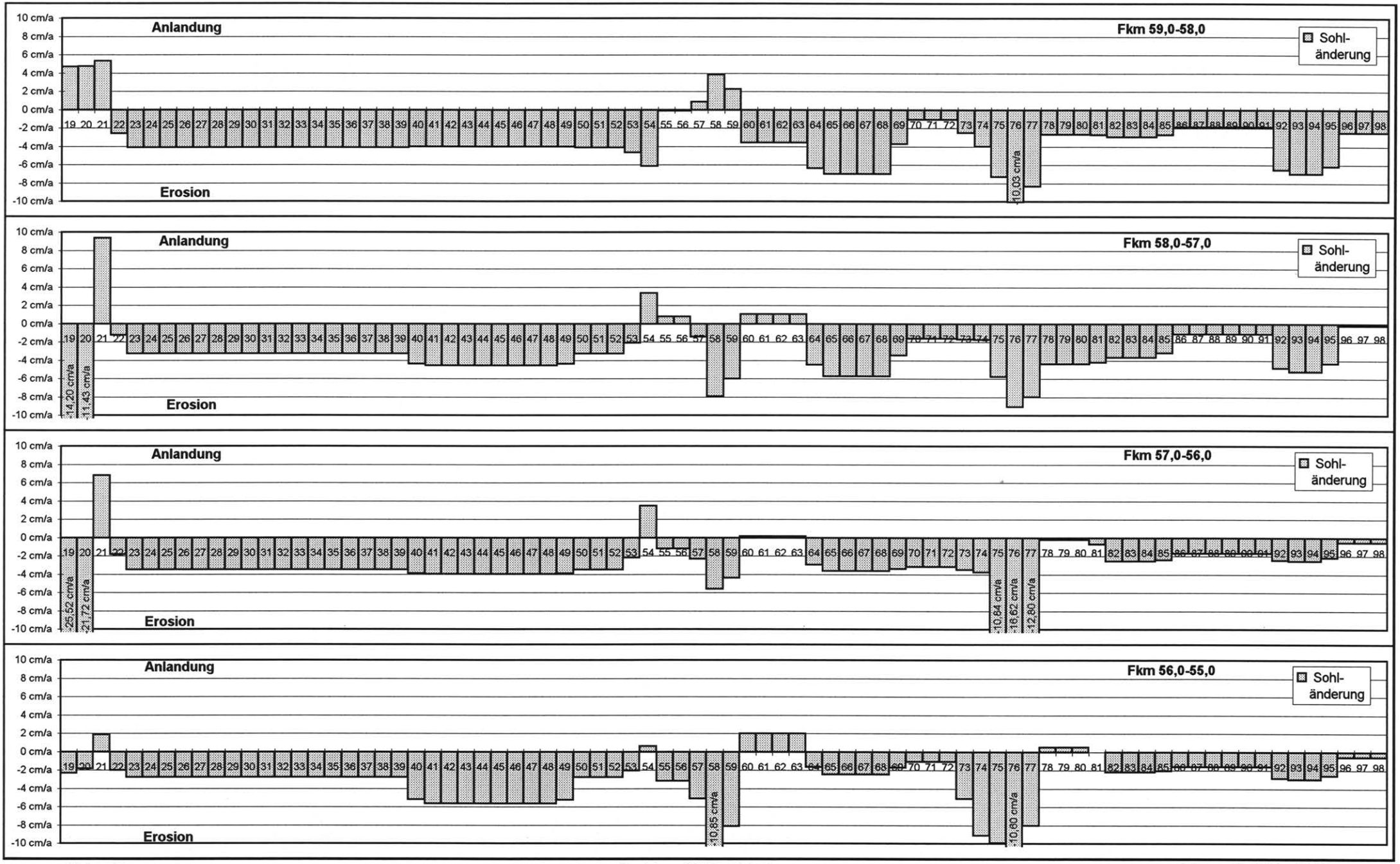
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



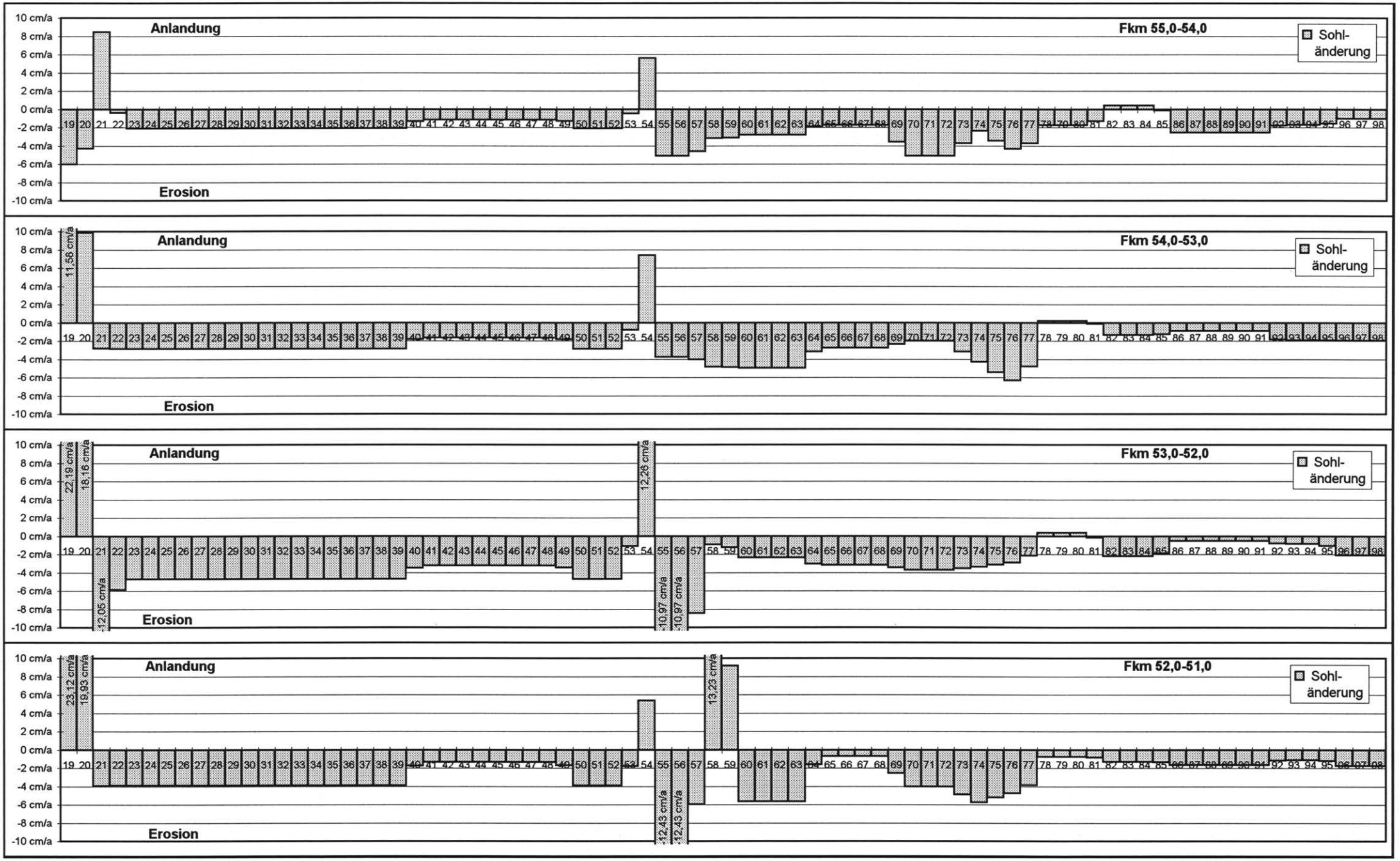
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



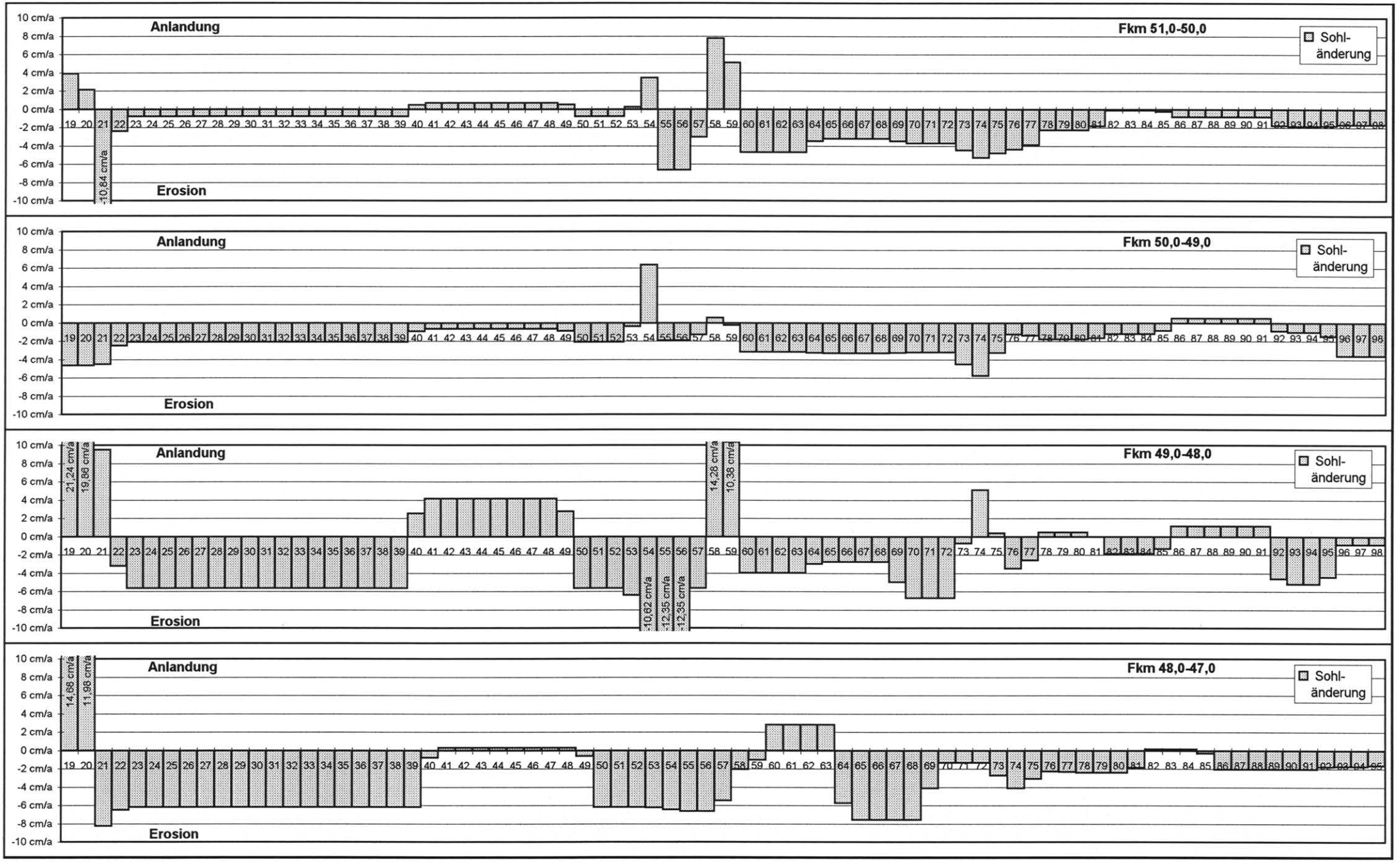
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



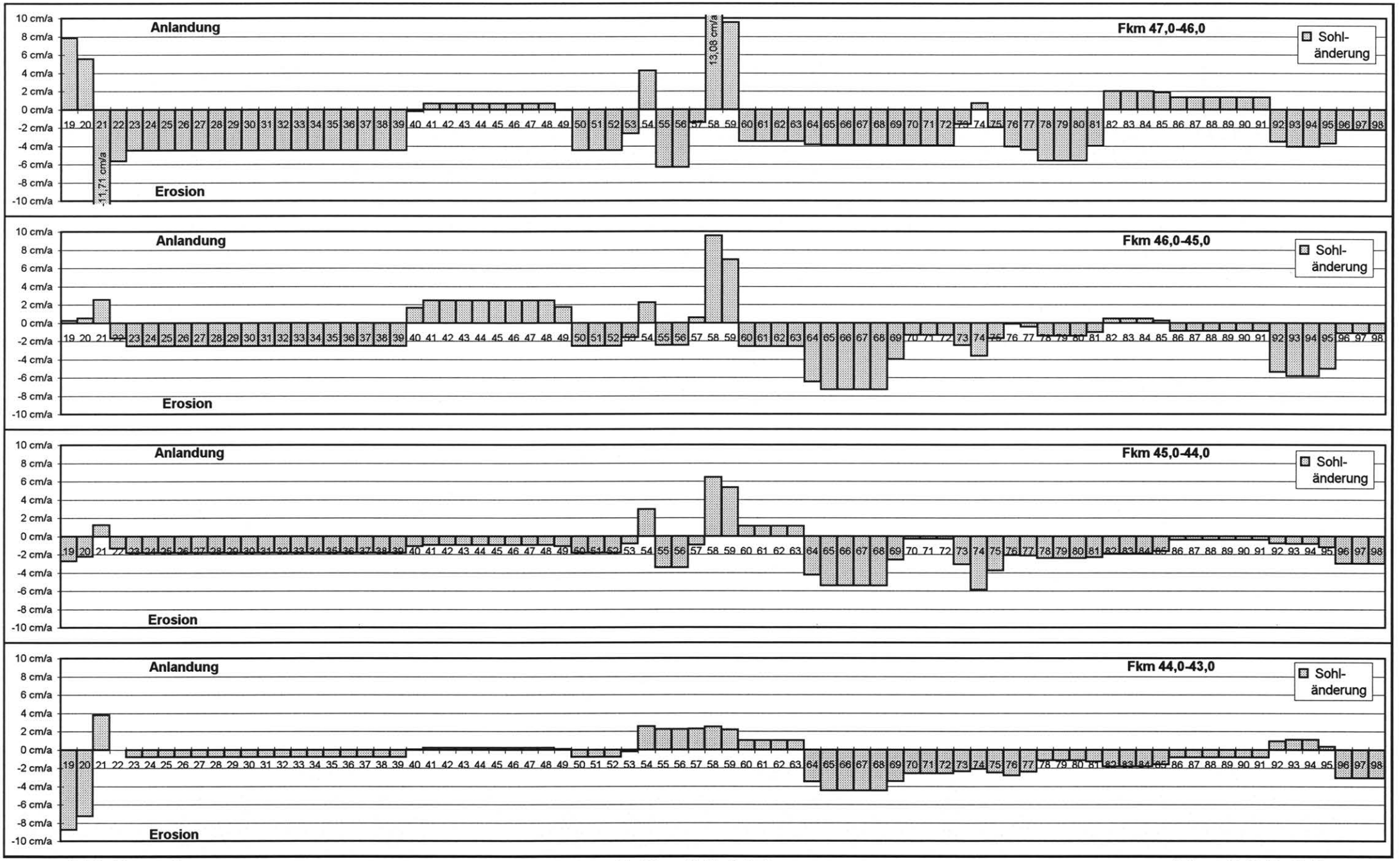
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



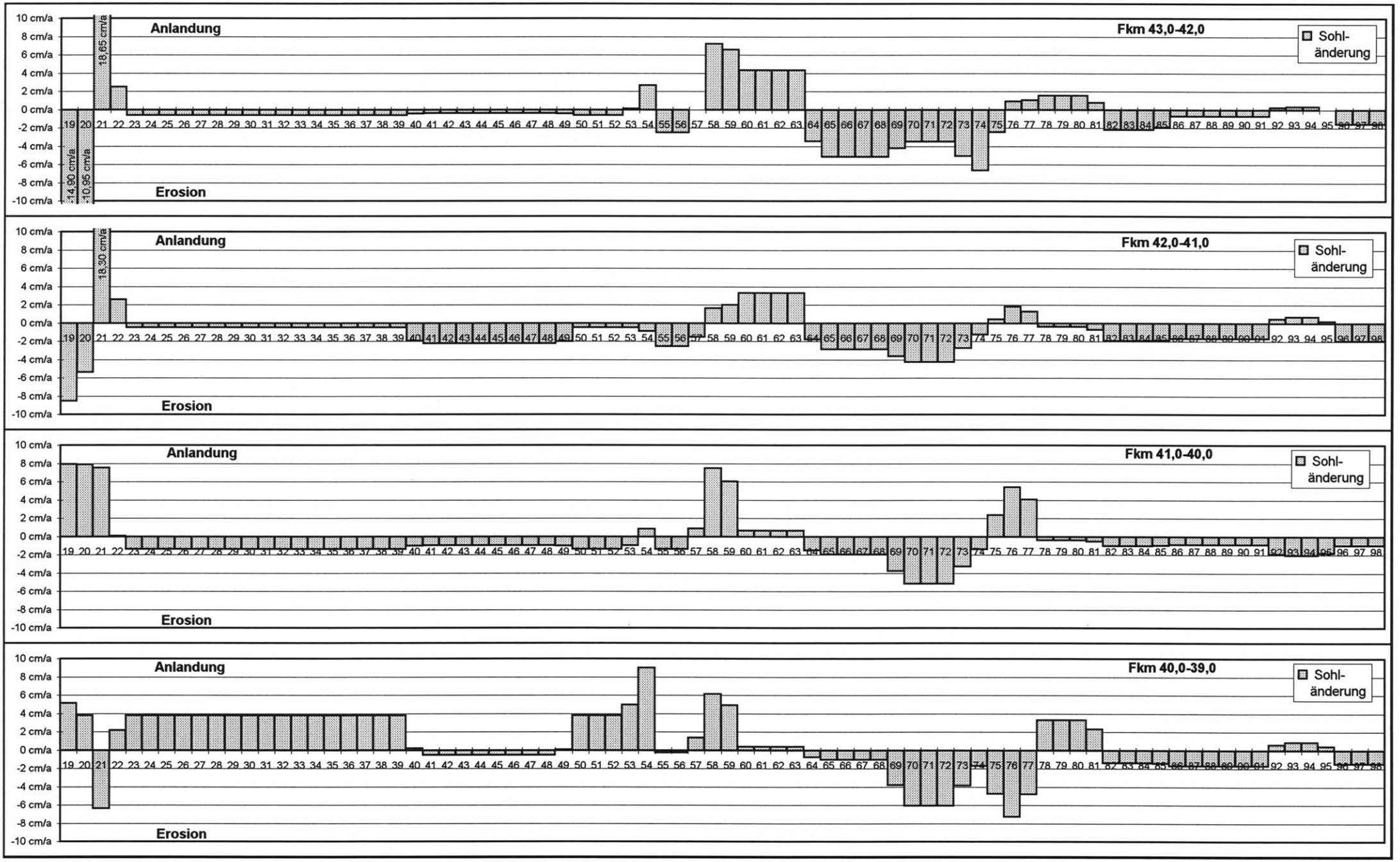
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



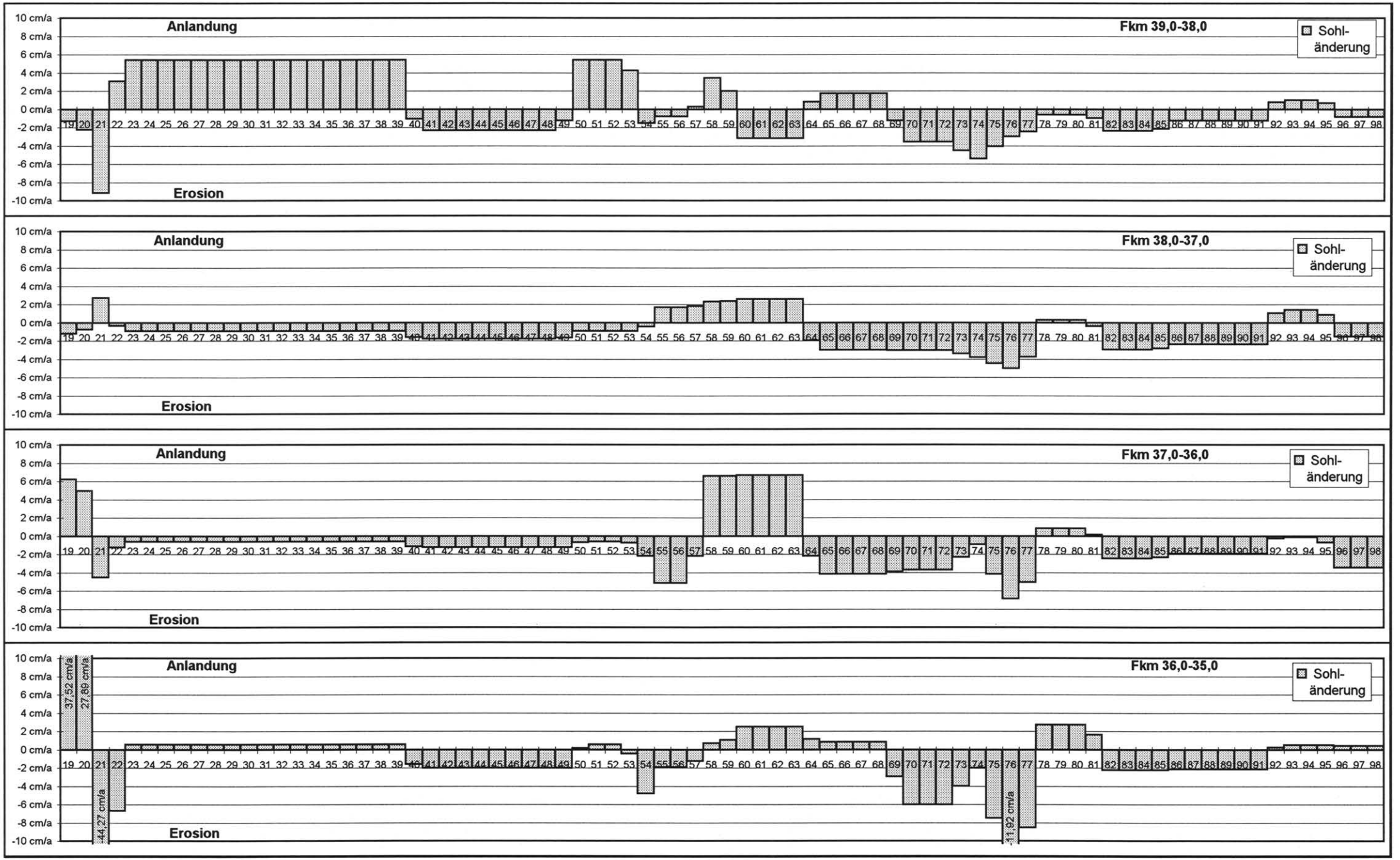
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



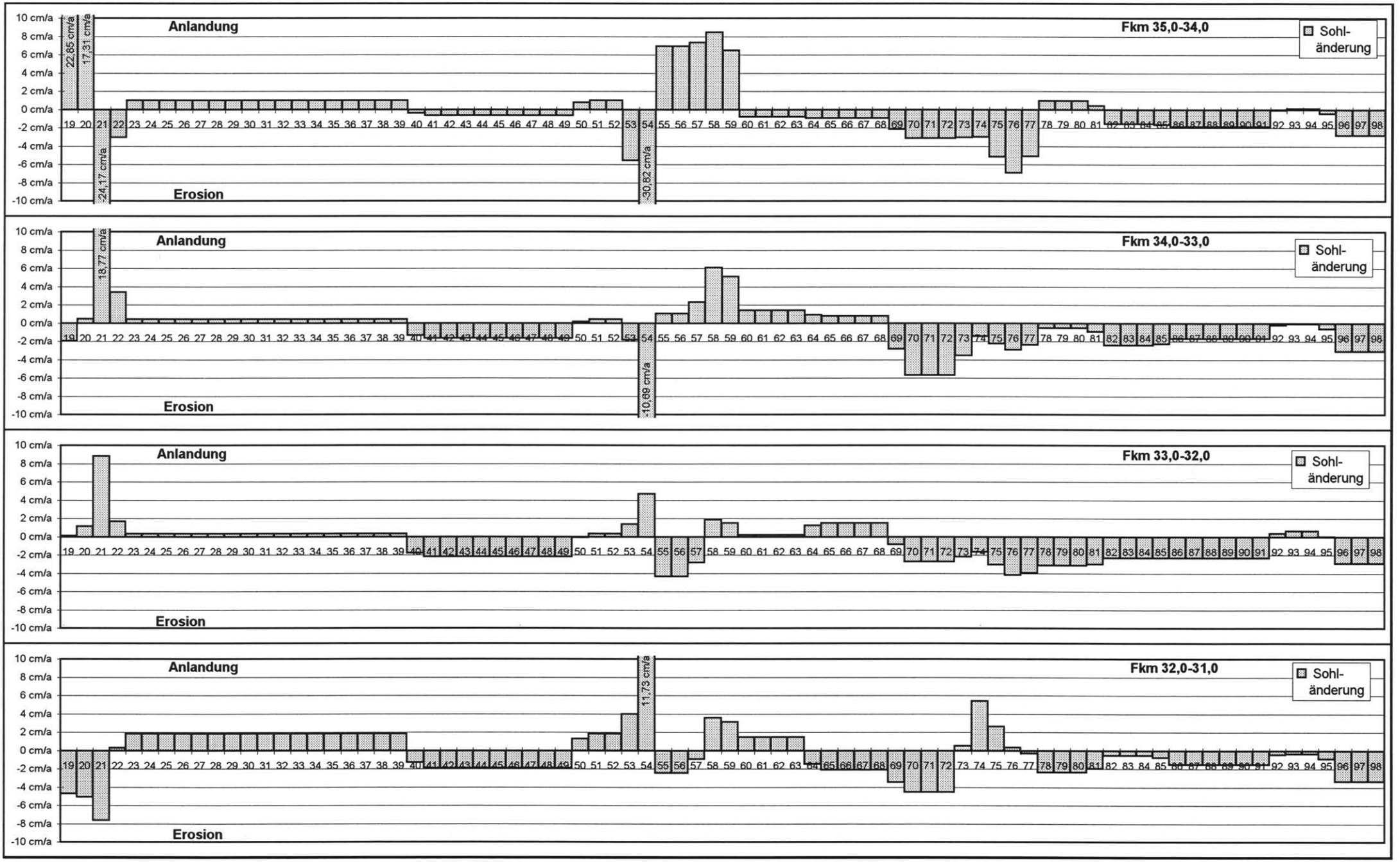
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



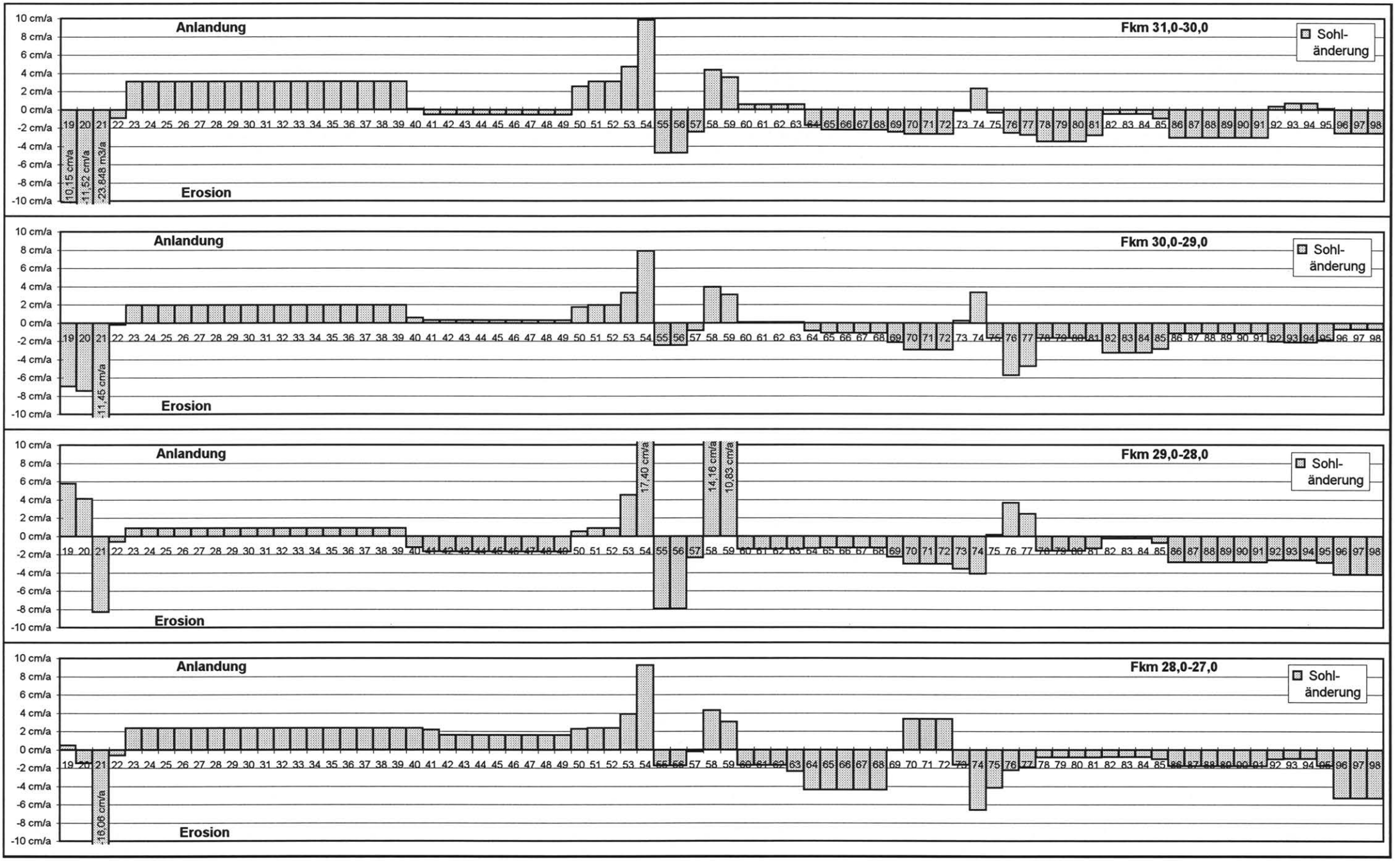
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



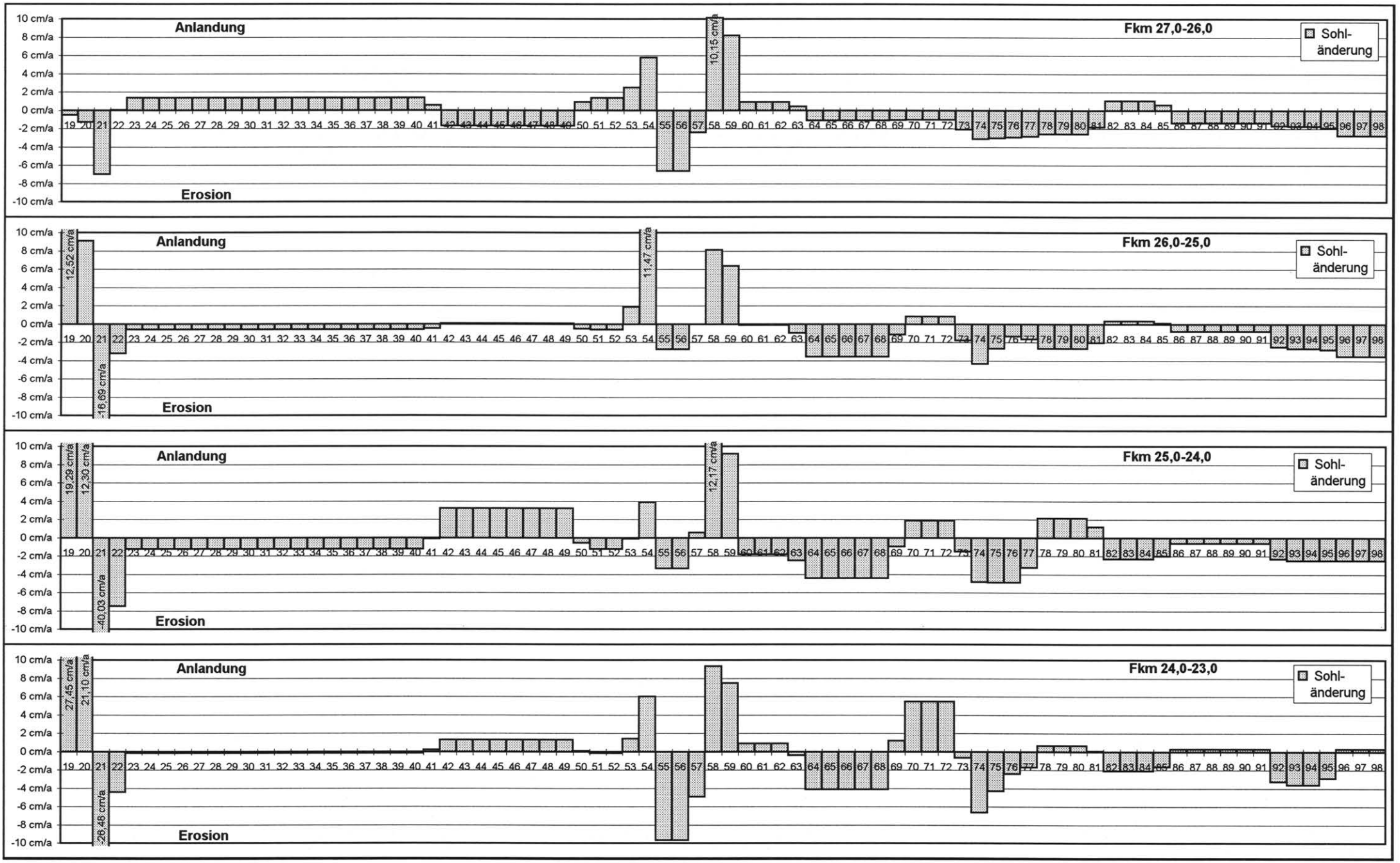
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



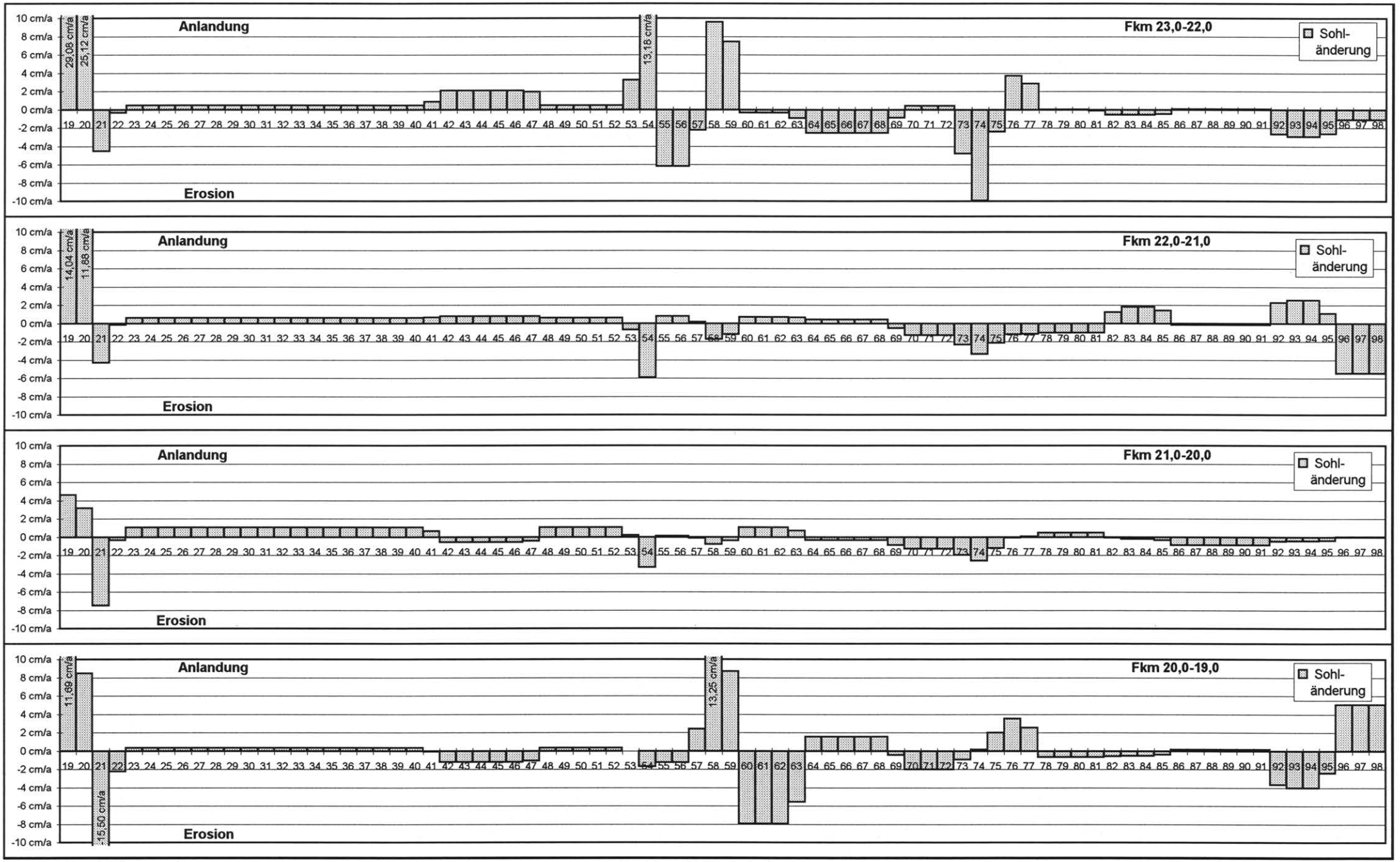
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



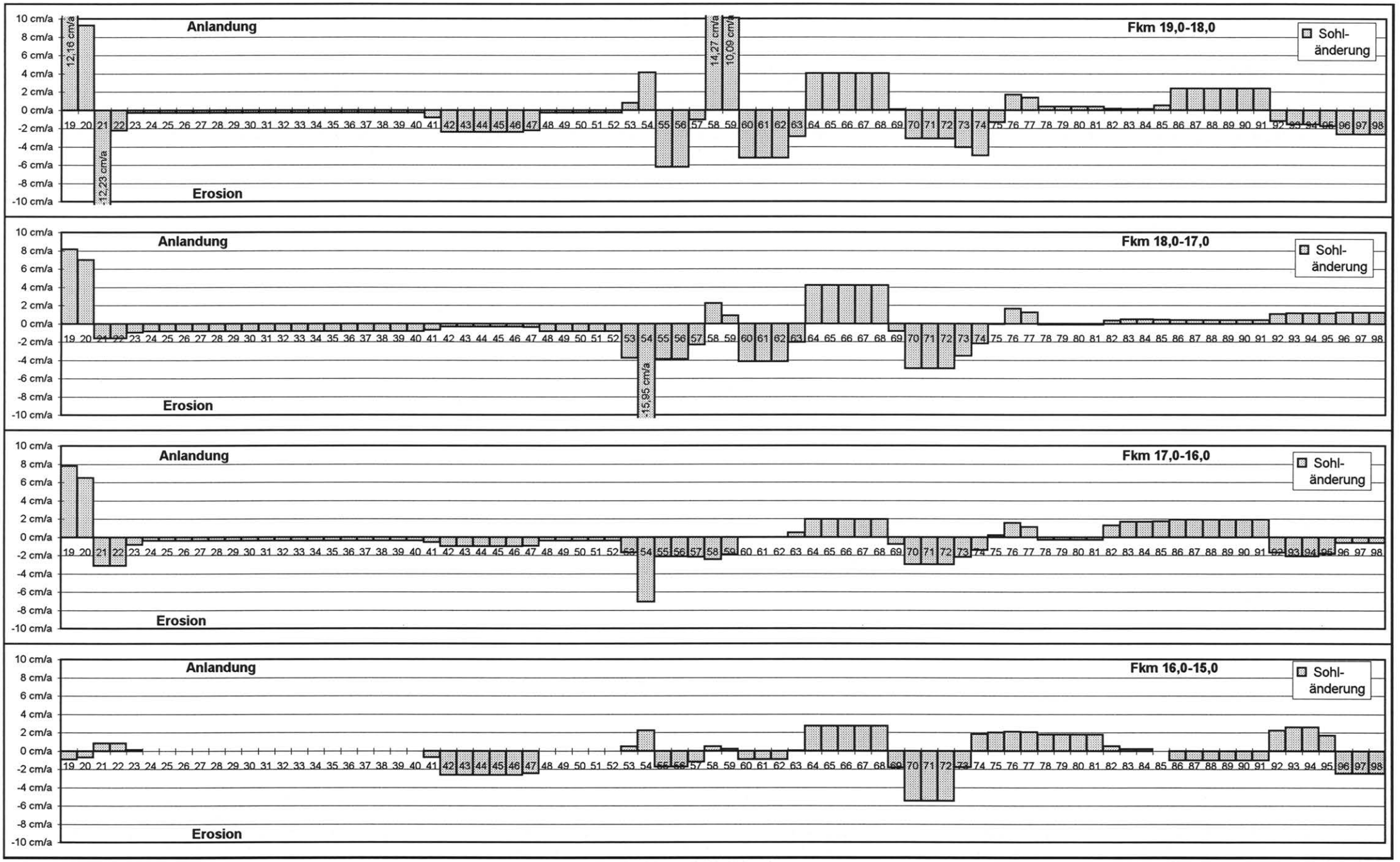
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



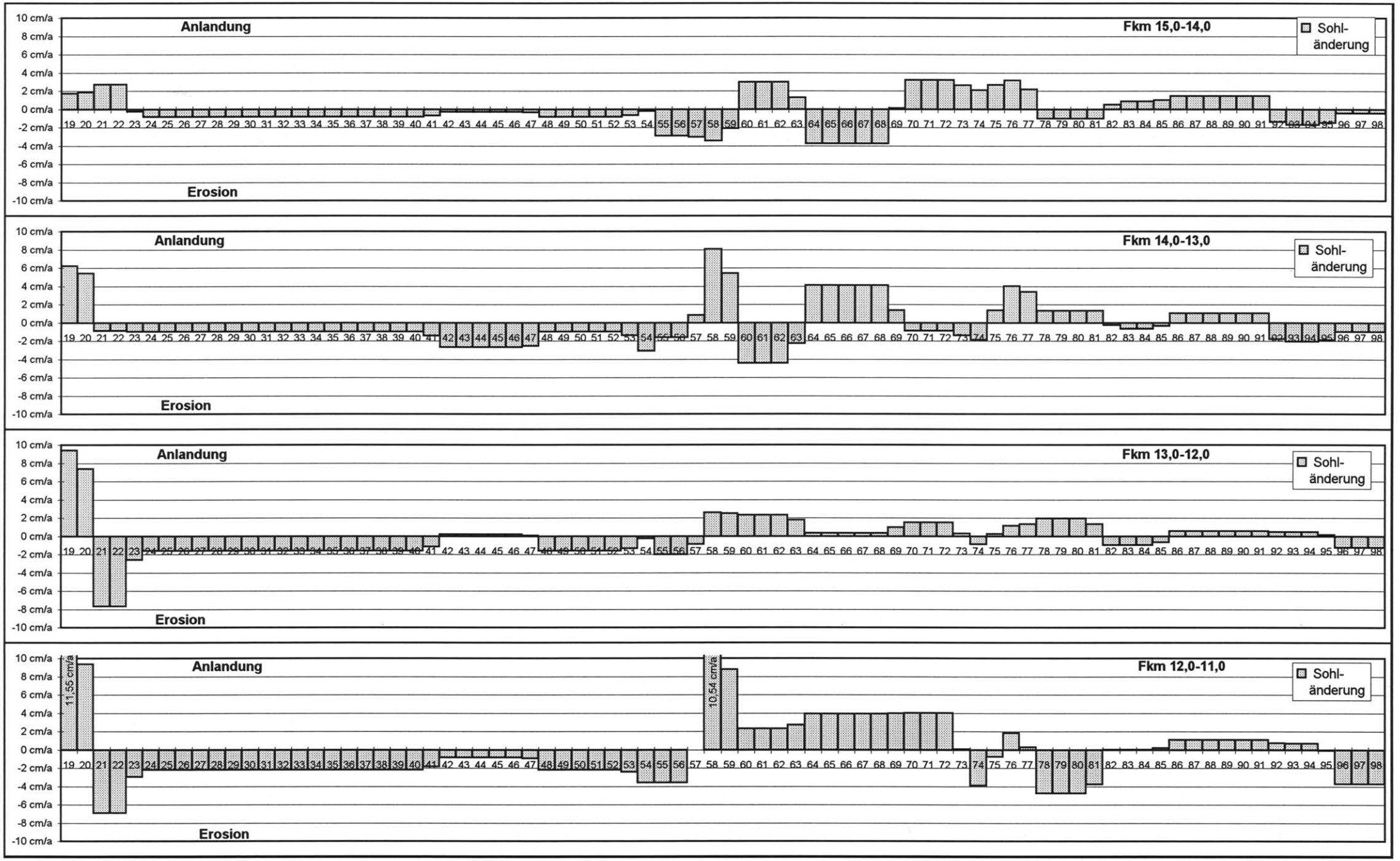
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



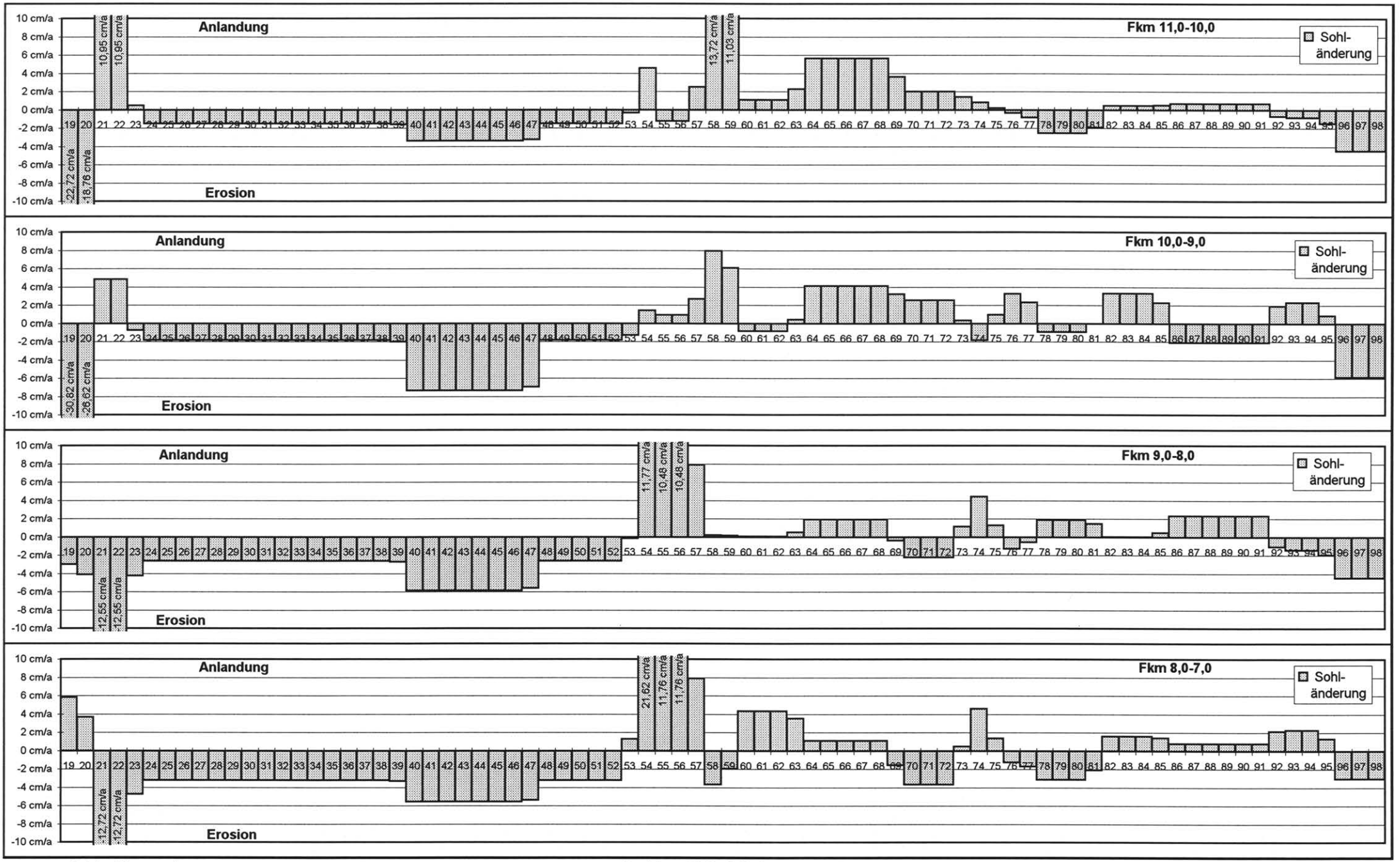
abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen

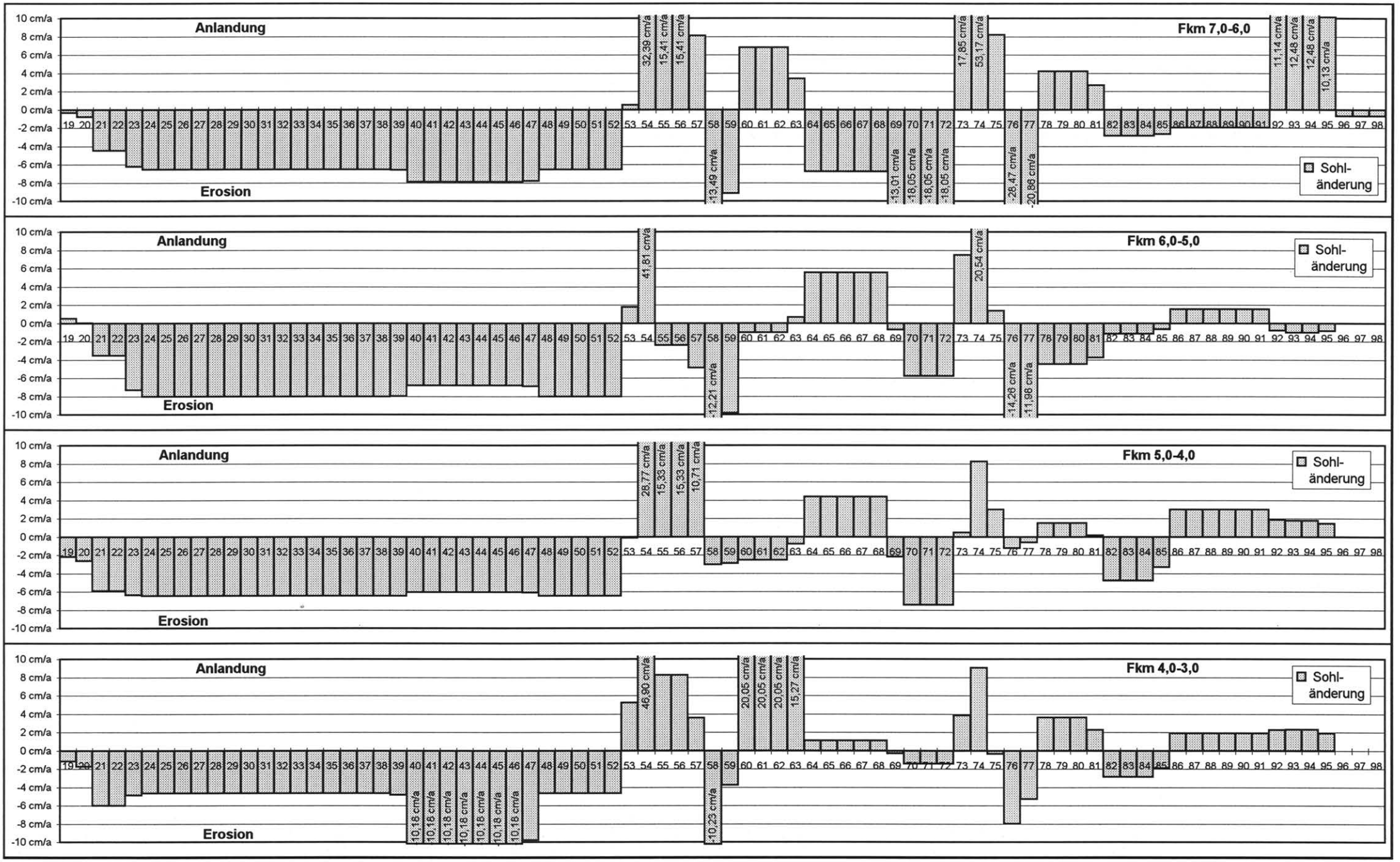


Datei: Masse_a.dcm

Register: 11-7 - Seite 1

Datum: 25.11.99 - 11:28

abschnittsweise Zusammenstellung der Querschnittsverarbeitung von Salzachprofilen



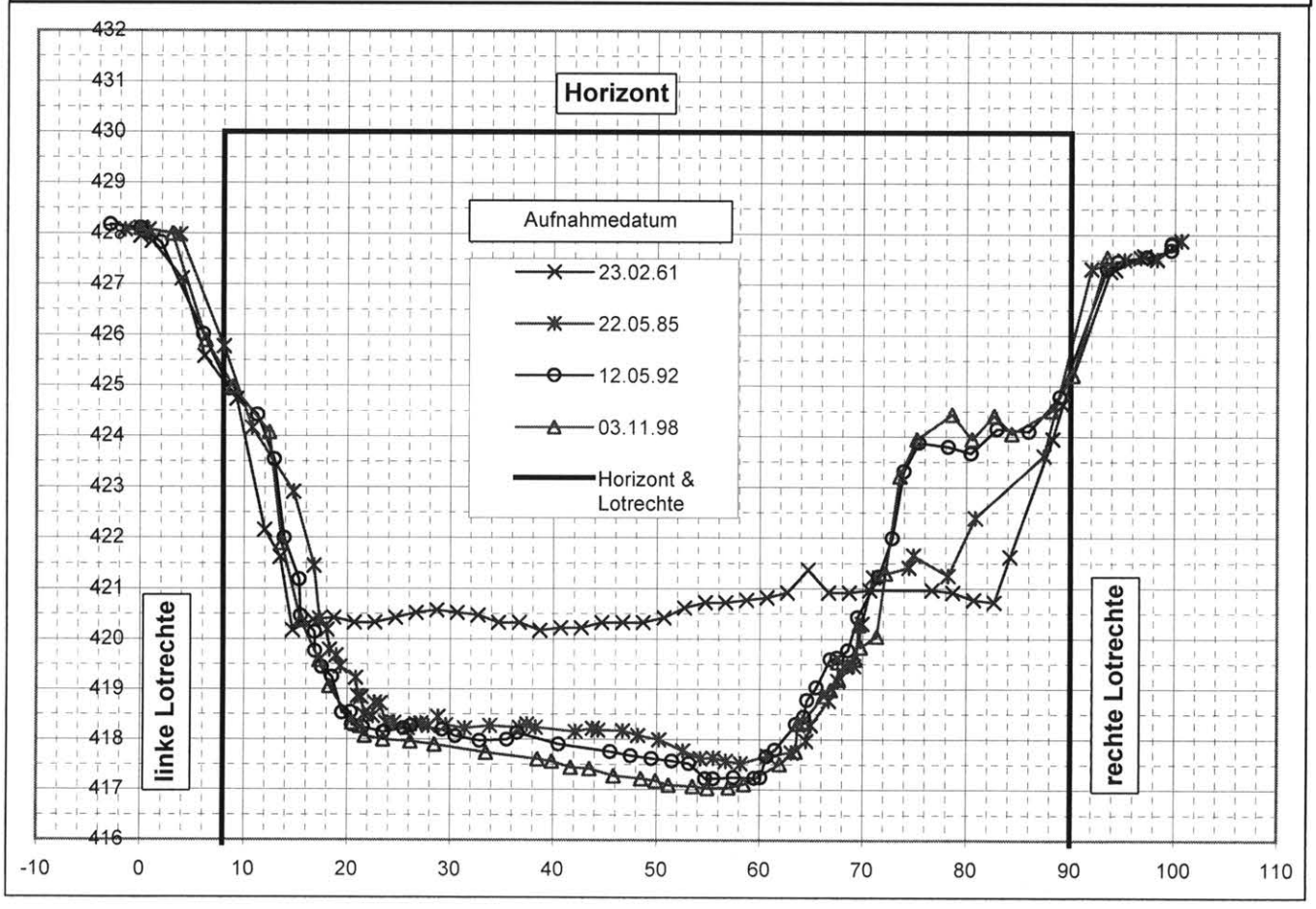
Querschnittsauswertung von Profilaufnahmen

Anlage 24.35

Fallunterscheidungen bei der Flächenberechnung

Fallunterscheidung bei der Flächenermittlung von Profilen innerhalb eines Bezugssystems
Profilbeispiel siehe unten (siehe auch Abbildung 32 in Kapitel 5.5)

Fall	Punkt x	Punkt x+1	was wird berechnet	Bemerkung
1)	x < linke Lotrechte	x+1 < linke Lotrechte	setzte Zellenwert auf 0	Die Berechnung liegt außerhalb des Bilanzierungsbereiches
2)	x > rechte Lotrechte	x+1 > rechte Lotrechte	setzte Zellenwert auf 0	Die Berechnung liegt außerhalb des Bilanzierungsbereiches
3)	x > linke Lotrechte x < rechte Lotrechte	x+1 >= linke Lotrechte x+1 <= rechte Lotrechte	Berechnungsfall I	Die Berechnung liegt vollständig im Bilanzierungsbereich
4)	x < linke Lotrechte	x+1 >= linke Lotrechte	Berechnungsfall II	Die Berechnung schneidet den linken Bilanzierungsrand
5)	x < rechte Lotrechte	x+1 >= rechte Lotrechte	Berechnungsfall III	Die Berechnung schneidet den rechten Bilanzierungsrand
6)	x > linke Lotrechte	x+1 = 0	setzte Zellenwert auf 0	Es gibt keine weiteren Profi-punkte zu berechnen



Massenbilanzierung von Flußprofilen

Eingabewerte der Profildaten							Berechnung				Ergebnisse		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fkm	Abstand	Breite	Jahr	Fläche	Jahr	Fläche	Höhe	VZ	DP-Lage	DP-Breite	Einzel-Vol.	**Summe-Vol.**	Notitzen
[m]	[m]	[m]	[a]	[m^2]	[a]	[m^2]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m^3]	**[m^3]**	[-]
10,000	0,0	120,0	1990	720,00	1980	480,00	2,00	-	entfällt	entfällt	0,000	**0,000**	**Δ Zeit = 10,00 Jahre**
10,200	200,0	100,0	1990	800,00	1980	400,00	4,00	-	- - -	- - -	-65.333,333	**-65.333,333**	
10,400	190,0	80,0	1990	480,00	1980	320,00	2,00	-	- - -	- - -	-51.933,333	**-117.266,667**	
10,600	220,0	80,0	1990	400,00	1980	480,00	1,00	+	0,6667	80	-8.800,000	**-126.066,667**	
10,800	190,0	100,0	1990	400,00	1980	600,00	2,00	+	- - -	- - -	25.966,667	**-100.100,000**	
11,000	180,0	80,0	1990	400,00	1980	400,00	0,00	o	- - -	- - -	16.800,000	**-83.300,000**	
11,200	230,0	80,0	1990	560,00	1980	320,00	3,00	-	- - -	- - -	-27.600,000	**-110.900,000**	
11,400	210,0	100,0	1990	600,00	1980	400,00	2,00	-	- - -	- - -	-46.900,000	**-157.800,000**	
11,600	190,0	100,0	1990	600,00	1980	400,00	2,00	-	- - -	- - -	-38.000,000	**-195.800,000**	**Abschnitt A: 12,0-10,0**
11,800	170,0	80,0	1990	240,00	1980	480,00	3,00	+	0,4000	92	6.233,333	**-189.566,667**	v_{Sohle} = -8,754 cm/a
12,000	200,0	80,0	1990	320,00	1980	400,00	1,00	+	- - -	- - -	32.000,000	**-157.566,667**	**Volumen -157.567 m3**
12,200	200,0	90,0	1990	360,00	1980	370,00	0,11	+	- - -	- - -	9.296,296	**-148.270,370**	
12,400	200,0	100,0	1990	400,00	1980	380,00	0,20	-	0,3571	93,57143	-896,296	**-149.166,667**	

Spalte	Beschreibung der Spalte
1	Flußkilometer
2	Abstand von Profil (i-1) zu Profil (i)
3	Breite = Abstand der Begrenzungslotrechten
4	Aufnahmejahr der neueren Profilaufnahme (Im Beispiel: 1990)
5	Fläche der neueren Profilaufnahme (im Beispiel: 1990)
6	Aufnahmejahr der älteren Profilaufnahme (Im Beispiel: 1980)
7	Fläche der älteren Profilaufnahme (im Beispiel: 1980)
8	Höhe = Abstand Horizont zur mittleren Sohle, berechntet aus Fläche/Breite
9	VZ = Vorzeichen = Berechnung aus der Flächendifferenz: F(neu)-F(alt) Anlandung = "+" Eintiefung = "-" Beharrung = "o"
10	Lage des Durchstoßpunktes zwischen Profil (i-1) und Profil (i). Wird berechnet, wenn die Flächendifferenzen (i-1) und (i) unterschiedliches Vorzeichen haben
11	Breite des Durchstoßpunktes zwischen Profil (i-1) und Profil (i). Wird berechnet, wenn die Flächendifferenzen (i-1) und (i) unterschiedliches Vorzeichen haben
12	Volumenberechnung zwischen der Flächendifferenz (i-1) und (i). 3 Fälle: VZ(i-1) und VZ (i) "+" oder "o" Berechnung des Obeliskvolumen mit Vorzeichen "+" VZ(i-1) und VZ (i) "-" oder "o" Berechnung des Obeliskvolumen mit Vorzeichen "-" VZ(i-1) = "+" und VZ(i) = "-" oder VZ(i-1) = "-" und VZ(i) = "+" Berechnung von 2 Keilvolumen, die Scheitelgeraden gehen durch den Durchstoßpunkt
13	Aufsummation der Einzelvolumenberechnung aus Spalte 12
14	Notitzen: Zeitdifferenz der Profilaufnahmen (ZP) Abschnittsbezeichnung Geschwindigkeit der Sohländerung im Berechnungsabschnitt: SEB / (Länge des Abschnitts · Mittelwert der Breite im Abschnitt · ZP) Summe der Einzelvolumen im Berechnungsabschnitt (SEB)

Berechnungsbeispiele

Nachfolgend werden einzelne Abschnitte aus dem Testbeispiel (Anlage 36) herausgegriffen. Die Vorzeichen werden mit "⊕" und "⊖" gekennzeichnet.

Fall ①: Fkm 10,6-10,8

$(F_1+F_2)/2$-Methode: (⊖80 + ⊕200) · 190 / 2 = ⊕26600,0 m^3

DBWas-Methode: dito = ⊕26600,0 m^3

sterometrische Metode: ⊕[(2 · 80 + 100) · 1 + (2 ·100 + 80) · 2] · 190 / 6
= ⊕25966,7 m^3

Zum Vergleich: Im Berechnungsabschnitt Fkm 11,8-12,0 erbringen alle drei Methoden das gleiche Ergebnis von ⊕32000 m^3, da $B_{11,8} = B_{12,0} = 80$ m ist.

Fall ②: Fkm 11,2-11,4

$(F_1+F_2)/2$-Methode: (⊖240 + ⊖200) · 210 / 2 = ⊖46200,0 m^3

DBWas-Methode: dito = ⊖46200,0 m^3

sterometrische Metode: ⊖[(2 · 80 + 100) · 3 + (2 · 100 + 80) · 2] · 210 / 6
= ⊖46900,0 m^3

Zum Vergleich: Im Berechnungsabschnitt Fkm 11,4-11,6 erbringen alle drei Methoden das gleiche Ergebnis von ⊖38000 m^3, da $B_{11,4} = B_{11,6} = 100$ m ist.

Fall ③: Fkm 11,6-11,8

$(F_1+F_2)/2$-Methode: (⊖200 + ⊕240) · 170 / 2 = ⊕3400,0 m^3

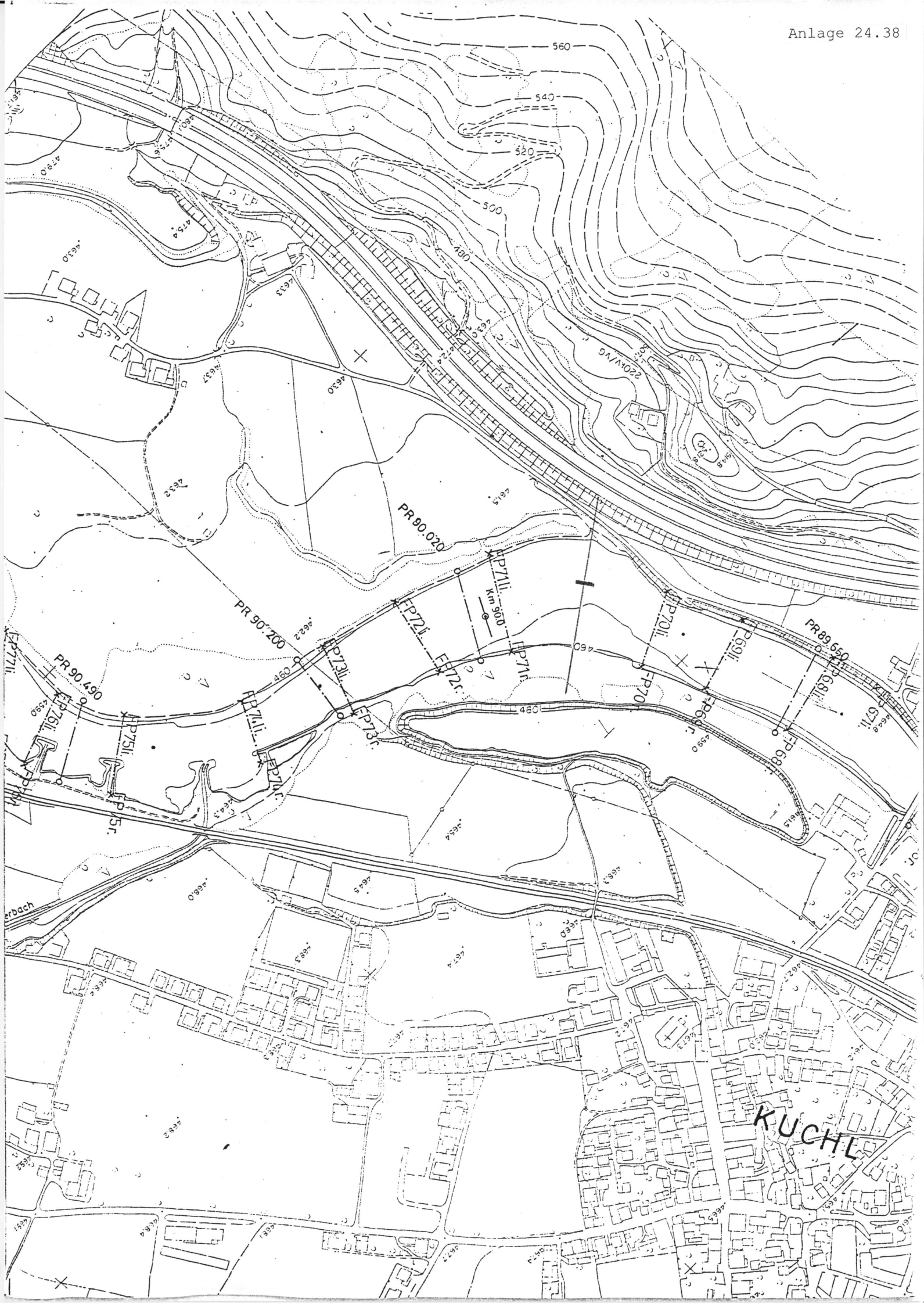
DBWas-Methode: Berechnung der Auskeilung:
X = 2 · 170 / (2 + 3) = 68 m , 170 - 68 = 102 m

68 · ⊖200 / 2 + 102 · ⊕240 / 2 = ⊕5440,0 m^3

sterometrische Metode: Berechnung der DP-Lage:
$H_{11,6}$ = ⊖2 m , $H_{11,8}$ = ⊕3 m ⇒ 2 / (2 + 3) = 2/5 , 3 / (2 + 3) = 3/5
B_{DP} = 100 - 2/5 · (100 - 80) = 80 + 3/5 · (100 - 80) = 92 m

2/5 · ⊖2 · (2 ·100 + 92) · 170 /6 + 3/5 · ⊕3 · (2 ·80 + 92) · 170 / 6
= ⊕6233,3 m^3

Zum Vergleich: Im Berechnungsabschnitt Fkm 10,4-10,6 erbringen alle drei Methoden das gleiche Ergebnis von ⊖8800 m^3, da $B_{11,8} = B_{12,0} = 80$ m ist.


560
540
520
500
480
460
PR 90.020
PR 90.200
PR 90.490
PR 89.650
FP71li
FP71re
FP72li
FP72re
FP73li
FP73re
FP74li
FP74re
FP75li
FP75re
FP76li
FP76re
FP70li
FP70re
FP69li
FP69re
FP68li
FP68re
Km 900
220kV/VG
KUCHL

Dokumentation Profilaufnahme 1966/67

zwischen den Festpunkten sind Bereiche mit Punktlücken ab ca. 15 m seperat angegeben

Profil Nr.	ermittelter Fkm	Linkes Ufer Y-Wert	Linkes Ufer X-Wert	Rechtes Ufer Y-Wert	Rechtes Ufer X-Wert	Qualität	Profilpunkte sind im ganzen Querschnitt vorhanden	Profilpunkte im Sohlbereich aus "a"-Profilen ergänzt	Profilpunkte nur im Böschungsbereich vorhanden	keine Profilpunkte vorhanden	
63	89,291	-14641,54	276487,51	-14519,06	276489,18	6			X		links nur -14,6 bis 22,5 vorhanden
64	89,336	-14626,92	276440,01	-14529,66	276445,15	6			X		32,0 bis 86,8 fehlt
65	89,380	-14631,75	276396,44	-14536,46	276399,77	2	X				39,0 bis 54,0 fehlt
66	89,432	-14624,79	276346,92	-14547,40	276345,92	2	X				47,0 bis 61,0 fehlt
67	-	-14630,67	276182,48	entfällt	entfällt	-			X		links nur -10,2 bis 27,0 vorhanden
68	89,645	-14621,02	276121,50	-14527,26	276141,35	5		X			36,5 bis 66,5 fehlt
69	89,748	-14583,28	276016,46	-14495,50	276041,40	2	X				68,0 bis 82,0 fehlt
70	89,831	-14544,78	275935,76	-14463,07	275972,29	2	X				42,0 bis 57,4 fehlt
71	89,985	-14438,37	275759,75	-14373,43	275856,74	5		X			89,7 bis 116,7 fehlt
72	90,080	-14325,04	275721,30	-14303,84	275813,46	6			X		36,0 bis 83,6 fehlt
73	90,171	-14233,55	275697,94	-14202,56	275770,31	1	X				
74	90,287	-14124,80	275676,28	-14085,65	275743,52	1	X				
75	90,438	-14020,34	275592,77	-13947,95	275641,70	3	X				55,7 bis 87,4 fehlt
76	90,527	-13989,60	275524,52	-13901,68	275551,81	3	X				50,0 bis 76,1 fehlt
77	90,592	-13999,56	275427,58	-13898,66	275504,52	6			X		"sehr schräges Profil"
78	90,692	-14011,20	275371,71	-13929,46	275351,80	6			X		5,0 bis 81,1 fehlt
79	90,765	-14028,06	275307,11	-13944,94	275273,88	6			X		5,6 bis 77,2 fehlt
80	90,833	-14055,24	275215,15	-13953,79	275238,92	5		X			9,5 bis 34,0 und 66,0 bis 93,1 fehlt
81	90,960	-14055,52	275097,08	-13975,84	275103,73	3	X				5,0 bis 23,0 und 46,0 bis 63,0 fehlt
82	91,073	-14036,92	274972,31	-13963,07	275000,47	4		X			3,9 bis 18,0 fehlt, doppelte Werte
83	91,187	-14015,42	274868,59	-13940,14	274884,53	1	X				
84	91,228	-13990,67	274821,04	-13929,93	274838,94	1	X				
85	91,324	-13939,36	274705,84	-13884,55	274748,52	2	X				56,5 bis 71,5 fehlt
86	91,396	-13872,76	274598,29	-13850,06	274727,19	2	X				93,4 bis 110,9 fehlt
87	91,461	-13777,77	274613,38	-13794,75	274712,12	6			X		35,0 bis 68,2 fehlt
88	91,563	-13679,46	274623,05	-13688,83	274695,51	1	X				
89	91,726	-13504,22	274624,71	-13517,34	274707,85	6			X		3,8 bis 66,5 fehlt
90	91,840	-13397,52	274604,78	-13391,18	274679,83	6			X		7,1 bis 41,5 fehlt
91	91,914	-13320,67	274593,59	-13302,30	274646,80	1	X				
92	92,008	-13259,43	274533,96	-13211,39	274595,21	1	X				
93	92,096	-13218,69	274455,60	-13127,20	274507,71	6			X		52,6 bis 99,3 fehlt
94	92,207	-13175,42	274365,88	-13094,35	274398,80	4		X			doppelte Werte
95	92,289	-13139,89	274297,73	-13066,02	274328,38	1	X				
96	92,334	-13120,99	274259,68	-13048,66	274291,57	1	X				
97	92,439	-13070,07	274173,19	-12998,74	274197,93	4		X			48,5 bis 68,5 fehlt
98	92,587	-13001,70	274028,56	-12933,06	274069,12	1	X				
99	92,685	-12969,83	273929,42	-12888,28	273986,02	6			X		25,5 bis 89,9 fehlt
100	92,815	-12929,29	273837,07	-12841,26	273890,39	5		X			43,5 bis 86,0 fehlt
101	92,905	-12887,89	273756,64	-12801,08	273814,73	3	X				39,1 bis 58,0 fehlt, ggf. Fehler 4,0
102	92,965	-12843,79	273675,85	-12762,10	273732,49	1	X				ggf. Fehler 21,7
103	93,057	-12802,03	273598,72	-12727,40	273639,00	1	X				ggf. Fehler 10,0, FP rechts fehlt
104	93,165	-12765,04	273494,29	-12693,73	273532,22	1	X				ggf. Fehler 9,0
105	93,267	-12744,04	273387,44	-12658,23	273425,95	3	X				40,0 bis 72,8 fehlt, ggf. Fehler 5,0
106	93,386	-12740,01	273275,47	-12644,34	273300,48	1	X				ggf. Fehler 17,0
107	93,479	-12728,47	273190,33	-12641,20	273200,14	1	X				ggf. Fehler 12,0
108	93,665	-12717,49	273020,71	-12638,52	273021,54	2	X				31,0 bis 48,5 fehlt, ggf. Fehler 5,5
109	93,765	-12722,11	272913,42	-12644,37	272913,56	1	X				ggf. Fehler 7,5
110	93,847	-12726,33	272827,69	-12646,00	272830,66	1	X				ggf. Fehler 7,3
111	94,000	-12752,93	272667,58	-12661,65	272667,35	2	X				18,3 bis 32,7 fehlt, ggf. Fehler 5,6
112	94,168	-12755,19	272508,43	-12678,81	272506,65	2	X				37,4 bis 52,0 fehlt, ggf. Fehler 3,5
113	94,259	-12766,96	272422,40	-12692,82	272418,44	1	X				ggf. Fehler 7,0
114	94,412	-12799,79	272285,72	-12725,48	272265,71	2	X				2,0 bis 19,65 fehlt, ggf. Fehler 26,0
115	94,517	-12834,72	272193,80	-12744,65	272165,47	2	X				12,3 bis 26,9 fehlt, ggf. Fehler 28,0
116	94,617	-12864,86	272119,63	-12799,37	272061,07	3	X				60,35 bis 79,35 fehlt, ggf. Fehler 10,0
117	94,856	-12953,32	271823,24	-12860,35	271859,86	4		X			8,5 bis 23,0 fehlt, ggf. Fehler 85,0
118	94,882	-12897,30	271729,74	-12827,53	271777,74	3	X				53,0 bis 72,7 fehlt, ggf. Fehler 56,7
119	95,041	-12821,70	271637,88	-12767,96	271701,96	3	X				56,5 bis 77,6 fehlt, ggf. Fehler 53,6
120	95,128	-12748,99	271578,87	-12700,12	271657,31	3	X				67,4 bis 90,9 fehlt, ggf. Fehler 7,0 und 51,9
121	95,203	-12661,14	271540,85	-12637,16	271626,10	2		X			35,5 bis 52,65 fehlt, ggf. Fehler 61,0

Dokumentation Profilaufnahme 1966/67

zwischen den Festpunkten sind Bereiche mit Punktlücken ab ca. 15 m seperat angegeben

Profil Nr.	ermittelter Fkm	Linkes Ufer Y-Wert	Linkes Ufer X-Wert	Rechtes Ufer Y-Wert	Rechtes Ufer X-Wert	Qualität	Profilpunkte sind im ganzen Querschnitt vorhanden	Profilpunkte im Sohlbereich aus "a"-Profilen ergänzt	Profilpunkte nur im Böschungsbereich vorhanden	keine Profilpunkte vorhanden	
63	89,291	-14641,54	276487,51	-14519,06	276489,18	6			X		links nur -14,6 bis 22,5 vorhanden
64	89,336	-14626,92	276440,01	-14529,66	276445,15	6			X		32,0 bis 86,8 fehlt
65	89,380	-14631,75	276396,44	-14536,46	276399,77	2	X				39,0 bis 54,0 fehlt
66	89,432	-14624,79	276346,92	-14547,40	276345,92	2	X				47,0 bis 61,0 fehlt
67	-	-14630,67	276182,48	entfällt	entfällt	-			X		links nur -10,2 bis 27,0 vorhanden
68	89,645	-14621,02	276121,50	-14527,26	276141,35	5		X			36,5 bis 66,5 fehlt
69	89,748	-14583,28	276016,46	-14495,50	276041,40	2	X				68,0 bis 82,0 fehlt
70	89,831	-14544,78	275935,76	-14463,07	275972,29	2	X				42,0 bis 57,4 fehlt
71	89,985	-14438,37	275759,75	-14373,43	275856,74	5		X			89,7 bis 116,7 fehlt
72	90,080	-14325,04	275721,30	-14303,84	275813,46	6			X		36,0 bis 83,6 fehlt
73	90,171	-14233,55	275697,94	-14202,56	275770,31	1	X				
74	90,287	-14124,80	275676,28	-14085,65	275743,52	1	X				
75	90,438	-14020,34	275592,77	-13947,95	275641,70	3	X				55,7 bis 87,4 fehlt
76	90,527	-13989,60	275524,52	-13901,68	275551,81	3	X				50,0 bis 76,1 fehlt
77	90,592	-13999,56	275427,58	-13898,66	275504,52	6			X		"sehr schräges Profil"
78	90,692	-14011,20	275371,71	-13929,46	275351,80	6			X		5,0 bis 81,1 fehlt
79	90,765	-14028,06	275307,11	-13944,94	275273,88	6			X		5,6 bis 77,2 fehlt
80	90,833	-14055,24	275215,15	-13953,79	275238,92	5		X			9,5 bis 34,0 und 66,0 bis 93,1 fehlt
81	90,960	-14055,52	275097,08	-13975,84	275103,73	3	X				5,0 bis 23,0 und 46,0 bis 63,0 fehlt
82	91,073	-14036,92	274972,31	-13963,07	275000,47	4		X			3,9 bis 18,0 fehlt, doppelte Werte
83	91,187	-14015,42	274868,59	-13940,14	274884,53	1	X				
84	91,228	-13990,67	274821,04	-13929,93	274838,94	1	X				
85	91,324	-13939,36	274705,84	-13884,55	274748,52	2	X				56,5 bis 71,5 fehlt
86	91,396	-13872,76	274598,29	-13850,06	274727,19	2	X				93,4 bis 110,9 fehlt
87	91,461	-13777,77	274613,38	-13794,75	274712,12	6			X		35,0 bis 68,2 fehlt
88	91,563	-13679,46	274623,05	-13688,83	274695,51	1	X				
89	91,726	-13504,22	274624,71	-13517,34	274707,85	6			X		3,8 bis 66,5 fehlt
90	91,840	-13397,52	274604,78	-13391,18	274679,83	6			X		7,1 bis 41,5 fehlt
91	91,914	-13320,67	274593,59	-13302,30	274646,80	1	X				
92	92,008	-13259,43	274533,96	-13211,39	274595,21	1	X				
93	92,096	-13218,69	274455,60	-13127,20	274507,71	6			X		52,6 bis 99,3 fehlt
94	92,207	-13175,42	274365,88	-13094,35	274398,80	4		X			doppelte Werte
95	92,289	-13139,89	274297,73	-13066,02	274328,38	1	X				
96	92,334	-13120,99	274259,68	-13048,66	274291,57	1	X				
97	92,439	-13070,07	274173,19	-12998,74	274197,93	4		X			48,5 bis 68,5 fehlt
98	92,587	-13001,70	274028,56	-12933,06	274069,12	1	X				
99	92,685	-12969,83	273929,42	-12888,28	273986,02	6			X		25,5 bis 89,9 fehlt
100	92,815	-12929,29	273837,07	-12841,26	273890,39	5		X			43,5 bis 86,0 fehlt
101	92,905	-12887,89	273756,64	-12801,08	273814,73	3	X				39,1 bis 58,0 fehlt, ggf. Fehler 4,0
102	92,965	-12843,79	273675,85	-12762,10	273732,49	1	X				ggf. Fehler 21,7
103	93,057	-12802,03	273598,72	-12727,40	273639,00	1	X				ggf. Fehler 10,0, FP rechts fehlt
104	93,165	-12765,04	273494,29	-12693,73	273532,22	1	X				ggf. Fehler 9,0
105	93,267	-12744,04	273387,44	-12658,23	273425,95	3	X				40,0 bis 72,8 fehlt, ggf. Fehler 5,0
106	93,386	-12740,01	273275,47	-12644,34	273300,48	1	X				ggf. Fehler 17,0
107	93,479	-12728,47	273190,33	-12641,20	273200,14	1	X				ggf. Fehler 12,0
108	93,665	-12717,49	273020,71	-12638,52	273021,54	2	X				31,0 bis 48,5 fehlt, ggf. Fehler 5,5
109	93,765	-12722,11	272913,42	-12644,37	272913,56	1	X				ggf. Fehler 7,5
110	93,847	-12726,33	272827,69	-12646,00	272830,66	1	X				ggf. Fehler 7,3
111	94,000	-12752,93	272667,58	-12661,65	272667,35	2	X				18,3 bis 32,7 fehlt, ggf. Fehler 5,6
112	94,168	-12755,19	272508,43	-12678,81	272506,65	2	X				37,4 bis 52,0 fehlt, ggf. Fehler 3,5
113	94,259	-12766,96	272422,40	-12692,82	272418,44	1	X				ggf. Fehler 7,0
114	94,412	-12799,79	272285,72	-12725,48	272265,71	2	X				2,0 bis 19,65 fehlt, ggf. Fehler 26,0
115	94,517	-12834,72	272193,80	-12744,65	272165,47	2	X				12,3 bis 26,9 fehlt, ggf. Fehler 28,0
116	94,617	-12864,86	272119,63	-12799,37	272061,07	3	X				60,35 bis 79,35 fehlt, ggf. Fehler 10,0
117	94,856	-12953,32	271823,24	-12860,35	271859,86	4		X			8,5 bis 23,0 fehlt, ggf. Fehler 85,0
118	94,882	-12897,30	271729,74	-12827,53	271777,74	3	X				53,0 bis 72,7 fehlt, ggf. Fehler 56,7
119	95,041	-12821,70	271637,88	-12767,96	271701,96	3	X				56,5 bis 77,6 fehlt, ggf. Fehler 53,6
120	95,128	-12748,99	271578,87	-12700,12	271657,31	3	X				67,4 bis 90,9 fehlt, ggf. Fehler 7,0 und 51,9
121	95,203	-12661,14	271540,85	-12637,16	271626,10	2		X			35,5 bis 52,65 fehlt, ggf. Fehler 61,0

Massenbilanzierung von Flußprofilen
Dokumentation der Flächenwerte Profilaufnahme 1966/67

Fkm	Aufnahme	Fläche	Bemerkung
95,955	01.01.1967	- - -	kein Profil vorhanden
95,750	01.01.1967	- - -	kein Profil vorhanden
95,590	01.01.1967	- - -	kein Profil vorhanden
95,440	01.01.1967	280,0000	kein Profil vorhanden, als "Startwert" für Massenbilanz angenommen: Fläche 1995 - 11 m^2
95,230	01.01.1967	296,9213	Wert Profil 121
95,045	01.01.1967	337,9840	Wert Profil 119
94,780	01.01.1967	460,0000	kein brauchbares Profil vorhanden, Flächendifferenz aus benachbarten Profilen angeschätzt
94,600	01.01.1967	300,0000	Abschätzung: Profil 116 liegt in einer Engstelle, Profil 115 ist etwas breiter, mS liegt höher !
94,370	01.01.1967	260,0000	Abschätzung aus Profil 114 und Profil 113
94,000	01.01.1967	299,5580	Wert Profil 111
93,670	01.01.1967	290,0088	Wert Profil 108
93,350	01.01.1967	374,0000	Abschätzung aus Profil 106 und Profil 105
92,970	01.01.1967	412,2624	Wert Profil 102
92,730	01.01.1967	340,0000	Abschätzung aus Profil 100 und Profil 99 (problematisch weil beide Profile lückenhaft im Flußbett)
92,400	01.01.1967	330,0000	Abschätzung aus Profil 97 und Profil 96
92,180	01.01.1967	375,6110	Wert Profil 94
91,980	01.01.1967	343,6171	Wert Profil 92
91,780	01.01.1967	248,0000	Abschätzung aus Profil 89 und Profil 90
91,470	01.01.1967	329,4366	Wert Profil 87 (problematisch wil Profil lückenhaft im Flußbett)
91,150	01.01.1967	330,0000	Abschätzung aus Profil 83 und Profil 82
90,760	01.01.1967	250,0000	Abschätzung aus Profil 79 und Profil 78 (problematisch weil beide Profile lückenhaft im Flußbett)
90,490	01.01.1967	357,2854	Wert Profil 76
90,200	01.01.1967	312,2583	Wert Profil 73
90,020	01.01.1967	409,0000	Abschätzung aus Profil 72 und Profil 71
89,660	01.01.1967	403,1137	Wert Profil 68
89,465	01.01.1967	232,8157	Wert Profil 66
89,205	01.06.1992	449,9025	Abschätzung aus Profil 64 und Profil 62 (Profil 64 im Flußbett lückenhaft)
88,922	01.06.1992	341,3979	Wert Profil 60
88,670	01.06.1992	319,8477	Wert Profil 56
88,396	01.01.1967	340,6000	Wert Profil 53
88,160	01.01.1967	408,0317	Wert Profil 50
87,894	01.01.1967	407,2136	Wert Profil 48
87,670	01.01.1967	550,0000	Abschätzung aus Profil 46 und Profil 45
87,330	01.01.1967	373,0000	Abschätzung aus Profil 43 und Profil 42
87,070	01.01.1967	356,3785	Wert Profil 40
86,872	01.01.1967	302,6051	Wert Profil 37
86,640	01.01.1967	363,2619	Wert Profil 35
86,390	01.01.1967	365,6657	Wert Profil 32
86,190	01.01.1967	415,7012	Wert Profil 30
85,978	01.01.1967	556,1606	Wert Profil 27
85,695	01.01.1967	400,0000	Abschätzung aus Profil 25 und Profil 24
85,503	01.01.1967	615,0000	Abschätzung aus Profil 23 und Profil 22
85,240	01.01.1967	348,2074	Wert Profil 20
85,050	01.01.1967	330,7214	Wert Profil 18
84,930	01.01.1967	340,2887	Wert Profil 17
84,845	01.01.1967	410,4000	Abschätzung aus Profil 15 und Profil 16
84,650	01.01.1967	448,7290	Wert Profil 13
84,465	01.01.1967	465,6417	Wert Profil 11
84,200	01.01.1967	530,4794	Wert Profil 8
84,000	01.01.1967	589,7967	Wert Profil 6
83,830	01.01.1967	693,8686	Wert Profil 3
83,500	01.01.1967	600,0000	Abschätzung aus Profil 1

Ergebnisse der Massenbilanzierung von Flußprofilen

Volumen

Abschnitt	von - bis	1981/86-1961/67	1992-1981/86	1992-1961/67	1995-1992	1998-1995
IV d	96,680-95,590	entfällt	entfällt	entfällt	-9.057 m3	9.137 m3
IV c	95,590-90,020	-132.855 m3	-74.274 m3	-180.267 m3	9.851 m3	15.962 m3
IV b	90,020-85,695	-210.917 m3	-46.124 m3	-342.899 m3	-7.802 m3	771 m3
IV a	85,695-82,880	-139.898 m3	-34.146 m3	-189.733 m3	-29.787 m3	14.772 m3
III b	82,880-80,420	42.962 m3	116.734 m3	114.842 m3	19.292 m3	77.674 m3
III a	80,420-75,062	274.650 m3	-211.569 m3	63.723 m3	-25.507 m3	262.968 m3
II c	75,062-71,000	-317.695 m3	-116.550 m3	-517.044 m3	-38.111 m3	-7.210 m3
II b	71,000-65,400	-(148.201 m3)	-(21.762 m3)	-180.631 m3	11.455 m3	-10.406 m3
II a	65,400-63,950	entfällt	entfällt	142.621 m3	10.521 m3	-5.988 m3
I	63,950-59,300	-328.526 m3	-113.874 m3	-413.761 m3	15.648 m3	2.426 m3
	Σ Bilanz	-(960.481 m3)	-(501.565 m3)	-1.503.149 m3	-43.497 m3	360.105 m3

aufsummierte Volumen

Abschnitt	von - bis	1981/86-1961/67	1992-1981/86	1992-1961/67	1995-1992	1998-1995
IV d	96,680-95,590	entfällt	entfällt	entfällt	-(9.057 m3)	(80 m3)
IV c	95,590-90,020	-132.855 m3	-207.129 m3	-180.267 m3	-170.417 m3	-154.455 m3
IV b	90,020-85,695	-210.917 m3	-257.041 m3	-342.899 m3	-350.701 m3	-349.930 m3
IV a	85,695-82,880	-139.898 m3	-174.044 m3	-189.733 m3	-219.520 m3	-204.747 m3
III b	82,880-80,420	42.962 m3	159.696 m3	114.842 m3	134.134 m3	211.808 m3
III a	80,420-75,062	274.650 m3	63.081 m3	63.723 m3	38.216 m3	301.183 m3
II c	75,062-71,000	-317.695 m3	-434.246 m3	-517.044 m3	-555.155 m3	-562.365 m3
II b	71,000-65,400	-(148.201 m3)	-(169.963 m3)	-180.631 m3	-(169.175 m3)	-179.582 m3
II a	65,400-63,950	entfällt	entfällt	142.621 m3	153.142 m3	147.154 m3
I	63,950-59,300	-328.526 m3	-442.400 m3	-413.761 m3	-398.113 m3	-395.687 m3
	Σ Bilanz	-(960.481 m3)	-(1.462.046 m3)	-1.503.149 m3	-1.546.646 m3	-1.186.541 m3

Bilanzierungszeiträume der Abschnitte

Abschnitt	von - bis	1981/86-1961/67	1992-1981/86	1992-1961/67	1995-1992	1998-1995
IV d	96,680-95,590	entfällt	entfällt	entfällt	3,38 Jahre	3,00 Jahre
IV c	95,590-90,020	19,33 Jahre	6,10 Jahre	25,43 Jahre	3,38 Jahre	3,00 Jahre
IV b	90,020-85,695	19,33 Jahre	6,10 Jahre	25,43 Jahre	3,38 Jahre	3,00 Jahre
IV a	85,695-82,880	18,83 Jahre	6,54 Jahre	25,43 Jahre	3,38 Jahre	3,00 Jahre
III b	82,880-80,420	19,45 Jahre	11,38 Jahre	30,90 Jahre	3,00 Jahre	3,00 Jahre
III a	80,420-75,062	18,70 Jahre	7,30 Jahre	26,00 Jahre	3,00 Jahre	3,00 Jahre
II c	75,062-71,000	23,58 Jahre	7,00 Jahre	31,30 Jahre	3,50 Jahre	3,00 Jahre
II b	71,000-65,400	entfällt	entfällt	31,56 Jahre	3,50 Jahre	3,00 Jahre
II a	65,400-63,950	entfällt	entfällt	31,56 Jahre	3,50 Jahre	3,00 Jahre
I	63,950-59,300	24,31 Jahre	7,00 Jahre	31,30 Jahre	3,50 Jahre	3,00 Jahre

Volumen als Jahresmittelwerte

Abschnitt	von - bis	1981/86-1961/67	1992-1981/86	1992-1961/67	1995-1992	1998-1995
IV d	96,680-95,590	entfällt	entfällt	entfällt	-2.684 m3/a	3.046 m3/a
IV c	95,590-90,020	-6.606 m3/a	-11.250 m3/a	-7.089 m3/a	2.919 m3/a	5.321 m3/a
IV b	90,020-85,695	-9.039 m3/a	-5.710 m3/a	-13.484 m3/a	-2.312 m3/a	257 m3/a
IV a	85,695-82,880	-6.035 m3/a	-5.363 m3/a	-7.461 m3/a	-8.826 m3/a	4.924 m3/a
III b	82,880-80,420	2.209 m3/a	10.262 m3/a	3.717 m3/a	6.431 m3/a	25.891 m3/a
III a	80,420-75,062	14.687 m3/a	-28.982 m3/a	2.451 m3/a	-8.502 m3/a	87.656 m3/a
II c	75,062-71,000	-13.471 m3/a	-16.650 m3/a	-16.519 m3/a	-10.889 m3/a	-2.403 m3/a
II b	71,000-65,400	entfällt	entfällt	-5.723 m3/a	3.273 m3/a	-3.469 m3/a
II a	65,400-63,950	entfällt	entfällt	4.519 m3/a	3.006 m3/a	-1.996 m3/a
I	63,950-59,300	-13.516 m3/a	-16.268 m3/a	-13.219 m3/a	4.471 m3/a	809 m3/a

Geschwindigkeit der Sohländerung als Jahresmittelwert

Abschnitt	von - bis	1981/86-1961/67	1992-1981/86	1992-1961/67	1995-1992	1998-1995
IV d	96,680-95,590	entfällt	entfällt	entfällt	-3,19 cm/a	3,62 cm/a
IV c	95,590-90,020	-1,47 cm/a	-2,51 cm/a	-1,58 cm/a	0,65 cm/a	1,18 cm/a
IV b	90,020-85,695	-2,50 cm/a	-1,58 cm/a	-3,73 cm/a	-0,64 cm/a	0,07 cm/a
IV a	85,695-82,880	-2,49 cm/a	-1,86 cm/a	-3,07 cm/a	-3,64 cm/a	2,03 cm/a
III b	82,880-80,420	0,28 cm/a	2,84 cm/a	0,78 cm/a	1,78 cm/a	7,18 cm/a
III a	80,420-75,062	2,33 cm/a	-4,58 cm/a	0,39 cm/a	-1,34 cm/a	13,85 cm/a
II c	75,062-71,000	-5,51 cm/a	-6,87 cm/a	-6,80 cm/a	-4,89 cm/a	-1,08 cm/a
II b	71,000-65,400	entfällt	entfällt	-1,32 cm/a	0,75 cm/a	-0,80 cm/a
II a	65,400-63,950	entfällt	entfällt	3,55 cm/a	2,36 cm/a	-1,57 cm/a
I	63,950-59,300	-3,37 cm/a	-4,15 cm/a	-3,29 cm/a	1,16 cm/a	0,21 cm/a

Zusammenstellung verschiedener Bezugssysteme

	"altes" Bezugssystem 1939/41				Bezugssystem DBWas seit 1981				"sohlnahes" Bezugssystem *Sohlbreite 1977*				
Fkm	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	*Breite*
59,30	4,00	144,00	408,00	**140,00**	3,50	147,50	408,00	**144,00**	24,00	127,00	408,00	**103,00**	*115,00*
59,20	2,50	142,50	408,00	**140,00**	3,00	139,00	408,00	**136,00**	23,00	127,00	408,00	**104,00**	*95,00*
59,00	4,00	144,00	407,00	**140,00**	4,00	134,00	407,00	**130,00**	20,00	123,00	407,00	**103,00**	*110,00*
58,80	4,50	134,50	407,00	**130,00**	4,00	130,00	407,00	**126,00**	17,00	116,00	407,00	**99,00**	*104,00*
58,60	-0,50	119,50	407,00	**120,00**	3,00	125,00	407,00	**122,00**	18,00	111,00	407,00	**93,00**	*98,00*
58,40	3,00	123,00	407,00	**120,00**	5,00	124,00	407,00	**119,00**	18,00	116,00	407,00	**98,00**	*93,00*
58,20	3,00	123,00	407,00	**120,00**	3,00	118,00	407,00	**115,00**	18,00	104,00	407,00	**86,00**	*88,00*
58,00	4,50	124,50	406,00	**120,00**	3,00	119,00	406,00	**116,00**	18,00	104,00	406,00	**86,00**	*84,00*
57,80	3,00	123,00	406,00	**120,00**	3,00	120,00	406,00	**117,00**	18,00	102,00	406,00	**84,00**	*90,00*
57,60	3,50	123,50	406,00	**120,00**	3,00	119,00	406,00	**116,00**	17,00	102,00	406,00	**85,00**	*88,00*
57,40	3,50	123,50	405,00	**120,00**	3,30	120,30	405,00	**117,00**	18,00	105,00	405,00	**87,00**	*82,00*
57,20	3,50	123,50	405,00	**120,00**	3,50	118,50	405,00	**115,00**	17,00	105,00	405,00	**88,00**	*84,00*
57,00	3,00	123,00	405,00	**120,00**	3,60	119,60	405,00	**116,00**	20,00	100,00	405,00	**80,00**	*80,00*
56,80	3,50	123,50	405,00	**120,00**	4,50	116,50	405,00	**112,00**	16,00	101,00	405,00	**85,00**	*78,00*
56,60	3,00	113,00	405,00	**110,00**	4,00	116,00	405,00	**112,00**	17,00	102,00	405,00	**85,00**	*74,00*
56,40	3,00	113,00	405,00	**110,00**	3,50	117,50	405,00	**114,00**	16,00	106,00	405,00	**90,00**	*85,00*
56,20	4,50	124,50	404,00	**120,00**	4,60	120,60	404,00	**116,00**	16,00	109,00	404,00	**93,00**	*90,00*
56,00	5,50	125,50	404,00	**120,00**	4,00	120,00	404,00	**116,00**	18,00	108,00	404,00	**90,00**	*90,00*
55,80	3,00	123,00	404,00	**120,00**	4,00	122,00	404,00	**118,00**	17,00	110,00	404,00	**93,00**	*90,00*
55,60	0,00	120,00	404,00	**120,00**	4,00	121,00	404,00	**117,00**	16,00	111,00	404,00	**95,00**	*91,00*
55,40	2,50	122,50	403,00	**120,00**	4,00	122,00	403,00	**118,00**	16,00	106,00	403,00	**90,00**	*85,00*
55,20	4,50	124,50	403,00	**120,00**	4,30	121,30	403,00	**117,00**	16,00	106,00	403,00	**90,00**	*89,00*
55,00	4,00	124,00	403,00	**120,00**	4,00	122,00	403,00	**118,00**	15,00	105,00	403,00	**90,00**	*86,00*
54,80	3,00	123,00	403,00	**120,00**	5,50	123,50	403,00	**118,00**	15,00	110,00	403,00	**95,00**	*90,00*
54,60	3,50	123,50	402,00	**120,00**	3,50	121,50	402,00	**118,00**	17,00	112,00	402,00	**95,00**	*85,00*
54,40	3,50	123,50	402,00	**120,00**	3,50	121,50	402,00	**118,00**	14,00	114,00	402,00	**100,00**	*90,00*
54,20	3,00	123,00	402,00	**120,00**	3,50	124,50	402,00	**121,00**	13,00	113,00	402,00	**100,00**	*94,00*
54,00	3,50	123,50	401,00	**120,00**	3,50	124,50	401,00	**121,00**	11,00	113,00	401,00	**102,00**	*89,00*
53,80	3,00	123,00	401,00	**120,00**	3,00	123,00	401,00	**120,00**	10,00	113,00	401,00	**103,00**	*100,00*
53,60	3,50	123,50	401,00	**120,00**	3,10	124,10	401,00	**121,00**	10,00	116,00	401,00	**106,00**	*97,00*
53,40	4,00	124,00	401,00	**120,00**	3,50	123,50	401,00	**120,00**	12,00	113,00	401,00	**101,00**	*97,00*
53,20	3,50	123,50	400,00	**120,00**	3,50	121,50	400,00	**118,00**	12,00	110,00	400,00	**98,00**	*95,00*
53,00	3,00	123,00	400,00	**120,00**	3,00	124,00	400,00	**121,00**	9,00	114,00	400,00	**105,00**	*95,00*
52,80	3,00	123,00	400,00	**120,00**	2,00	121,00	400,00	**119,00**	10,00	110,00	400,00	**100,00**	*92,00*
52,60	3,00	123,00	400,00	**120,00**	3,60	123,60	400,00	**120,00**	10,00	113,00	400,00	**103,00**	*100,00*
52,40	3,50	153,50	399,00	**150,00**	4,00	158,00	399,00	**154,00**	15,00	144,00	399,00	**129,00**	*115,00*
52,20	2,50	122,50	400,00	**120,00**	4,00	122,00	400,00	**118,00**	14,00	109,00	400,00	**95,00**	*88,00*
52,00	7,50	127,50	399,00	**120,00**	8,50	129,50	399,00	**121,00**	17,00	117,00	399,00	**100,00**	*90,00*
51,80	2,00	122,00	399,00	**120,00**	3,00	126,00	399,00	**123,00**	16,00	111,00	399,00	**95,00**	*90,00*
51,60	4,00	124,00	399,00	**120,00**	5,00	124,00	399,00	**119,00**	13,00	115,00	399,00	**102,00**	*95,00*
51,40	4,00	124,00	398,00	**120,00**	3,20	125,20	398,00	**122,00**	13,00	113,00	398,00	**100,00**	*95,00*
51,20	3,50	123,50	398,00	**120,00**	3,00	124,00	398,00	**121,00**	14,00	114,00	398,00	**100,00**	*90,00*
51,00	3,50	123,50	398,00	**120,00**	3,50	124,50	398,00	**121,00**	14,00	114,00	398,00	**100,00**	*95,00*
50,80	4,50	124,50	398,00	**120,00**	3,50	125,50	398,00	**122,00**	14,00	116,00	398,00	**102,00**	*95,00*
50,60	2,50	122,50	398,00	**120,00**	3,50	125,50	398,00	**122,00**	13,00	118,00	398,00	**105,00**	*99,00*
50,40	3,50	123,50	397,00	**120,00**	3,50	125,50	397,00	**122,00**	14,00	116,00	397,00	**102,00**	*99,00*
50,20	3,00	123,00	397,00	**120,00**	2,10	124,10	397,00	**122,00**	14,00	114,00	397,00	**100,00**	*96,00*
50,00	6,50	126,50	397,00	**120,00**	5,00	126,00	397,00	**121,00**	16,00	116,00	397,00	**100,00**	*95,00*
49,80	3,50	123,50	397,00	**120,00**	4,00	124,00	397,00	**120,00**	16,00	111,00	397,00	**95,00**	*94,00*
49,60	2,00	122,00	396,00	**120,00**	2,00	122,00	396,00	**120,00**	13,00	113,00	396,00	**100,00**	*97,00*
49,40	2,50	122,50	396,00	**120,00**	2,60	120,60	396,00	**118,00**	15,00	110,00	396,00	**95,00**	*90,00*
49,20	6,00	126,00	396,00	**120,00**	3,20	125,20	396,00	**122,00**	13,00	115,00	396,00	**102,00**	*97,00*
49,00	8,50	138,50	395,00	**130,00**	3,80	138,80	395,00	**135,00**	17,00	129,00	395,00	**112,00**	*95,00*
48,80	7,50	117,50	395,00	**110,00**	2,50	121,50	395,00	**119,00**	16,00	111,00	395,00	**95,00**	*96,00*
48,60	5,50	125,50	395,00	**120,00**	2,20	120,20	395,00	**118,00**	10,00	110,00	395,00	**100,00**	*95,00*
48,40	2,00	122,00	395,00	**120,00**	1,10	121,10	395,00	**120,00**	8,00	118,00	395,00	**110,00**	*92,00*
48,20	29,50	140,00	395,00	**110,50**	7,70	154,70	395,00	**147,00**	40,00	138,00	395,00	**98,00**	*82,00*
48,00	7,00	137,00	395,00	**130,00**	5,30	149,30	395,00	**144,00**	11,00	131,00	395,00	**120,00**	*83,00*
47,80	-3,00	117,00	394,00	**120,00**	0,50	112,50	394,00	**112,00**	16,00	111,00	394,00	**95,00**	*66,00*
47,60	4,00	104,00	393,00	**100,00**	1,30	104,30	393,00	**103,00**	10,00	92,00	393,00	**82,00**	*67,00*
47,40	10,50	114,50	394,00	**104,00**	5,00	117,00	394,00	**112,00**	17,00	102,00	394,00	**85,00**	*65,00*
47,20	16,50	120,50	394,00	**104,00**	3,70	126,70	394,00	**123,00**	20,00	117,00	394,00	**97,00**	*92,00*
47,00	8,50	120,50	394,00	**112,00**	3,00	127,00	394,00	**124,00**	16,00	111,00	394,00	**95,00**	*89,00*

Zusammenstellung verschiedener Bezugssysteme

	"altes" Bezugssystem 1939/41				Bezugssystem DBWas seit 1981				"sohlnahes" Bezugssystem *Sohlbreite 1977*				
Fkm	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	*Breite*
46,80	14,00	129,00	394,00	**115,00**	7,80	131,80	394,00	**124,00**	20,00	110,00	394,00	**90,00**	*84,00*
46,60	12,00	132,00	393,00	**120,00**	8,50	130,50	393,00	**122,00**	12,00	132,00	393,00	**120,00**	*90,00*
46,40	12,00	129,00	393,00	**117,00**	7,50	130,50	393,00	**123,00**	16,00	116,00	393,00	**100,00**	*80,00*
46,20	13,50	127,50	393,00	**114,00**	8,20	129,20	393,00	**121,00**	20,00	120,00	393,00	**100,00**	*89,00*
46,00	15,00	128,00	393,00	**113,00**	9,30	128,30	393,00	**119,00**	20,00	122,00	393,00	**102,00**	*95,00*
45,80	4,00	116,00	391,00	**112,00**	3,60	116,60	391,00	**113,00**	12,00	112,00	391,00	**100,00**	*90,00*
45,60	4,00	117,00	391,00	**113,00**	4,00	117,00	391,00	**113,00**	10,00	110,00	391,00	**100,00**	*92,00*
45,40	5,50	113,50	391,00	**108,00**	3,00	117,00	391,00	**114,00**	25,00	112,00	391,00	**87,00**	*86,00*
45,20	6,50	117,50	391,00	**111,00**	5,00	119,00	391,00	**114,00**	31,00	116,00	391,00	**85,00**	*78,00*
45,00	15,50	127,50	391,00	**112,00**	16,00	120,00	391,00	**104,00**	36,00	124,00	391,00	**88,00**	*70,00*
44,80	5,50	117,50	390,00	**112,00**	3,00	123,00	390,00	**120,00**	10,00	112,00	390,00	**102,00**	*96,00*
44,60	7,50	116,50	390,00	**109,00**	3,50	119,50	390,00	**116,00**	10,00	111,00	390,00	**101,00**	*92,00*
44,40	6,50	116,50	390,00	**110,00**	3,00	116,00	390,00	**113,00**	10,00	110,00	390,00	**100,00**	*90,00*
44,20	7,50	115,50	390,00	**108,00**	2,50	117,50	390,00	**115,00**	10,00	110,00	390,00	**100,00**	*94,00*
44,00	7,50	114,50	390,00	**107,00**	4,50	117,50	390,00	**113,00**	11,00	109,00	390,00	**98,00**	*94,00*
43,80	5,50	111,50	390,00	**106,00**	3,50	117,50	390,00	**114,00**	10,00	108,00	390,00	**98,00**	*94,00*
43,60	7,00	113,00	389,00	**106,00**	3,50	116,50	389,00	**113,00**	10,00	110,00	389,00	**100,00**	*95,00*
43,40	6,50	114,50	389,00	**108,00**	3,00	117,00	389,00	**114,00**	10,00	110,00	389,00	**100,00**	*97,00*
43,20	6,50	116,50	389,00	**110,00**	2,00	117,00	389,00	**115,00**	10,00	110,00	389,00	**100,00**	*95,00*
43,00	6,50	115,50	388,00	**109,00**	1,00	117,00	388,00	**116,00**	11,00	111,00	388,00	**100,00**	*93,00*
42,80	6,50	113,50	388,00	**107,00**	1,50	116,50	388,00	**115,00**	12,00	110,00	388,00	**98,00**	*94,00*
42,60	7,00	113,00	388,00	**106,00**	3,20	115,20	388,00	**112,00**	12,00	108,00	388,00	**96,00**	*90,00*
42,40	5,50	112,50	387,00	**107,00**	3,50	116,50	387,00	**113,00**	14,00	109,00	387,00	**95,00**	*88,00*
42,20	5,00	113,00	387,00	**108,00**	2,50	117,50	387,00	**115,00**	14,00	110,00	387,00	**96,00**	*94,00*
42,00	8,00	114,00	387,00	**106,00**	4,30	117,30	387,00	**113,00**	12,00	108,00	387,00	**96,00**	*90,00*
41,80	8,00	114,00	387,00	**106,00**	1,00	117,00	387,00	**116,00**	13,00	108,00	387,00	**95,00**	*91,00*
41,60	7,00	117,00	387,00	**110,00**	2,00	118,00	387,00	**116,00**	13,00	110,00	387,00	**97,00**	*93,00*
41,40	8,50	119,50	387,00	**111,00**	2,00	118,00	387,00	**116,00**	15,00	110,00	387,00	**95,00**	*90,00*
41,20	7,50	115,50	386,00	**108,00**	4,00	117,00	386,00	**113,00**	13,00	108,00	386,00	**95,00**	*90,00*
41,00	8,00	117,00	386,00	**109,00**	3,50	119,50	386,00	**116,00**	11,00	111,00	386,00	**100,00**	*90,00*
40,80	5,00	112,00	386,00	**107,00**	3,00	118,00	386,00	**115,00**	12,00	110,00	386,00	**98,00**	*90,00*
40,60	4,50	121,50	385,00	**117,00**	3,20	125,20	385,00	**122,00**	12,00	117,00	385,00	**105,00**	*94,00*
40,40	7,00	137,00	385,00	**130,00**	3,00	138,00	385,00	**135,00**	12,00	127,00	385,00	**115,00**	*110,00*
40,20	5,50	132,50	385,00	**127,00**	4,00	135,00	385,00	**131,00**	12,00	127,00	385,00	**115,00**	*114,00*
40,00	10,50	144,50	384,00	**134,00**	4,80	147,80	384,00	**143,00**	22,00	140,00	384,00	**118,00**	*114,00*
39,80	7,00	115,00	384,00	**108,00**	3,50	117,50	384,00	**114,00**	12,00	108,00	384,00	**96,00**	*95,00*
39,60	7,00	117,00	384,00	**110,00**	2,40	118,40	384,00	**116,00**	10,00	108,00	384,00	**98,00**	*95,00*
39,40	5,00	117,00	384,00	**112,00**	2,00	120,00	384,00	**118,00**	9,00	109,00	384,00	**100,00**	*93,00*
39,20	6,50	117,50	384,00	**111,00**	3,30	120,30	384,00	**117,00**	11,00	111,00	384,00	**100,00**	*97,00*
39,00	6,00	118,00	383,00	**112,00**	3,50	120,50	383,00	**117,00**	10,00	110,00	383,00	**100,00**	*95,00*
38,80	6,50	117,50	383,00	**111,00**	4,00	120,00	383,00	**116,00**	11,00	110,00	383,00	**99,00**	*92,00*
38,60	5,50	121,50	383,00	**116,00**	3,50	124,50	383,00	**121,00**	10,00	112,00	383,00	**102,00**	*94,00*
38,40	6,00	118,00	383,00	**112,00**	3,70	120,70	383,00	**117,00**	9,00	112,00	383,00	**103,00**	*95,00*
38,20	7,50	114,50	383,00	**107,00**	4,00	119,00	383,00	**115,00**	11,00	111,00	383,00	**100,00**	*95,00*
38,00	6,50	111,50	383,00	**105,00**	3,50	115,50	383,00	**112,00**	10,00	107,00	383,00	**97,00**	*90,00*
37,80	8,50	113,50	383,00	**105,00**	1,00	116,00	383,00	**115,00**	10,00	107,00	383,00	**97,00**	*90,00*
37,60	6,00	115,00	382,00	**109,00**	4,50	117,50	382,00	**113,00**	10,00	106,00	382,00	**96,00**	*95,00*
37,40	6,50	115,50	382,00	**109,00**	3,80	118,80	382,00	**115,00**	11,00	108,00	382,00	**97,00**	*93,00*
37,20	6,00	113,00	382,00	**107,00**	1,50	117,50	382,00	**116,00**	10,00	107,00	382,00	**97,00**	*91,00*
37,00	5,00	114,00	382,00	**109,00**	3,30	118,30	382,00	**115,00**	11,00	108,00	382,00	**97,00**	*95,00*
36,80	6,50	118,50	382,00	**112,00**	3,00	123,00	382,00	**120,00**	10,00	112,00	382,00	**102,00**	*102,00*
36,60	6,00	123,00	382,00	**117,00**	3,00	129,00	382,00	**126,00**	9,00	118,00	382,00	**109,00**	*108,00*
36,40	7,00	127,00	381,00	**120,00**	2,00	129,00	381,00	**127,00**	11,00	117,00	381,00	**106,00**	*107,00*
36,20	6,50	115,50	381,00	**109,00**	3,50	120,50	381,00	**117,00**	14,00	110,00	381,00	**96,00**	*96,00*
36,00	6,50	111,50	381,00	**105,00**	3,50	116,50	381,00	**113,00**	10,00	100,00	381,00	**90,00**	*87,00*
35,80	6,00	107,00	380,00	**101,00**	3,50	110,50	380,00	**107,00**	11,00	100,00	380,00	**89,00**	*87,00*
35,60	8,00	108,00	380,00	**100,00**	2,50	112,50	380,00	**110,00**	10,00	101,00	380,00	**91,00**	*87,00*
35,40	8,50	113,50	380,00	**105,00**	1,00	117,00	380,00	**116,00**	11,00	107,00	380,00	**96,00**	*94,00*
35,20	6,50	117,50	381,00	**111,00**	3,00	121,00	381,00	**118,00**	12,00	109,00	381,00	**97,00**	*96,00*
35,00	6,00	116,00	380,00	**110,00**	3,00	119,00	380,00	**116,00**	10,00	108,00	380,00	**98,00**	*94,00*
34,80	6,50	117,50	379,00	**111,00**	3,00	120,00	379,00	**117,00**	10,00	110,00	379,00	**100,00**	*92,00*
34,60	8,00	116,00	379,00	**108,00**	3,00	119,00	379,00	**116,00**	10,00	109,00	379,00	**99,00**	*96,00*
34,40	6,00	113,00	379,00	**107,00**	4,00	119,00	379,00	**115,00**	11,00	107,00	379,00	**96,00**	*94,00*

Zusammenstellung verschiedener Bezugssysteme

	"altes" Bezugssystem 1939/41				Bezugssystem DBWas seit 1981				"sohlnahes" Bezugssystem *Sohlbreite 1977*				
Fkm	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	*Breite*
34,20	6,50	111,50	379,00	**105,00**	1,00	115,00	379,00	**114,00**	11,00	106,00	379,00	**95,00**	*91,00*
34,00	8,50	128,50	379,00	**120,00**	0,00	112,00	379,00	**112,00**	10,00	100,00	379,00	**90,00**	*88,00*
33,80	6,00	118,00	378,00	**112,00**	1,50	117,50	378,00	**116,00**	10,00	108,00	378,00	**98,00**	*95,00*
33,60	5,50	115,50	378,00	**110,00**	3,50	120,50	378,00	**117,00**	10,00	111,00	378,00	**101,00**	*93,00*
33,40	6,00	112,00	378,00	**106,00**	2,50	117,50	378,00	**115,00**	9,00	105,00	378,00	**96,00**	*92,00*
33,20	6,50	109,50	378,00	**103,00**	2,50	114,50	378,00	**112,00**	7,00	102,00	378,00	**95,00**	*92,00*
33,00	6,00	124,00	377,00	**118,00**	2,00	115,00	377,00	**113,00**	10,00	104,00	377,00	**94,00**	*87,00*
32,80	6,00	106,00	377,00	**100,00**	1,50	109,50	377,00	**108,00**	10,00	100,00	377,00	**90,00**	*90,00*
32,60	7,50	100,50	377,00	**93,00**	2,00	105,00	377,00	**103,00**	11,00	96,00	377,00	**85,00**	*84,00*
32,40	6,50	103,50	377,00	**97,00**	1,50	108,50	377,00	**107,00**	11,00	99,00	377,00	**88,00**	*88,00*
32,20	5,00	107,00	377,00	**102,00**	2,50	112,50	377,00	**110,00**	13,00	102,00	377,00	**89,00**	*86,00*
32,00	6,00	108,00	376,00	**102,00**	2,00	114,00	376,00	**112,00**	12,00	104,00	376,00	**92,00**	*88,00*
31,80	8,00	125,00	376,00	**117,00**	1,50	114,50	376,00	**113,00**	10,00	107,00	376,00	**97,00**	*90,00*
31,60	7,00	125,00	376,00	**118,00**	0,00	120,00	376,00	**120,00**	9,00	108,00	376,00	**99,00**	*94,00*
31,40	6,75	117,75	376,00	**111,00**	0,00	123,00	376,00	**123,00**	10,00	110,00	376,00	**100,00**	*92,00*
31,20	6,50	117,50	376,00	**111,00**	0,00	124,00	376,00	**124,00**	10,00	111,00	376,00	**101,00**	*87,00*
31,00	6,50	117,50	375,00	**111,00**	1,70	121,70	375,00	**120,00**	10,00	113,00	375,00	**103,00**	*95,00*
30,80	6,50	113,50	375,00	**107,00**	2,50	120,50	375,00	**118,00**	8,00	109,00	375,00	**101,00**	*95,00*
30,60	5,00	114,00	375,00	**109,00**	2,30	120,30	375,00	**118,00**	9,00	108,00	375,00	**99,00**	*94,00*
30,40	5,50	115,50	375,00	**110,00**	1,80	120,80	375,00	**119,00**	9,00	112,00	375,00	**103,00**	*98,00*
30,20	4,50	113,50	375,00	**109,00**	3,20	118,20	375,00	**115,00**	10,00	110,00	375,00	**100,00**	*93,00*
30,00	8,00	115,00	375,00	**107,00**	8,00	115,00	375,00	**107,00**	11,00	110,00	375,00	**99,00**	*90,00*
29,80	6,50	113,50	374,00	**107,00**	3,50	115,50	374,00	**112,00**	9,00	108,00	374,00	**99,00**	*94,00*
29,60	6,50	114,50	374,00	**108,00**	2,00	117,00	374,00	**115,00**	10,00	108,00	374,00	**98,00**	*94,00*
29,40	5,50	115,50	374,00	**110,00**	3,00	119,00	374,00	**116,00**	11,00	110,00	374,00	**99,00**	*95,00*
29,20	5,00	118,00	374,00	**113,00**	2,50	121,50	374,00	**119,00**	11,00	113,00	374,00	**102,00**	*100,00*
29,00	7,50	118,50	373,00	**111,00**	3,20	121,20	373,00	**118,00**	10,00	113,00	373,00	**103,00**	*98,00*
28,80	6,50	118,50	373,00	**112,00**	3,00	121,00	373,00	**118,00**	9,00	114,00	373,00	**105,00**	*97,00*
28,60	6,50	118,50	373,00	**112,00**	3,00	122,00	373,00	**119,00**	8,00	115,00	373,00	**107,00**	*103,00*
28,40	6,50	118,50	373,00	**112,00**	2,80	120,80	373,00	**118,00**	9,00	114,00	373,00	**105,00**	*100,00*
28,20	5,00	120,00	372,00	**115,00**	5,00	120,00	372,00	**115,00**	8,00	116,00	372,00	**108,00**	*103,00*
28,00	5,50	118,50	372,00	**113,00**	2,70	120,70	372,00	**118,00**	6,00	113,00	372,00	**107,00**	*102,00*
27,80	5,50	117,50	372,00	**112,00**	3,00	121,00	372,00	**118,00**	10,00	112,00	372,00	**102,00**	*99,00*
27,60	6,00	117,00	372,00	**111,00**	3,00	119,00	372,00	**116,00**	9,00	111,00	372,00	**102,00**	*97,00*
27,40	5,50	118,50	371,00	**113,00**	3,00	120,00	371,00	**117,00**	9,00	112,00	371,00	**103,00**	*100,00*
27,20	6,50	122,50	371,00	**116,00**	3,50	119,50	371,00	**116,00**	9,00	111,00	371,00	**102,00**	*100,00*
27,00	3,00	123,00	371,00	**120,00**	3,40	121,40	371,00	**118,00**	8,00	120,00	371,00	**112,00**	*105,00*
26,80	5,50	123,50	371,00	**118,00**	1,80	126,80	371,00	**125,00**	9,00	118,00	371,00	**109,00**	*99,00*
26,60	4,00	115,00	371,00	**111,00**	1,50	121,50	371,00	**120,00**	8,00	110,00	371,00	**102,00**	*98,00*
26,40	5,50	113,50	371,00	**108,00**	3,00	118,00	371,00	**115,00**	7,00	108,00	371,00	**101,00**	*105,00*
26,20	4,50	107,50	371,00	**103,00**	2,60	111,60	371,00	**109,00**	8,00	103,00	371,00	**95,00**	*90,00*
26,00	3,50	109,50	371,00	**106,00**	3,00	113,00	371,00	**110,00**	8,00	106,00	371,00	**98,00**	*93,00*
25,80	6,50	117,50	371,00	**111,00**	5,60	121,60	371,00	**116,00**	10,00	112,00	371,00	**102,00**	*100,00*
25,60	4,50	116,50	370,00	**112,00**	3,70	120,70	370,00	**117,00**	8,00	110,00	370,00	**102,00**	*99,00*
25,40	4,50	119,50	370,00	**115,00**	2,50	122,50	370,00	**120,00**	8,00	115,00	370,00	**107,00**	*104,00*
25,20	5,00	119,00	370,00	**114,00**	3,00	120,00	370,00	**117,00**	7,00	114,00	370,00	**107,00**	*102,00*
25,00	5,50	115,50	370,00	**110,00**	3,30	119,30	370,00	**116,00**	8,00	110,00	370,00	**102,00**	*100,00*
24,80	5,00	112,00	370,00	**107,00**	2,50	115,50	370,00	**113,00**	11,00	109,00	370,00	**98,00**	*95,00*
24,60	5,50	111,50	370,00	**106,00**	4,00	117,00	370,00	**113,00**	10,00	110,00	370,00	**100,00**	*95,00*
24,40	7,50	117,50	369,00	**110,00**	4,50	120,50	369,00	**116,00**	11,00	111,00	369,00	**100,00**	*95,00*
24,20	4,50	115,50	369,00	**111,00**	2,50	116,50	369,00	**114,00**	8,00	108,00	369,00	**100,00**	*97,00*
24,00	3,50	114,50	369,00	**111,00**	2,00	118,00	369,00	**116,00**	7,00	110,00	369,00	**103,00**	*95,00*
23,80	4,50	117,50	369,00	**113,00**	3,00	120,00	369,00	**117,00**	10,00	112,00	369,00	**102,00**	*102,00*
23,60	2,50	116,50	369,00	**114,00**	2,50	119,50	369,00	**117,00**	8,00	110,00	369,00	**102,00**	*100,00*
23,40	4,00	118,00	369,00	**114,00**	2,00	119,00	369,00	**117,00**	8,00	112,00	369,00	**104,00**	*98,00*
23,20	6,00	119,00	368,00	**113,00**	2,00	120,00	368,00	**118,00**	6,00	111,00	368,00	**105,00**	*100,00*
23,00	4,00	118,00	368,00	**114,00**	2,00	121,00	368,00	**119,00**	8,00	113,00	368,00	**105,00**	*100,00*
22,80	4,50	118,50	368,00	**114,00**	1,50	121,50	368,00	**120,00**	4,50	118,50	368,00	**114,00**	*100,00*
22,60	4,00	119,00	368,00	**115,00**	2,00	122,00	368,00	**120,00**	6,00	113,00	368,00	**107,00**	*100,00*
22,40	19,00	135,00	367,00	**116,00**	15,50	136,50	367,00	**121,00**	20,00	130,00	367,00	**110,00**	*100,00*
22,20	4,00	120,00	367,00	**116,00**	2,00	124,00	367,00	**122,00**	10,00	116,00	367,00	**106,00**	*100,00*
22,00	5,00	124,00	367,00	**119,00**	2,00	127,00	367,00	**125,00**	10,00	117,00	367,00	**107,00**	*105,00*
21,80	4,00	121,00	367,00	**117,00**	3,00	125,00	367,00	**122,00**	8,00	110,00	367,00	**102,00**	*97,00*

Zusammenstellung verschiedener Bezugssysteme

	"altes" Bezugssystem 1939/41				Bezugssystem DBWas seit 1981				"sohlnahes" Bezugssystem *Sohlbreite 1977*				
Fkm	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	*Breite*
21,60	9,50	123,50	367,00	**114,00**	4,00	122,00	367,00	**118,00**	12,00	107,00	367,00	**95,00**	*95,00*
21,40	3,50	117,50	367,00	**114,00**	0,70	114,70	367,00	**114,00**	10,00	100,00	367,00	**90,00**	*95,00*
21,20	7,00	123,00	367,00	**116,00**	2,00	123,00	367,00	**121,00**	17,00	117,00	367,00	**100,00**	*97,00*
21,00	6,00	121,00	366,00	**115,00**	5,60	118,60	366,00	**113,00**	12,00	112,00	366,00	**100,00**	*95,00*
20,80	8,00	125,00	366,00	**117,00**	7,00	124,00	366,00	**117,00**	18,00	116,00	366,00	**98,00**	*97,00*
20,60	18,00	122,00	366,00	**104,00**	13,00	126,00	366,00	**113,00**	29,00	117,00	366,00	**88,00**	*88,00*
20,40	15,00	115,00	366,00	**100,00**	7,00	114,00	366,00	**107,00**	18,00	105,00	366,00	**87,00**	*88,00*
20,20	4,00	126,00	366,00	**122,00**	6,20	125,20	366,00	**119,00**	20,00	120,00	366,00	**100,00**	*108,00*
20,00	3,00	126,00	366,00	**123,00**	10,20	126,90	366,00	**116,70**	18,00	121,00	366,00	**103,00**	*94,00*
19,80	4,00	120,00	365,00	**116,00**	3,00	123,00	365,00	**120,00**	15,00	98,00	365,00	**83,00**	*98,00*
19,60	1,00	109,00	365,00	**108,00**	11,00	110,00	365,00	**99,00**	20,00	97,00	365,00	**77,00**	*87,00*
19,40	0,00	129,00	365,00	**129,00**	3,50	128,50	365,00	**125,00**	16,00	111,00	365,00	**95,00**	*110,00*
19,20	34,00	173,00	366,00	**139,00**	23,40	169,40	366,00	**146,00**	44,00	162,00	366,00	**118,00**	*120,00*
19,00	18,00	168,00	365,00	**150,00**	22,00	165,00	365,00	**143,00**	30,00	154,00	365,00	**124,00**	*120,00*
18,80	14,00	145,00	364,00	**131,00**	10,30	145,30	364,00	**135,00**	20,00	120,00	364,00	**100,00**	*112,00*
18,60	20,00	155,00	364,00	**135,00**	19,00	160,00	364,00	**141,00**	30,00	130,00	364,00	**100,00**	*118,00*
18,40	13,50	142,50	364,00	**129,00**	8,80	142,80	364,00	**134,00**	17,00	129,00	364,00	**112,00**	*105,00*
18,20	12,00	133,00	364,00	**121,00**	9,00	134,00	364,00	**125,00**	20,00	124,00	364,00	**104,00**	*100,00*
18,00	26,50	151,50	364,00	**125,00**	26,20	154,20	364,00	**128,00**	33,00	143,00	364,00	**110,00**	*100,00*
17,80	23,50	142,50	363,00	**119,00**	20,80	143,80	363,00	**123,00**	30,00	130,00	363,00	**100,00**	*98,00*
17,60	38,50	158,50	363,00	**120,00**	36,20	158,20	363,00	**122,00**	50,00	150,00	363,00	**100,00**	*105,00*
17,40	19,50	136,50	363,00	**117,00**	19,00	136,00	363,00	**117,00**	45,00	120,00	363,00	**75,00**	*100,00*
17,20	29,00	122,00	362,00	**93,00**	33,00	125,00	362,00	**92,00**	48,00	118,00	362,00	**70,00**	*100,00*
17,00	19,00	130,00	362,00	**111,00**	18,60	131,60	362,00	**113,00**	29,00	124,00	362,00	**95,00**	*102,00*
16,80	7,00	127,00	362,00	**120,00**	6,00	126,00	362,00	**120,00**	18,00	120,00	362,00	**102,00**	*102,00*
16,60	6,50	133,50	362,00	**127,00**	3,20	138,20	362,00	**135,00**	21,00	121,00	362,00	**100,00**	*110,00*
16,40	2,00	125,00	362,00	**123,00**	2,00	125,00	362,00	**123,00**	20,00	90,00	362,00	**70,00**	*105,00*
16,20	8,50	119,50	362,00	**111,00**	8,20	122,20	362,00	**114,00**	18,00	118,00	362,00	**100,00**	*97,00*
16,00	6,50	130,50	362,00	**124,00**	4,00	130,00	362,00	**126,00**	15,00	120,00	362,00	**105,00**	*105,00*
15,80	6,00	126,00	362,00	**120,00**	4,00	127,00	362,00	**123,00**	15,00	115,00	362,00	**100,00**	*100,00*
15,60	1,50	117,50	362,00	**116,00**	3,70	124,00	362,00	**120,30**	18,00	111,00	362,00	**93,00**	*97,00*
15,40	4,00	121,00	361,00	**117,00**	4,00	121,00	361,00	**117,00**	17,00	111,00	361,00	**94,00**	*90,00*
15,20	8,50	108,50	361,00	**100,00**	4,60	104,60	361,00	**100,00**	15,00	95,00	361,00	**80,00**	*80,00*
15,00	8,00	119,00	361,00	**111,00**	6,00	121,00	361,00	**115,00**	22,00	112,00	361,00	**90,00**	*88,00*
14,80	4,50	118,50	361,00	**114,00**	3,50	120,50	361,00	**117,00**	16,00	110,00	361,00	**94,00**	*90,00*
14,60	2,00	117,00	361,00	**115,00**	3,00	116,00	361,00	**113,00**	10,00	97,00	361,00	**87,00**	*87,00*
14,40	4,50	113,50	361,00	**109,00**	5,00	123,00	361,00	**118,00**	10,00	105,00	361,00	**95,00**	*95,00*
14,20	9,50	124,50	360,00	**115,00**	8,20	126,20	360,00	**118,00**	18,00	116,00	360,00	**98,00**	*100,00*
14,00	7,50	120,50	360,00	**113,00**	5,00	124,00	360,00	**119,00**	11,00	112,00	360,00	**101,00**	*100,00*
13,80	4,50	116,50	360,00	**112,00**	7,00	126,00	360,00	**119,00**	20,00	110,00	360,00	**90,00**	*97,00*
13,60	7,50	133,50	360,00	**126,00**	5,50	125,50	360,00	**120,00**	15,00	113,00	360,00	**98,00**	*103,00*
13,40	12,50	133,50	360,00	**121,00**	8,00	126,00	360,00	**118,00**	19,00	112,00	360,00	**93,00**	*92,00*
13,20	9,00	121,00	359,00	**112,00**	5,00	125,00	359,00	**120,00**	17,00	113,00	359,00	**96,00**	*95,00*
13,00	2,00	112,00	359,00	**110,00**	3,60	125,60	359,00	**122,00**	20,00	113,00	359,00	**93,00**	*94,00*
12,80	5,00	115,00	359,00	**110,00**	4,50	122,50	359,00	**118,00**	17,00	109,00	359,00	**92,00**	*92,00*
12,60	6,50	136,50	359,00	**130,00**	4,00	127,00	359,00	**123,00**	16,00	116,00	359,00	**100,00**	*95,00*
12,40	5,50	121,50	359,00	**116,00**	6,00	130,00	359,00	**124,00**	17,00	114,00	359,00	**97,00**	*100,00*
12,20	-4,50	100,50	359,00	**105,00**	1,60	102,60	359,00	**101,00**	11,00	86,00	359,00	**75,00**	*78,00*
12,00	-3,20	101,80	359,00	**105,00**	0,00	101,00	359,00	**101,00**	9,00	89,00	359,00	**80,00**	*80,00*
11,80	0,00	114,00	357,00	**114,00**	2,00	116,00	360,00	**114,00**	8,00	103,00	357,00	**95,00**	*96,00*
11,60	0,00	114,00	357,00	**114,00**	1,00	111,00	360,00	**110,00**	6,00	101,00	357,00	**95,00**	*92,00*
11,40	0,00	107,00	357,00	**107,00**	1,00	106,00	360,00	**105,00**	10,00	100,00	357,00	**90,00**	*86,00*
11,20	0,00	101,00	358,00	**101,00**	2,00	111,00	360,00	**109,00**	6,00	96,00	358,00	**90,00**	*86,00*
11,00	0,00	115,00	358,00	**115,00**	2,00	116,00	360,00	**114,00**	10,00	104,00	358,00	**94,00**	*87,00*
10,80	0,00	107,00	357,00	**107,00**	2,00	111,00	358,00	**109,00**	14,00	106,00	357,00	**92,00**	*86,00*
10,60	0,00	114,00	358,00	**114,00**	2,00	116,00	358,00	**114,00**	18,00	106,00	358,00	**88,00**	*80,00*
10,40	0,00	102,00	358,00	**102,00**	9,00	111,00	358,00	**102,00**	12,00	94,00	358,00	**82,00**	*80,00*
10,20	0,00	130,00	356,00	**130,00**	3,00	120,00	358,00	**117,00**	15,00	110,00	356,00	**95,00**	*95,00*
10,00	0,00	143,00	358,00	**143,00**	3,00	130,00	358,00	**127,00**	6,00	111,00	358,00	**105,00**	*100,00*
9,80	0,00	143,00	356,00	**143,00**	3,00	143,00	358,00	**140,00**	23,00	130,00	356,00	**107,00**	*115,00*
9,60	0,00	143,00	356,00	**143,00**	3,00	135,00	358,00	**132,00**	20,00	118,00	356,00	**98,00**	*120,00*
9,40	0,00	142,00	355,00	**142,00**	3,00	155,00	358,00	**152,00**	20,00	140,00	355,00	**120,00**	*140,00*
9,20	0,00	145,00	357,00	**145,00**	3,00	150,00	358,00	**147,00**	15,00	130,00	357,00	**115,00**	*125,00*

Zusammenstellung verschiedener Bezugssysteme

	"altes" Bezugssystem 1939/41				Bezugssystem DBWas seit 1981				"sohlnahes" Bezugssystem *Sohlbreite 1977*				
Fkm	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	LL	RL	HZ	**Breite**	*Breite*
9,00	0,00	110,00	356,00	**110,00**	5,00	126,00	358,00	**121,00**	8,00	109,00	356,00	**101,00**	*99,00*
8,80	0,00	143,00	356,00	**143,00**	5,00	157,00	356,00	**152,00**	7,00	140,00	356,00	**133,00**	*130,00*
8,60	0,00	165,00	355,00	**165,00**	5,00	170,00	356,00	**165,00**	10,00	152,00	355,00	**142,00**	*140,00*
8,40	22,00	164,00	355,00	**142,00**	5,00	145,00	356,00	**140,00**	35,00	153,00	355,00	**118,00**	*115,00*
8,20	23,00	139,00	355,00	**116,00**	5,00	120,00	356,00	**115,00**	31,00	121,00	355,00	**90,00**	*95,00*
8,00	159,00	270,00	355,00	**111,00**	5,00	118,00	356,00	**113,00**	166,00	266,00	355,00	**100,00**	*96,00*
7,80	283,00	391,00	355,00	**108,00**	5,00	115,00	356,00	**110,00**	290,00	382,00	355,00	**92,00**	*93,00*
7,60	288,00	400,00	355,00	**112,00**	5,00	115,00	356,00	**110,00**	294,00	390,00	355,00	**96,00**	*95,00*
7,40	325,00	431,00	355,00	**106,00**	5,00	115,00	356,00	**110,00**	330,00	420,00	355,00	**90,00**	*90,00*
7,20	305,00	415,00	355,00	**110,00**	5,00	115,00	356,00	**110,00**	307,00	404,00	355,00	**97,00**	*94,00*
7,00	261,00	374,00	355,00	**113,00**	5,00	115,00	356,00	**110,00**	270,00	368,00	355,00	**98,00**	*97,00*
6,80	424,00	537,00	355,00	**113,00**	5,00	118,00	356,00	**113,00**	433,00	530,00	355,00	**97,00**	*93,00*
6,60	399,00	512,00	355,00	**113,00**	5,00	118,00	356,00	**113,00**	410,00	506,00	355,00	**96,00**	*95,00*
6,40	342,50	465,50	355,00	**123,00**					342,50	465,50	355,00	**123,00**	*105,00*
6,20	347,00	483,00	354,00	**136,00**					347,00	483,00	354,00	**136,00**	*105,00*
6,00	107,00	227,00	354,00	**120,00**					107,00	227,00	354,00	**120,00**	*90,00*
5,80	129,00	224,00	354,00	**95,00**					129,00	224,00	354,00	**95,00**	*75,00*
5,60	139,50	249,50	354,00	**110,00**					139,50	249,50	354,00	**110,00**	*90,00*
5,40	132,00	267,00	354,00	**135,00**					132,00	267,00	354,00	**135,00**	*105,00*
5,20	163,00	278,00	354,00	**115,00**					163,00	278,00	354,00	**115,00**	*95,00*
5,00	181,00	299,00	354,00	**118,00**					181,00	299,00	354,00	**118,00**	*97,00*
4,80	180,00	295,00	353,00	**115,00**					180,00	295,00	353,00	**115,00**	*95,00*
4,60	192,00	305,00	353,00	**113,00**					192,00	305,00	353,00	**113,00**	*95,00*
4,40	191,00	307,00	353,00	**116,00**					191,00	307,00	353,00	**116,00**	*97,00*
4,20	175,50	293,50	353,00	**118,00**					175,50	293,50	353,00	**118,00**	*100,00*
4,00	167,00	284,00	352,00	**117,00**					167,00	284,00	352,00	**117,00**	*96,00*
3,80	160,50	275,50	352,00	**115,00**					160,50	275,50	352,00	**115,00**	*98,00*
3,60	168,00	282,00	352,00	**114,00**					168,00	282,00	352,00	**114,00**	*99,00*
3,40	160,00	275,00	351,00	**115,00**					160,00	275,00	351,00	**115,00**	*97,00*
3,20	163,50	278,50	351,00	**115,00**					163,50	278,50	351,00	**115,00**	*95,00*
3,00	162,00	269,00	351,00	**107,00**					162,00	269,00	351,00	**107,00**	*90,00*
2,80	161,00	269,00	351,00	**108,00**					161,00	269,00	351,00	**108,00**	*120,00*
2,60	201,50	311,50	350,00	**110,00**					201,50	311,50	350,00	**110,00**	*140,00*
2,40	317,00	427,00	350,00	**110,00**					317,00	427,00	350,00	**110,00**	*160,00*
2,20	389,00	523,00	350,00	**134,00**					389,00	523,00	350,00	**134,00**	*150,00*
2,00	248,00	362,00	350,00	**114,00**					248,00	362,00	350,00	**114,00**	*154,00*
1,80	148,50	291,50	350,00	**143,00**					148,50	291,50	350,00	**143,00**	*200,00*
1,60	291,00	411,00	350,00	**120,00**					291,00	411,00	350,00	**120,00**	*200,00*
1,40	98,00	228,00	350,00	**130,00**					98,00	228,00	350,00	**130,00**	*250,00*

Legende:

LL linke Lotrechte
RL rechte Lotrechten
HZ Horizont
Breite Abstand zwischen linker und rechter Lotrechten

Zur Systematik eines Bezugssystems siehe auch Abbildung 32 in Kapitel 5.5

Sohlbreite 1977 Bereich der bewegten Sohle zwischen den Böschungsfüßen, ermittelt aus Querprofilen der Aufnahme 1977

Ergebnisse der Massenbilanzierung von Flußprofilen

Volumen

	DBDigi		DBDigi - Q-Buch	Q-Buch						Q-Buch - DBDigi	DBDigi
Abschnitt von - bis	1920-19	1922-20	1940-22	1949-40	1953-49	1954-53	1957-54	1959-57	1964-59	1969-64	1973-69
1a 59,3-53,0	-59.456 m3	48.915 m3	-439.847 m3	-272.965 m3	-133.818 m3	32.483 m3	-43.971 m3	-71.874 m3	-48.257 m3	-157.149 m3	-75.367 m3
1b 53,0-49,0	87.819 m3	-49.230 m3	-249.777 m3	-54.438 m3	-45.461 m3	48.178 m3	-113.504 m3	49.368 m3	-81.559 m3	-68.623 m3	-72.565 m3
2 49,0-44,0	86.606 m3	-7.913 m3	-450.000 m3	77.165 m3	-42.705 m3	-4.516 m3	-106.481 m3	96.306 m3	-31.429 m3	-166.114 m3	-65.711 m3
3a 44,0-38,0	-32.931 m3	45.515 m3	-70.694 m3	-67.901 m3	-21.161 m3	18.460 m3	-17.110 m3	64.148 m3	29.761 m3	-81.503 m3	-115.407 m3
3b 38,0-29,0	75.960 m3	-116.328 m3	153.622 m3	-122.879 m3	115.763 m3	-17.637 m3	-35.355 m3	83.383 m3	68.656 m3	-62.655 m3	-153.162 m3
3c 29,0-22,0	175.175 m3	-173.222 m3	67.332 m3	42.458 m3	-26.708 m3	99.608 m3	-126.130 m3	152.399 m3	-16.842 m3	-130.447 m3	36.362 m3
4a 22,0-14,0	123.002 m3	-70.106 m3	-6.521 m3	-56.522 m3	11.301 m3	-34.543 m3	-60.900 m3	58.141 m3	-74.822 m3	72.418 m3	-87.515 m3
4b+5a 14,0-6,6	-61.001 m3	-61.639 m3	-335.355 m3	-260.641 m3	-128.875 m3	53.996 m3	74.811 m3	89.365 m3	33.330 m3	138.716 m3	-30.174 m3
5b 6,6-1,4	23.119 m3	-87.122 m3	-610.354 m3	-337.251 m3	-75.297 m3	377.096 m3	145.213 m3	-128.786 m3	132.175 m3	27.236 m3	-110.116 m3
Σ Bilanz	404.472 m3	-459.397 m3	-1.857.617 m3	-1.041.868 m3	-343.659 m3	544.117 m3	437.030 m3	-333.694 m3	-34.741 m3	-437.549 m3	-673.656 m3

aufsummierte Volumen

	DBDigi		DBDigi - Q-Buch	Q-Buch						Q-Buch - DBDigi	DBDigi
Abschnitt von - bis	1920-19	1922-20	1940-22	1949-40	1953-49	1954-53	1957-54	1959-57	1964-59	1969-64	1973-69
1a 59,3-53,0	-59.456 m3	-10.541 m3	-450.388 m3	-723.352 m3	-857.170 m3	-824.687 m3	-868.658 m3	-940.532 m3	-988.789 m3	-1.145.938 m3	-1.221.306 m3
1b 53,0-49,0	87.819 m3	38.588 m3	-211.188 m3	-265.626 m3	-311.087 m3	-262.909 m3	-376.413 m3	-327.045 m3	-408.604 m3	-477.227 m3	-549.792 m3
2 49,0-44,0	86.606 m3	78.693 m3	-371.306 m3	-294.142 m3	-336.846 m3	-341.362 m3	-447.843 m3	-351.537 m3	-382.966 m3	-549.080 m3	-614.791 m3
3a 44,0-38,0	-32.931 m3	12.583 m3	-58.111 m3	-126.011 m3	-147.173 m3	-128.712 m3	-145.822 m3	-81.675 m3	-51.914 m3	-133.417 m3	-248.825 m3
3b 38,0-29,0	75.960 m3	-40.368 m3	113.254 m3	-9.625 m3	106.138 m3	88.501 m3	53.146 m3	136.529 m3	205.184 m3	142.529 m3	-10.633 m3
3c 29,0-22,0	175.175 m3	1.954 m3	69.285 m3	111.743 m3	85.035 m3	184.643 m3	58.512 m3	210.911 m3	194.069 m3	63.622 m3	99.984 m3
4a 22,0-14,0	123.002 m3	52.896 m3	46.375 m3	-10.147 m3	1.154 m3	-33.389 m3	-94.290 m3	-36.149 m3	-110.970 m3	-38.552 m3	-126.067 m3
4b+5a 14,0-6,6	-61.001 m3	-122.640 m3	-457.995 m3	-718.636 m3	-847.511 m3	-793.515 m3	-718.704 m3	-629.339 m3	-596.009 m3	-457.293 m3	-487.467 m3
5b 6,6-1,4	23.119 m3	-64.003 m3	-674.357 m3	-1.011.608 m3	-1.086.905 m3	-709.810 m3	-564.597 m3	-693.382 m3	-561.208 m3	-533.972 m3	-644.087 m3
Σ Bilanz	404.472 m3	-54.924 m3	-1.912.542 m3	-2.954.410 m3	-3.298.069 m3	-2.753.952 m3	-2.316.922 m3	-2.650.616 m3	-2.685.357 m3	-3.122.906 m3	-3.796.562 m3

Ergebnisse der Massenbilanzierung von Flußprofilen

Volumen			DBDigi - DBWas	DBWas				Kontrolle				
								DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi	Q-Buch
Abschnitt von - bis	1975-73	1977-75	1981-77	1985-81	1992-85	1995-92	1998-95	1953-53	1957-57	1959-59	1959-53	1953-59
1a 59,3-53,0	-60.915 m3	-142.839 m3	-37.498 m3	-65.890 m3	-76.125 m3	-104.379 m3	-29.764 m3	2.309 m3	-14.129 m3	21.488 m3	-64.183 m3	-83.362 m3
1b 53,0-49,0	-46.735 m3	-30.863 m3	-22.220 m3	-22.813 m3	-18.620 m3	-21.792 m3	-50.044 m3	10.858 m3	10.495 m3	8.735 m3	-18.081 m3	-15.958 m3
2 49,0-44,0	-15.439 m3	-26.869 m3	-53.133 m3	-5.690 m3	47.460 m3	-129.084 m3	-28.301 m3	14.043 m3	21.513 m3	6.922 m3	-21.812 m3	-14.690 m3
3a 44,0-38,0	-38.989 m3	-10.068 m3	11.382 m3	-45.860 m3	-48.960 m3	7.261 m3	-32.451 m3	8.770 m3	23.600 m3	-7.759 m3	48.969 m3	65.498 m3
3b 38,0-29,0	-2.910 m3	-94.666 m3	-28.408 m3	-77.231 m3	-122.301 m3	2.594 m3	-65.444 m3	-3.408 m3	26.044 m3	-18.825 m3	14.974 m3	30.391 m3
3c 29,0-22,0	-85.593 m3	-13.145 m3	-23.085 m3	-20.551 m3	-49.102 m3	-71.750 m3	-64.182 m3	-23.581 m3	-12.682 m3	-32.559 m3	116.898 m3	125.876 m3
4a 22,0-14,0	-24.364 m3	28.809 m3	-2.809 m3	19.813 m3	33.066 m3	-18.517 m3	-17.044 m3	-12.465 m3	-7.704 m3	23.536 m3	-1.302 m3	-37.303 m3
4b+5a 14,0-6,6	44.652 m3	21.745 m3	-43.746 m3	19.689 m3	28.935 m3	21.991 m3	-89.844 m3	4.419 m3	3.447 m3	-9.724 m3	198.113 m3	218.172 m3
5b 6,6-1,4	186.954 m3	-125.687 m3	36.147 m3	-81.974 m3	73.213 m3	61.894 m3	-1.210 m3	48.519 m3	1.892 m3	-1.601 m3	510.830 m3	393.523 m3
Σ Bilanz	-43.340 m3	-393.581 m3	-163.369 m3	-280.507 m3	-132.434 m3	-251.783 m3	-378.285 m3	49.464 m3	52.476 m3	-9.787 m3	464.052 m3	647.453 m3

aufsummierte Volumen			DBDigi - DBWas	DBWas				Kontrolle				
								DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi	Q-Buch
Abschnitt von - bis	1975-73	1977-75	1981-77	1985-81	1992-85	1995-92	1998-95	1953-53	1957-57	1959-59	1959-53	1953-59
1a 59,3-53,0	-1.282.221 m3	-1.425.060 m3	-1.462.557 m3	-1.528.447 m3	-1.604.572 m3	-1.708.951 m3	-1.738.715 m3	2.309 m3	-14.129 m3	21.488 m3	-64.183 m3	-2.633.877 m3
1b 53,0-49,0	-596.528 m3	-627.390 m3	-649.610 m3	-672.423 m3	-691.043 m3	-712.835 m3	-762.879 m3	10.858 m3	10.495 m3	8.735 m3	-18.081 m3	-966.367 m3
2 49,0-44,0	-630.230 m3	-657.099 m3	-710.232 m3	-715.922 m3	-668.462 m3	-797.546 m3	-825.847 m3	14.043 m3	21.513 m3	6.922 m3	-21.812 m3	-1.140.742 m3
3a 44,0-38,0	-287.813 m3	-297.881 m3	-286.500 m3	-332.360 m3	-381.320 m3	-374.059 m3	-406.510 m3	8.770 m3	23.600 m3	-7.759 m3	48.969 m3	-356.210 m3
3b 38,0-29,0	-13.543 m3	-108.209 m3	-136.617 m3	-213.848 m3	-336.149 m3	-333.555 m3	-398.999 m3	-3.408 m3	26.044 m3	-18.825 m3	14.974 m3	278.175 m3
3c 29,0-22,0	14.390 m3	1.245 m3	-21.839 m3	-42.390 m3	-91.492 m3	-163.242 m3	-227.424 m3	-23.581 m3	-12.682 m3	-32.559 m3	116.898 m3	454.066 m3
4a 22,0-14,0	-150.430 m3	-121.621 m3	-124.430 m3	-104.617 m3	-71.551 m3	-90.068 m3	-107.112 m3	-12.465 m3	-7.704 m3	23.536 m3	-1.302 m3	-163.828 m3
4b+5a 14,0-6,6	-442.815 m3	-421.070 m3	-464.816 m3	-445.127 m3	-416.192 m3	-394.201 m3	-484.045 m3	4.419 m3	3.447 m3	-9.724 m3	198.113 m3	-2.141.558 m3
5b 6,6-1,4	-457.133 m3	-582.820 m3	-546.673 m3	-628.647 m3	-555.434 m3	-493.540 m3	-494.750 m3	48.519 m3	1.892 m3	-1.601 m3	510.830 m3	-1.967.789 m3
Σ Bilanz	-3.839.902 m3	-4.233.483 m3	-4.396.852 m3	-4.677.359 m3	-4.809.793 m3	-5.061.576 m3	-5.439.860 m3	49.464 m3	52.476 m3	-9.787 m3	464.052 m3	-7.721.490 m3

Ergebnisse der Massenbilanzierung von Flußprofilen

Bilanzierungszeiträume der Abschnitte

	DBDigi		DBDigi - Q-Buch	Q-Buch						Q-Buch - DBDigi	DBDigi
Abschnitt von - bis	1920-19	1922-20	1940-22	1949-40	1953-49	1954-53	1957-54	1959-57	1964-59	1969-64	1973-69
1a 59,3-53,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	18,00 Jahre	9,75 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
1b 53,0-49,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	18,00 Jahre	9,75 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
2 49,0-44,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	18,00 Jahre	9,75 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
3a 44,0-38,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	18,00 Jahre	9,75 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
3b 38,0-29,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	18,00 Jahre	9,75 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
3c 29,0-22,0	1,65 Jahre	1,30 Jahre	19,20 Jahre	8,69 Jahre	3,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
4a 22,0-14,0	1,65 Jahre	1,80 Jahre	19,00 Jahre	6,33 Jahre	5,82 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
4b+5a 14,0-6,6	1,65 Jahre	2,30 Jahre	17,80 Jahre	7,16 Jahre	5,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre
5b 6,6-1,4	1,65 Jahre	2,30 Jahre	17,00 Jahre	7,75 Jahre	5,92 Jahre	1,00 Jahre	2,92 Jahre	2,00 Jahre	4,25 Jahre	5,42 Jahre	4,08 Jahre

Volumen als Jahresmittelwerte

	DBDigi		DBDigi - Q-Buch	Q-Buch						Q-Buch - DBDigi	DBDigi
Abschnitt von - bis	1920-19	1922-20	1940-22	1949-40	1953-49	1954-53	1957-54	1959-57	1964-59	1969-64	1973-69
1a 59,3-53,0	-36.034 m3/a	37.627 m3/a	-24.436 m3/a	-27.996 m3/a	-34.166 m3/a	32.483 m3/a	-15.076 m3/a	-35.937 m3/a	-11.355 m3/a	-29.012 m3/a	-18.457 m3/a
1b 53,0-49,0	53.224 m3/a	-37.870 m3/a	-13.876 m3/a	-5.583 m3/a	-11.607 m3/a	48.178 m3/a	-38.916 m3/a	24.684 m3/a	-19.190 m3/a	-12.669 m3/a	-17.771 m3/a
2 49,0-44,0	52.488 m3/a	-6.087 m3/a	-25.000 m3/a	7.914 m3/a	-10.903 m3/a	-4.516 m3/a	-36.508 m3/a	48.153 m3/a	-7.395 m3/a	-30.667 m3/a	-16.093 m3/a
3a 44,0-38,0	-19.958 m3/a	35.011 m3/a	-3.927 m3/a	-6.964 m3/a	-5.403 m3/a	18.460 m3/a	-5.866 m3/a	32.074 m3/a	7.003 m3/a	-15.047 m3/a	-28.263 m3/a
3b 38,0-29,0	46.037 m3/a	-89.483 m3/a	8.535 m3/a	-12.603 m3/a	29.556 m3/a	-17.637 m3/a	-12.122 m3/a	41.692 m3/a	16.154 m3/a	-11.567 m3/a	-37.509 m3/a
3c 29,0-22,0	106.167 m3/a	-133.248 m3/a	3.507 m3/a	4.883 m3/a	-6.819 m3/a	99.608 m3/a	-43.245 m3/a	76.199 m3/a	-3.963 m3/a	-24.083 m3/a	8.905 m3/a
4a 22,0-14,0	74.546 m3/a	-38.948 m3/a	-343 m3/a	-8.924 m3/a	1.943 m3/a	-34.543 m3/a	-20.880 m3/a	29.071 m3/a	-17.605 m3/a	13.370 m3/a	-21.432 m3/a
4b+5a 14,0-6,6	-36.970 m3/a	-26.800 m3/a	-18.840 m3/a	-36.384 m3/a	-21.782 m3/a	53.996 m3/a	25.649 m3/a	44.683 m3/a	7.842 m3/a	25.609 m3/a	-7.390 m3/a
5b 6,6-1,4	14.012 m3/a	-37.879 m3/a	-35.903 m3/a	-43.516 m3/a	-12.726 m3/a	377.096 m3/a	49.787 m3/a	-64.393 m3/a	31.100 m3/a	5.028 m3/a	-26.967 m3/a
Σ Bilanz	245.135 m3/a	-289.529 m3/a	-102.247 m3/a	-120.585 m3/a	-74.475 m3/a	544.117 m3/a	149.839 m3/a	-166.847 m3/a	-8.174 m3/a	-80.778 m3/a	-164.977 m3/a

Geschwindigkeit der Sohländerung als Jahresmittelwert

	DBDigi		DBDigi - Q-Buch	Q-Buch						Q-Buch - DBDigi	DBDigi
Abschnitt von - bis	1920-19	1922-20	1940-22	1949-40	1953-49	1954-53	1957-54	1959-57	1964-59	1969-64	1973-69
1a 59,3-53,0	-4,64 cm/a	4,85 cm/a	-3,15 cm/a	-3,64 cm/a	-4,45 cm/a	4,23 cm/a	-1,96 cm/a	-4,68 cm/a	-1,48 cm/a	-3,78 cm/a	-2,40 cm/a
1b 53,0-49,0	14,51 cm/a	-10,33 cm/a	-3,78 cm/a	-1,21 cm/a	-2,51 cm/a	10,41 cm/a	-8,41 cm/a	5,33 cm/a	-4,15 cm/a	-2,74 cm/a	-3,84 cm/a
2 49,0-44,0	11,38 cm/a	-1,32 cm/a	-5,42 cm/a	1,44 cm/a	-2,00 cm/a	-0,83 cm/a	-6,69 cm/a	8,82 cm/a	-1,35 cm/a	-5,62 cm/a	-2,95 cm/a
3a 44,0-38,0	-3,54 cm/a	6,21 cm/a	-0,70 cm/a	-1,08 cm/a	-0,84 cm/a	2,86 cm/a	-0,91 cm/a	4,97 cm/a	1,08 cm/a	-2,33 cm/a	-4,38 cm/a
3b 38,0-29,0	5,21 cm/a	-10,12 cm/a	0,97 cm/a	-1,32 cm/a	3,09 cm/a	-1,84 cm/a	-1,27 cm/a	4,36 cm/a	1,69 cm/a	-1,21 cm/a	-3,92 cm/a
3c 29,0-22,0	15,62 cm/a	-19,60 cm/a	0,52 cm/a	0,64 cm/a	-0,89 cm/a	13,01 cm/a	-5,65 cm/a	9,95 cm/a	-0,52 cm/a	-3,15 cm/a	1,16 cm/a
4a 22,0-14,0	8,76 cm/a	-4,57 cm/a	-0,04 cm/a	-0,96 cm/a	0,21 cm/a	-3,74 cm/a	-2,26 cm/a	3,15 cm/a	-1,91 cm/a	1,45 cm/a	-2,32 cm/a
4b+5a 14,0-6,6	-4,96 cm/a	-3,60 cm/a	-2,53 cm/a	-4,14 cm/a	-2,50 cm/a	6,19 cm/a	2,94 cm/a	5,12 cm/a	0,90 cm/a	2,94 cm/a	-0,85 cm/a
5b 6,6-1,4	2,90 cm/a	-7,83 cm/a	-7,42 cm/a	-7,29 cm/a	-2,13 cm/a	64,06 cm/a	8,47 cm/a	-10,96 cm/a	5,29 cm/a	0,86 cm/a	-4,48 cm/a

Ergebnisse der Massenbilanzierung von Flußprofilen

Bilanzierungszeiträume der Abschnitte

		DBDigi - DBWas			DBWas			Kontrolle				
								DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi	Q-Buch
Abschnitt	von - bis	1975-73	1977-75	1981-77	1985-81	1992-85	1995-92	1998-95	1953-53	1957-57	1959-59	1959-53	1953-59
1a	59,3-53,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
1b	53,0-49,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
2	49,0-44,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
3a	44,0-38,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
3b	38,0-29,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
3c	29,0-22,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
4a	22,0-14,0	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
4b+5a	14,0-6,6	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre
5b	6,6-1,4	1,92 Jahre	1,92 Jahre	4,17 Jahre	3,92 Jahre	6,25 Jahre	3,75 Jahre	3,00 Jahre				5,92 Jahre	5,92 Jahre

Volumen als Jahresmittelwerte

		DBDigi - DBWas			DBWas			Kontrolle				
								DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi	Q-Buch
Abschnitt	von - bis	1975-73	1977-75	1981-77	1985-81	1992-85	1995-92	1998-95	1953-53	1957-57	1959-59	1959-53	1953-59
1a	59,3-53,0	-31.782 m3/a	-74.525 m3/a	-8.999 m3/a	-16.823 m3/a	-12.180 m3/a	-27.834 m3/a	-9.921 m3/a	2.309 m3/a	-14.129 m3/a	21.488 m3/a	-10.848 m3/a	-14.089 m3/a
1b	53,0-49,0	-24.384 m3/a	-16.102 m3/a	-5.333 m3/a	-5.825 m3/a	-2.979 m3/a	-5.811 m3/a	-16.681 m3/a	10.858 m3/a	10.495 m3/a	8.735 m3/a	-3.056 m3/a	-2.697 m3/a
2	49,0-44,0	-8.055 m3/a	-14.018 m3/a	-12.752 m3/a	-1.453 m3/a	7.594 m3/a	-34.422 m3/a	-9.434 m3/a	14.043 m3/a	21.513 m3/a	6.922 m3/a	-3.687 m3/a	-2.483 m3/a
3a	44,0-38,0	-20.342 m3/a	-5.253 m3/a	2.732 m3/a	-11.709 m3/a	-7.834 m3/a	1.936 m3/a	-10.817 m3/a	8.770 m3/a	23.600 m3/a	-7.759 m3/a	8.276 m3/a	11.070 m3/a
3b	38,0-29,0	-1.518 m3/a	-49.391 m3/a	-6.818 m3/a	-19.718 m3/a	-19.568 m3/a	692 m3/a	-21.815 m3/a	-3.408 m3/a	26.044 m3/a	-18.825 m3/a	2.531 m3/a	5.137 m3/a
3c	29,0-22,0	-44.657 m3/a	-6.858 m3/a	-5.540 m3/a	-5.247 m3/a	-7.856 m3/a	-19.133 m3/a	-21.394 m3/a	-23.581 m3/a	-12.682 m3/a	-32.559 m3/a	19.757 m3/a	21.275 m3/a
4a	22,0-14,0	-12.711 m3/a	15.031 m3/a	-674 m3/a	5.059 m3/a	5.290 m3/a	-4.938 m3/a	-5.681 m3/a	-12.465 m3/a	-7.704 m3/a	23.536 m3/a	-220 m3/a	-6.305 m3/a
4b+5a	14,0-6,6	23.297 m3/a	11.345 m3/a	-10.499 m3/a	5.027 m3/a	4.630 m3/a	5.864 m3/a	-29.948 m3/a	4.419 m3/a	3.447 m3/a	-9.724 m3/a	33.484 m3/a	36.874 m3/a
5b	6,6-1,4	97.541 m3/a	-65.576 m3/a	8.675 m3/a	-20.930 m3/a	11.714 m3/a	16.505 m3/a	-403 m3/a	48.519 m3/a	1.892 m3/a	-1.601 m3/a	86.337 m3/a	66.511 m3/a
	Σ Bilanz	-22.612 m3/a	-205.347 m3/a	-39.209 m3/a	-71.619 m3/a	-21.189 m3/a	-67.142 m3/a	-126.095 m3/a	49.464 m3/a	52.476 m3/a	-9.787 m3/a	78.431 m3/a	109.429 m3/a

Geschwindigkeit der Sohländerung v_{Sohle} als Jahresmittelwert

		DBDigi - DBWas			DBWas			Kontrolle				
								DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi/Q-Buch	DBDigi	Q-Buch
Abschnitt	von - bis	1975-73	1977-75	1981-77	1985-81	1992-85	1995-92	1998-95	1953-53	1957-57	1959-59	1959-53	1953-59
1a	59,3-53,0	-4,14 cm/a	-9,70 cm/a	-1,17 cm/a	-2,19 cm/a	-1,59 cm/a	-3,62 cm/a	-1,29 cm/a	0,30 cm/a	-1,84 cm/a	2,80 cm/a	-1,41 cm/a	-1,83 cm/a
1b	53,0-49,0	-5,27 cm/a	-3,48 cm/a	-1,15 cm/a	-1,26 cm/a	-0,64 cm/a	-1,26 cm/a	-3,60 cm/a	2,35 cm/a	2,27 cm/a	1,89 cm/a	-0,66 cm/a	-0,58 cm/a
2	49,0-44,0	-1,48 cm/a	-2,57 cm/a	-2,34 cm/a	-0,27 cm/a	1,39 cm/a	-6,31 cm/a	-1,73 cm/a	2,57 cm/a	3,94 cm/a	1,27 cm/a	-0,68 cm/a	-0,45 cm/a
3a	44,0-38,0	-3,15 cm/a	-0,81 cm/a	0,42 cm/a	-1,81 cm/a	-1,21 cm/a	0,30 cm/a	-1,68 cm/a	1,36 cm/a	3,65 cm/a	-1,20 cm/a	1,28 cm/a	1,71 cm/a
3b	38,0-29,0	-0,16 cm/a	-5,17 cm/a	-0,71 cm/a	-2,06 cm/a	-2,05 cm/a	0,07 cm/a	-2,28 cm/a	-0,36 cm/a	2,72 cm/a	-1,97 cm/a	0,26 cm/a	0,54 cm/a
3c	29,0-22,0	-5,83 cm/a	-0,90 cm/a	-0,72 cm/a	-0,69 cm/a	-1,03 cm/a	-2,50 cm/a	-2,79 cm/a	-3,08 cm/a	-1,66 cm/a	-4,25 cm/a	2,58 cm/a	2,78 cm/a
4a	22,0-14,0	-1,38 cm/a	1,63 cm/a	-0,07 cm/a	0,55 cm/a	0,57 cm/a	-0,54 cm/a	-0,62 cm/a	-1,35 cm/a	-0,83 cm/a	2,55 cm/a	-0,02 cm/a	-0,68 cm/a
4b+5a	14,0-6,6	2,67 cm/a	1,30 cm/a	-1,20 cm/a	0,58 cm/a	0,53 cm/a	0,67 cm/a	-3,43 cm/a	0,51 cm/a	0,40 cm/a	-1,12 cm/a	3,84 cm/a	4,23 cm/a
5b	6,6-1,4	16,21 cm/a	-10,90 cm/a	1,44 cm/a	-3,48 cm/a	1,95 cm/a	2,74 cm/a	-0,07 cm/a	8,06 cm/a	0,31 cm/a	-0,27 cm/a	14,35 cm/a	11,30 cm/a

Deckschichtzustand	Ansatz	Autor und Gleichung
keine Deckschicht	<u>gleichförmiges Material</u> $\tau_{oc} = 0{,}06 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{50}$	Shields
	<u>ungleichförmiges Material</u> $\tau_{oc} = 0{,}047 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_m$	MP/M
	$\tau_{oc} = 0{,}035 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{50}$	Wilcock et al.
Deckschicht im Zwischenzustand	$\tau_{oc} = 0{,}047 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{mD}$	Gessler
	$\tau_{oc} = 0{,}035 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{50D}$	Parker and Klingemann
Deckschicht im Grenzzustand	$\tau_{oc} = \lambda \cdot 0{,}047 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{max}$ $\lambda = \left(\frac{d_{mD}}{d_{max}}\right)^{0{,}64} \cdot \left(\frac{d_{mA}}{d_{max}}\right)^{0{,}33}$	Günter
	$\tau_{oc} = Fr_{*c} \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{mD}$ $Fr_{*c} = \frac{0{,}6^2}{a \cdot Fr_g^{\,2}}; Fr_g^{\,2} = \frac{u_m^{\,2}}{(s-1) \cdot g \cdot d_{mD}}$ $a = \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{d_{mA}}{d_{50}}\right)^{1/2}$	Schöberl
	$\tau_{oc} = 0{,}045 \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{90A}$	MP/M
	$\tau_{oc} = Fr_{*c} \cdot (\rho_s-\rho) \cdot g \cdot d_{50Dmax}$ $Fr_{*c} = 0{,}05 \cdot \left[0{,}4 \cdot \left(\frac{d_{50Dmax}}{d_{50}}\right)^{-1/2} + 0{,}6\right]^2$	Chin
mobile Deckschicht	$\frac{\tau_{ocri}}{\tau_{ocr50}} = \left(\frac{d_{Di}}{d_{50}}\right)^{0{,}018}$	Parker and Klingeman

Eingangswerte für die Geschiebeberechnung - Teil 1

Daten für Abschnitt 1a (Fkm 59,3 - 52,4)								
Sohlbreite	[m]	B_S	91,9					
Böschungsneigung	[°/oo]	m	2					
Gefälle	[-]	I	0,98					
		Minimal	24,6	80,4	59,7	5,4	16,0	45,1
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**25,6**	**83,4**	**62,7**	**5,9**	**17,0**	**47,1**
		Maximal	26,6	86,4	65,7	6,4	18,0	49,1
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 1b (Fkm 52,4 - 49,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	95,3					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	0,985					
		Minimal	24,5	60,0	55,9	9,5	19,7	36,2
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**26,5**	**63,0**	**58,9**	**10,0**	**20,7**	**38,2**
		Maximal	27,5	66,0	61,9	10,5	21,7	40,2
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 2 (Fkm 49,0 - 44,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	86,2					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	1,12					
		Minimal	27,4	70,1	59,9	11,5	22,5	38,8
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**28,4**	**73,1**	**62,9**	**12,0**	**23,5**	**40,8**
		Maximal	29,4	76,1	65,9	12,5	24,5	42,8
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 3a (Fkm 44,0 - 38,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	94,9					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	1,07					
		Minimal	25,4	73,7	52,4	11,4	45,1	44,3
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**26,4**	**76,7**	**55,4**	**11,9**	**46,1**	**46,3**
		Maximal	27,4	79,7	58,4	12,4	47,1	48,3
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 3b (Fkm 38,0 - 29,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	93,0					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	0,96					
		Minimal	18,7	54,4	42,1	7,5	26,7	28,3
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**19,7**	**57,4**	**45,1**	**8,0**	**27,7**	**30,3**
		Maximal	20,7	60,4	48,1	8,5	28,7	32,3
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 3c (Fkm 29,0 - 22,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	99,3					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	0,93					
		Minimal	19,4	62,0	44,8	6,7	31,3	32,0
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**20,4**	**65,0**	**47,8**	**7,2**	**32,3**	**34,0**
		Maximal	21,4	68,0	50,8	7,7	33,3	36,0
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 4a (Fkm 22,0 - 14,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	99,5					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	0,96					
		Minimal	27,1	66,9	56,0	12,6	34,7	36,2
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**28,1**	**69,9**	**59,0**	**13,1**	**35,7**	**38,2**
		Maximal	29,1	72,9	62,0	13,6	36,7	40,2
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Abschnitt 4b + 5a (Fkm 14,0 - 6,6)								
Sohlbreite	[m]	B_S	98,6					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[°/oo]	I	0,95					
		Minimal	23,2	64,3	51,8	11,0	18,4	31,9
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**24,2**	**61,3**	**48,8**	**10,5**	**19,4**	**33,9**
		Maximal	25,2	58,3	45,8	10,0	20,4	35,9
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$

Eingangswerte für die Geschiebeberechnung - Teil 2

Daten für Salzachabschnitt I oberhalb der Saalachmündung (Fkm 63,95 - 59,30)								
Sohlbreite	[m]	B_S	68,75					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[‰]	I	1,22					
		Minimal	18,7	54,4	42,1	7,5	26,7	28,3
Bandbreite Szenario "fein"		**Mittelwert**	**19,7**	**57,4**	**45,1**	**8,0**	**27,7**	**30,3**
		Maximal	20,7	60,4	48,1	8,5	28,7	32,3
		Minimal	24,6	80,4	59,7	5,4	16,0	45,1
Bandbreite Szenario "mittel"		**Mittelwert**	**25,6**	**83,4**	**62,7**	**5,9**	**17,0**	**47,1**
		Maximal	26,6	86,4	65,7	6,4	18,0	49,1
		Minimal	36,0	131,2	84,4	11,2	24,2	83,4
Bandbreite Szenario "grob"		**Mittelwert**	**37,0**	**128,2**	**87,4**	**10,7**	**25,2**	**85,4**
		Maximal	38,0	125,2	90,4	10,2	26,2	87,4
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Daten für Saalachabschnitt I (Fkm 2,5 - 0,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	27,0					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[‰]	I	1,9					
		Minimal	24,6	80,4	59,7	5,4	16,0	45,1
Bandbreite Salzachabschnitt 1a		**Mittelwert**	**25,6**	**83,4**	**62,7**	**5,9**	**17,0**	**47,1**
		Maximal	26,6	86,4	65,7	6,4	18,0	49,1
		Minimal	31,6	109,4	79,2	6,5	18,6	60,0
Bandbreite Saazachabschnitt 3		**Mittelwert**	**32,6**	**112,4**	**82,2**	**7,0**	**19,6**	**62,0**
		Maximal	33,6	115,4	85,2	7,5	20,6	64,0
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Kornzusammensetzung der Schürfgruben, Daten für Abschnitt 1a (Fkm 59,3 - 52,4)								
Sohlbreite	[m]	B_S	91,9					
Böschungsneigung	[‰]	m	2					
Gefälle	[-]	I	0,98					
		Minimal	15,3		3,8	36,0		
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**20,3**		**5,8**	**46,0**		
		Maximal	25,3		7,8	56,0		
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Kornzusammensetzung der Schürfgruben, Daten für Abschnitt 3a (Fkm 44,0 - 38,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	94,9					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[‰]	I	1,07					
		Minimal	13,6		4,0	39,0		
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**18,6**		**6,0**	**49,0**		
		Maximal	23,6		8,0	59,0		
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Kornzusammensetzung der Schürfgruben, Daten für Abschnitt 3b (Fkm 38,0 - 29,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	93,0					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[‰]	I	0,96					
		Minimal	13,6		4,0	39,0		
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**18,6**		**6,0**	**49,0**		
		Maximal	23,6		8,0	59,0		
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$
Kornzusammensetzung der Schürfgruben, Daten für Abschnitt 3c (Fkm 29,0 - 22,0)								
Sohlbreite	[m]	B_S	99,3					
Böschungsneigung	[-]	m	2					
Gefälle	[‰]	I	0,93					
		Minimal	16,3		4,8	42,2		
Bandbreite der Korndurchmesser		**Mittelwert**	**21,3**		**6,8**	**52,2**		
		Maximal	26,3		8,8	62,2		
	[mm]	d-Werte	$d_{m,I}$	$d_{90,D}$	$d_{90,I}$	$d_{30,I}$	$d_{50,I}$	$d_{m,D}$

Eingangswerte für die Geschiebeberechnung - Teil 3

Eingangswerte für die Salzach unterhalb der Saalachmündung

minimale Abflußdauerlinie (365 Tage = 1 Jahr)

Abfluß	m^3/s	45	200	300	400	500	1000	1500	1500	1500
Tage	d	365	123	34	6	2,2	0,1	0,01	0	0
Abflußbereich	[-]	NQ	NQ - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 1000	1000 - 1500	1500 - 1500	1500 - 1500
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	32,0	32,0	32,0

durchschnittliche Abflußdauerlinie (365 Tage = 1 Jahr)

Abfluß	m^3/s	45	200	300	400	500	1000	1500	2000	2500
Tage	d	365	178,66	99,43	48,61	20,675	1,5	0,35	0,11	0,04
Abflußbereich	[-]	NQ	NQ - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 2500
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	32,0	31,0	30,0

maximale Abflußdauerlinie (365 Tage = 1 Jahr)

Abfluß	m^3/s	95	200	300	400	600	1100	2000	2000	2000
Tage	d	365	239	161	123	52,5	6,5	1,5	0	0
Abflußbereich	[-]	NQ	NQ - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 2000
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	31,0	31,0	31,0

Abflußdauerlinie der Eichung (Oktober 1985 bis Januar 1992 = 2319 Tage)

Abfluß	m^3/s	45	200	300	400	500	1000	1500	2000	2500
Tage	d	2319	1132	630	308	131	10	4	1	0
Abflußbereich	[-]	NQ	NQ - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 2500
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	32,0	31,0	30,0

Eingangswerte für die Salzach oberhalb der Saalachmündung (nur Abschnitt I, Fkm 63,95 - 59,30)

durchschnittliche Abflußdauerlinie (365 Tage = 1 Jahr)

Abfluß	m^3/s	20	100	200	300	400	800	1500	1900	2300
Tage	d	365	247,54	119,73	38,82	10,91	0,64	0,1	0,033333	0,01
Abflußbereich	[-]	NQ 1)	NQ - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 800	800 - 1500	1500 - 1900	1900 - 2300
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	32,0	31,0	30,0

Eingangswerte für die Saalach (nur Abschnitt I, Fkm 2,5 - 0,0)

durchschnittliche Abflußdauerlinie (365 Tage = 1 Jahr)

Abfluß	m^3/s	6	30	60	100	150	300	550	750	900
Tage	d	365	205,82	80,55	20	2,82	0,64	0,1	0,033333	0,01
Abflußbereich	[-]	NQ 2)	NQ - 30	30 - 60	60 - 100	100 - 150	150 - 300	30 - 550	550 - 700	700 - 900
k_{St}	$m^{1/3}/s$	entfällt	34,0	34,0	34,0	34,0	33,0	32,0	31,0	30,0

1) Der NQ-Wert wurde größer als der NQ-Wert des Pegels Salzburg gewählt, da kraftwerksbedingte Abflußschwankungen die Geschiebetransportkapazität zu stark dämpfen würden.

2) Der NQ-Wert orientiert sich an dem NQ des Pegels Siezenheim zuzüglich Ausleitungen unterhalb des Käferhamer Wehres.

Formelzeichen für die Geschiebeberechnung

vorbelegte Werte (nur die in den meisten aller Formeln verwendeten Parameter):

p	[-]	0,7	Porenanteil (Volumen mit Hohlräume / Volumen ohne Hohlräume)
ρ_W	[kg/m^3]	1000	Dichte des Wassers
ρ_S	[kg/m^3]	2600	Dichte des Geschiebes
g	[m/s^2]	9,80665	Erdbeschleunigung
ν	[m^2/s]	$1{,}3\times10^{-6}$	kinematische Viskosität von Wasser bei ca. 10° C
k_S	[m$^{1/2}$/s]	21,1	Faktor der mittleren Sohlrauheit nach STRICKLER
k_R	[m$^{1/2}$/s]	26,0	Faktor der Kornrauheit

Profilgeometrie und hydraulische Vorberechnung für 8 Abflüsse:

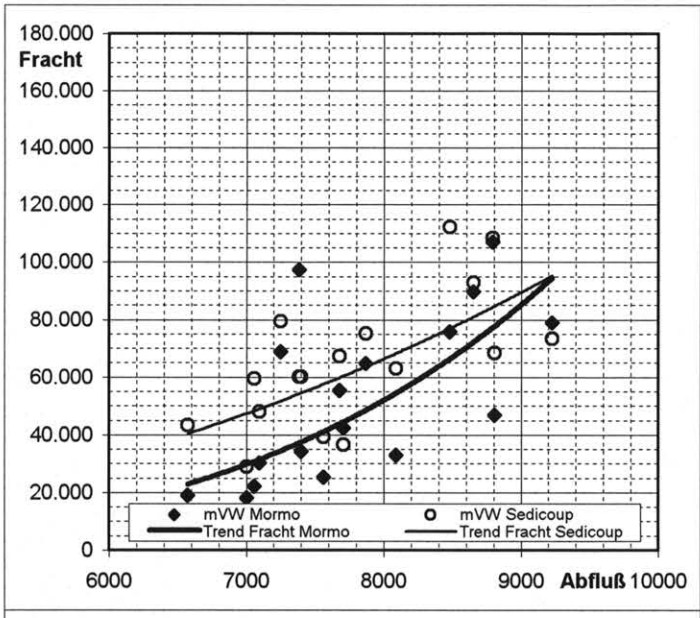
B_S	[m]	Sohlbreite
m	[-]	Böschungsneigung (Erläuterung: 1/m = vertikale Richtung/horizontale Richtung)
I	[‰]	Gefälle
Q	[m^3/s]	Abfluß
k_{St}	[m$^{1/3}$/s]	Rauheit nach MANNING-STRICKLER (hier: Gesamtrauheit des Profils)
d...	[mm]	charakteristische Korndurchmesser, z.B. $d_{m,I}$ $d_{m,D}$ $d_{90,I}$ $d_{90,D}$ $d_{30,I}$ $d_{30;I}$
τ_0	[N/mm]	Sohlschubspannung = $\rho_W{*}g{*}h{*}I$
v_0^*	[m/s]	Schubspannungsgeschwindigkeit = $(\tau_0/\rho_W)^{1/2} = (g{*}h{*}I)^{1/2} = (\theta{*}\rho'{*}g{*}d_m)^{1/2}$
ρ'	[-]	relative Feststoffdichte = $(\rho_S-\rho_W)/\rho_W$
R_S	[m]	morphologisch wirksamer Radius = $B_S{*}h/U = B_S{*}h/(B_S+2{*}h{*}(1+m^2)^{1/2})$
R	[m]	hydraulischer Radius für Trapezprofil = $F/U = h{*}B_S+h{*}m^2/(B_S+2{*}h{*}(1+m^2)^{1/2})$
F	[m^2]	Fläche für Trapezprofil = $h{*}B_S+h{*}m^2$
v_Q	[m/s]	Fließgeschwindigkeit aus Kontinuität = Q/F
v_R	[m/s]	Fließgeschwindigkeit aus Reibung = $k_{St}{*}R^{2/3}{*}I^{1/2}$
Fr	[-]	Froude-Zahl = $Q/(v_Q{*}B_S-m{*}h))$
h	[m]	Wassertiefe (aus Iteration: $v_Q = v_R$)

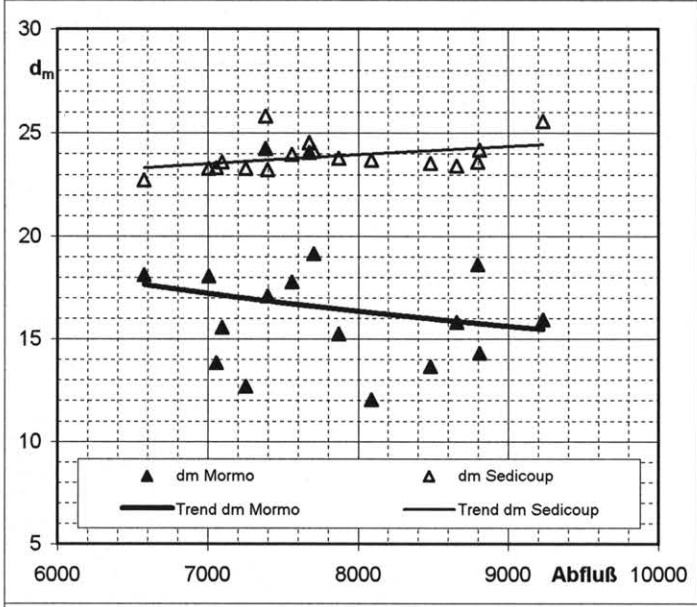
Berechnung der Geschiebetransportkapazität und Schleppspannungen für 8 Abflüsse

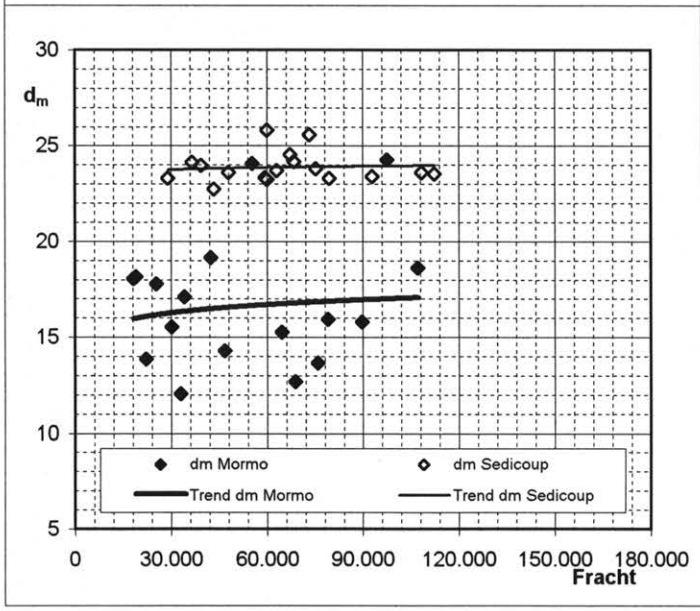
D^*	[kg$^{1/3}$/m]	sedimentologischer Korndurchmesser = $d_m{*}(\rho'{*}g/\nu^2)^{1/3})$
Re^*	[-]	Korn- / Feststoff-Reynoldszahl = $v_0^*{*}d_m/\nu = d_m{*}(g{*}h{*}I)^{1/2}/\nu = d_m{*}(Fr^*{*}\rho'{*}g{*}d_m^3)^{1/2}$
τ_C^*	[N/m]	critische Schleppspannung nach SHIELDS, entspricht τ_C
$v_{0,C}^*$	[m/s]	critsche Schubspannungsgeschwindigkeit = $(\tau_C/\rho_W)^{1/2} = (\theta_C{*}\rho'{*}g{*}d_m)^{1/2}$
θ, Fr^*	[-]	SHIELDS-Faktor bzw. Korn-Froude-Zahl = $v_0^{*2}/(g{*}d_m{*}\rho') = h{*}I/(\rho'{*}d_m)$
θ_C, Fr^*_C	[-]	critscher SHIELDS-Faktor bzw. critische Korn-Froude-Zahl
Φ	[-]	Transportintensität, dimensionslose Transportrate nach EINSTEIN
α	[-]	Eichfaktor mit dem die Transportintensität multipliziert wird
M_G	[kg/s]	Geschiebetrieb,Gewicht über Wasser = $\alpha{*}\Phi{*}B_S{*}\rho_S{*}(\rho'{*}g{*}d_m^3)^{1/2} = \alpha{*}B_S{*}m_G$
M_{GW}	[kg/s]	Geschiebetrieb, Gewicht unter Auftrieb $= \alpha{*}\Phi{*}B_S{*}\rho_W{*}(\rho'^3{*}g{*}d_m^3)^{1/2} = \alpha{*}B_S{*}m_G{*}\rho_W{*}\rho'/\rho_S$
Q_{VW}	[m^3/d]	Geschiebetrieb, Volumen unter Auftrieb $= \alpha{*}\Phi{*}B_S{*}86400{*}(\rho'{*}g{*}d_m^3)^{1/2}/p = \alpha{*}86400{*}B_S{*}m_{GW}/(\rho'{*}\rho_W{*}p)$
GTK_{VW}	[m^3/d]	Geschiebetransportkapazität, Volumen unter Auftrieb = über die Abflußdauerlinie integrierter Geschiebetrieb Q_{VW}
τ_W	[N/m]	wirksame Schleppspannung = $\rho_W{*}g{*}h{*}I{*}$ spezifische Formelparameter
τ_C	[N/m]	critische Schleppspannung = $\theta_C{*}\rho'{*}\rho_W{*}g{*}d_m$

Vergleich der Geschiebetransportmodelle SEDICOUP und MORMO
Kalenderjahre 1978/94, Abfluß, Fracht und Zusammensetzung (d_m)

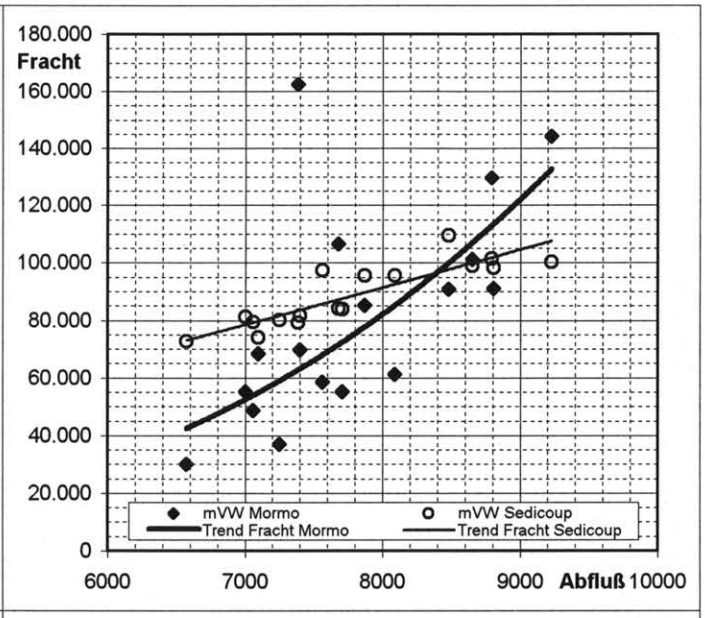
Zulauf bei Fkm 59,3

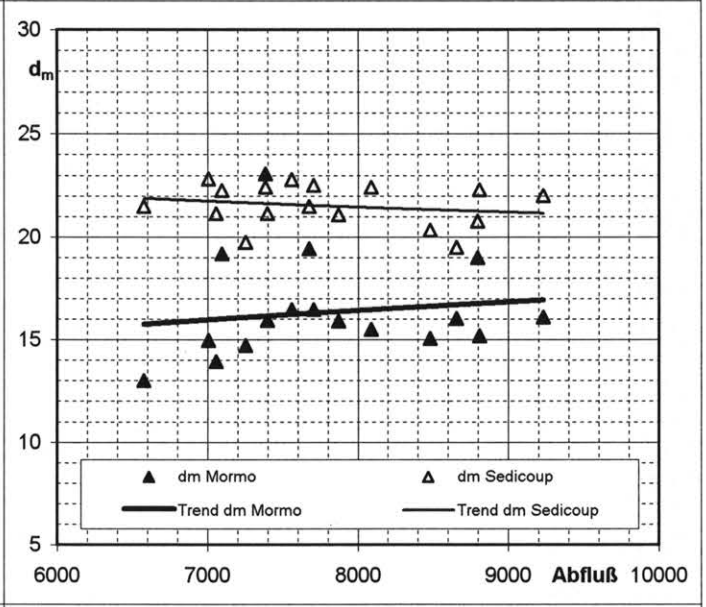


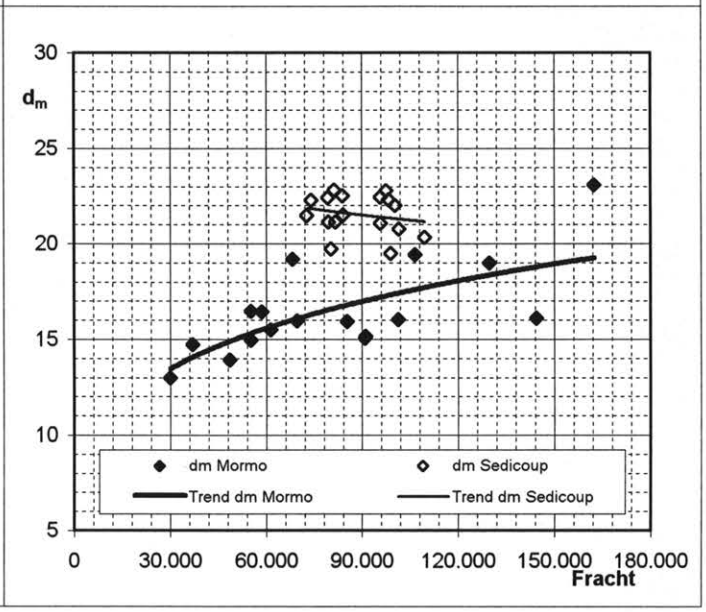




Ende der Transportstrecke bei Fkm 6,5



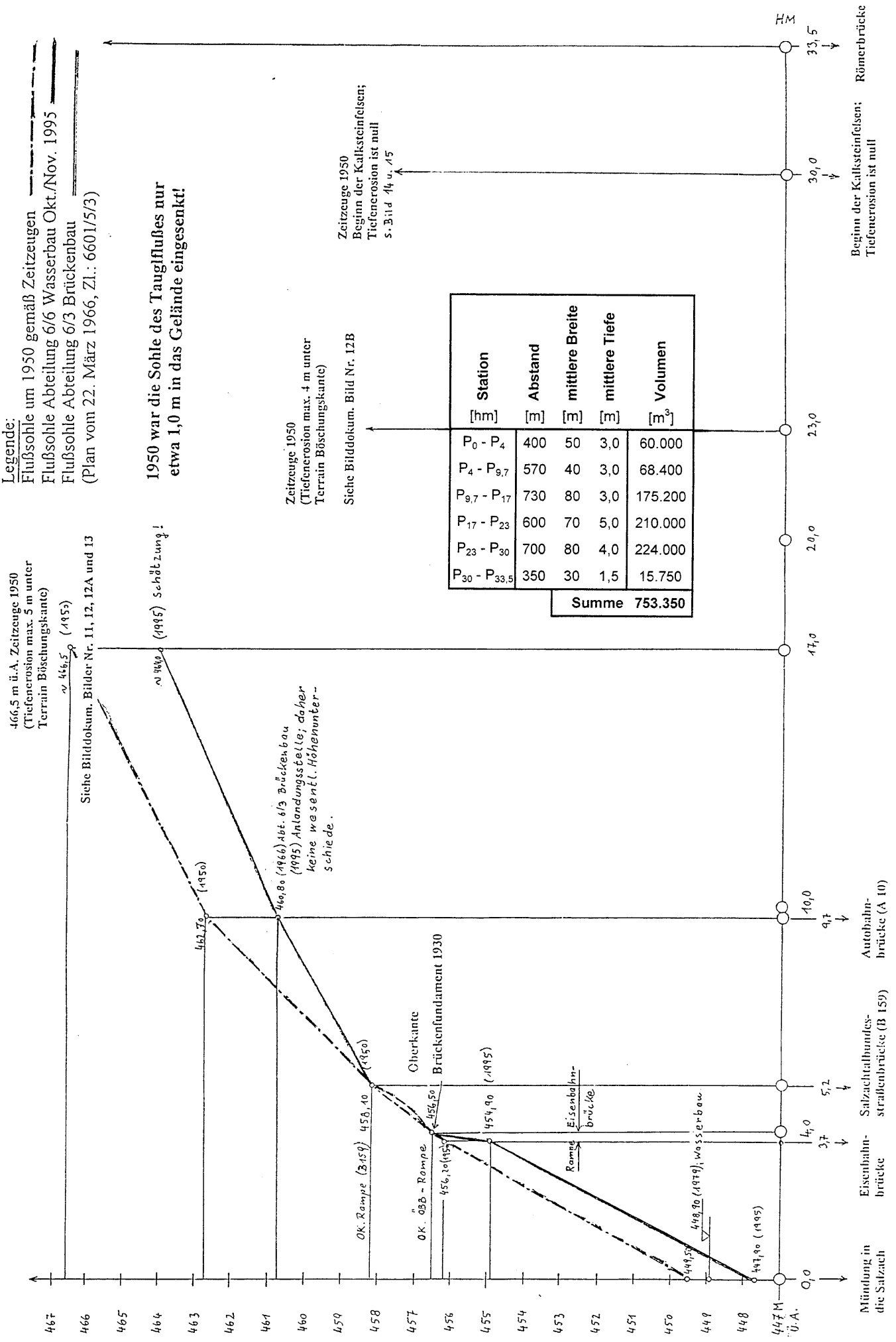




Legende	d_m [mm]	Fracht [m^3/a]	Abfluß [Millionen m^3/a]

Abfluß = Jahressummen am Pegel Burghausen

Ermittlung Schotterdefizit im Tauglunterlauf, [130] verändert



Allgemeine Bedingungen

unter welchen

die Abfuhr von Steinen, Sand, Schlamm, Erde und Pflanzen aus den öffentlichen Flußbetten gestattet werden kann.

1. Die erteilte Bewilligung erstreckt sich nur auf die Dauer des laufenden Jahres.
2. Der festgesetzte Gebührenbetrag muß an das kgl. Rentamt vorausbezahlt werden, und kann eine Rückvergütung, ganz oder teilweise unter keinen Verhältnissen Platz greifen, wenn Selbstverschulden des Gesuchstellers vorliegt.
3. Der Gesuchsteller hat sich die Stelle, an welcher der ~~Ries~~Materialbezug stattfinden darf, von dem ~~Wasser~~bauperſonale des k. Straßen- und Flußbauamtes vorzeigen zu lassen.
4. Bei dem Ein- und Ausladen des Materials darf die Benützung oder Betretung fremden Grundes ohne Bewilligung der Eigentümer nicht stattfinden und hat sich der Gesuchsteller, soweit zur Abfuhr öffentliche Wege nicht benützt werden können, mit den Grundeigentümern wegen Gestattung der Wegebenützung abzufinden.
5. ~~Der Lehnert darf, wenn auch nur vorübergehend, zur Ablagerung des erhobenen Materials nicht benützt werden.~~ Die Materialentnahmestellen dürfen nicht beschädigt werden.
6. Der Bezugsberechtigte hat während der Entnahme des Materiales aus dem Flusse gegenwärtigen Ausweis stets bei sich zu führen und denselben dem ~~Wasserbau~~- oder Polizeipersonale jederzeit auf Verlangen vorzuzeigen.

Nach Art. 96 Absatz 3 ~~des~~ Gesetzes vom 28. Mai 1852 ~~über die~~ Benützung des Wassers verfällt in eine ~~Geldstrafe~~ bis zu 10 fl 17 M 14 Pfg., wer ohne Erlaubnis oder an anderen als den hiezu bezeichneten Plätzen aus dem Bette öffentlicher Flüsse ~~Steine, Sand~~, Schlamm, Erde oder ~~Pflanzen~~ abführt. Vergl. Art. 16 Abs. 2 d. BG. v. 23. 5. 1907 i. d. F. v. 18. 8. 1956 u. §§

Beschluß.

Das k. Straßen- und Flußbauamt bewilligt

Emmerich M. Hayinger - Lehrer in Oberndorf

die Abfuhr von 5 cbm Sand, Kies

aus dem öffentlichen Flußbette der Salzach

auf die Dauer des laufenden Jahres unter den oben abgedruckten allgemeinen Bedingungen gegen Entrichtung einer Erkenntnisgebühr von — Mk. 50 Pfg.

Traunstein, 20. November 1916

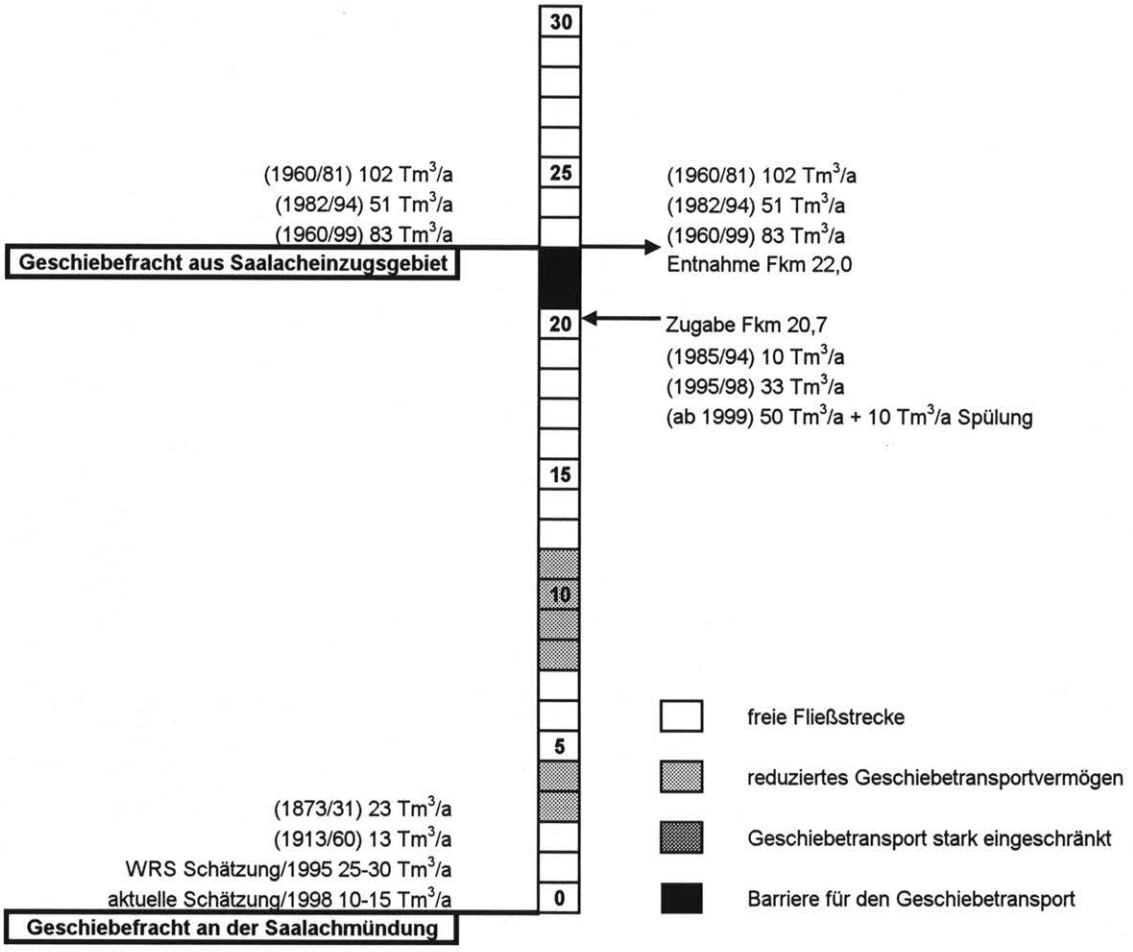
K. Straßen- und Flußbauamt.

50 ₰ bezahlt! auf.
am 21. Novbr. 1916
Kgl. Rentamt Laufen.
Hierneuer, k. Obersekr.

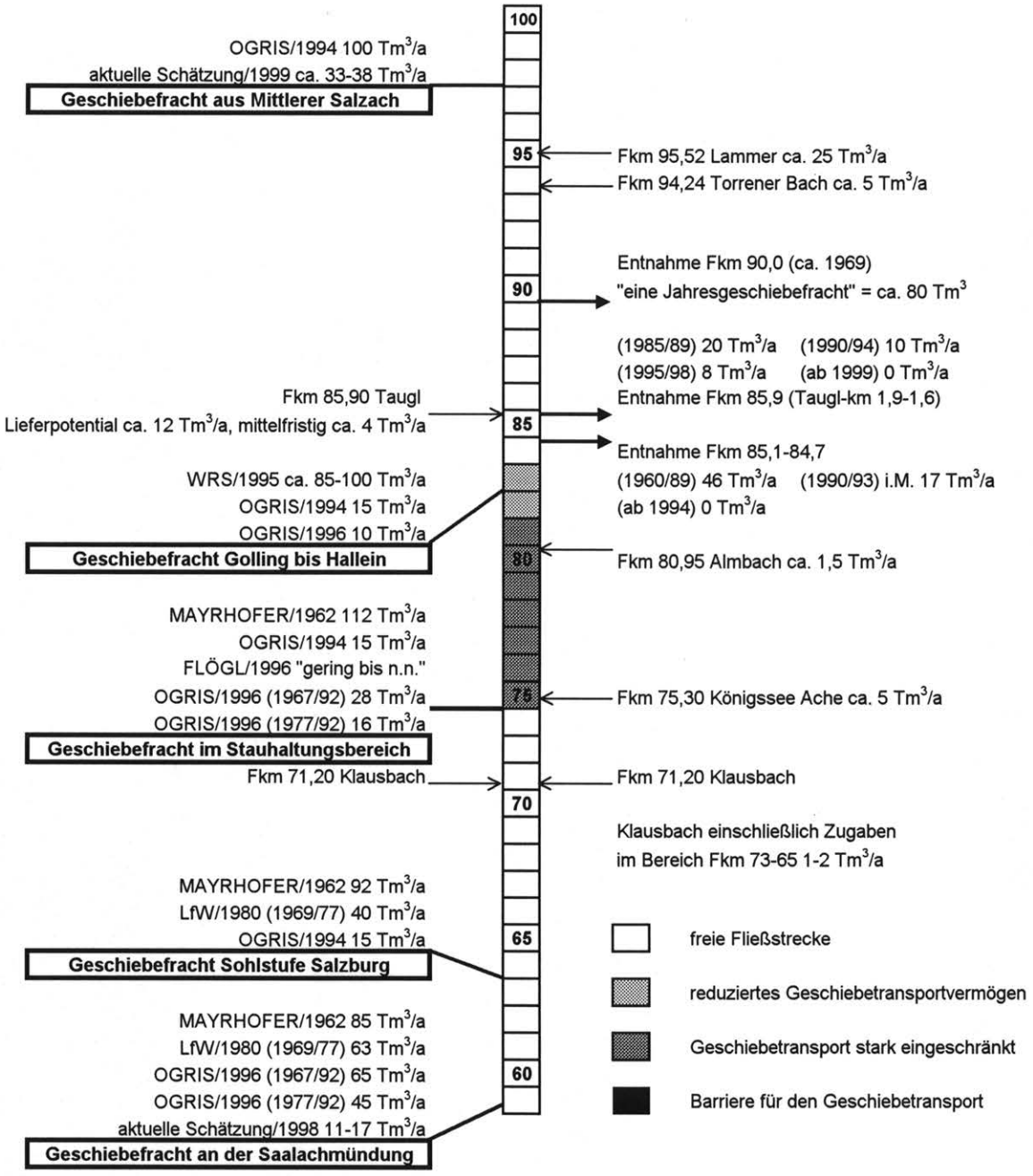
J. A.
Lederer, k. Ober...

Nr. 25.

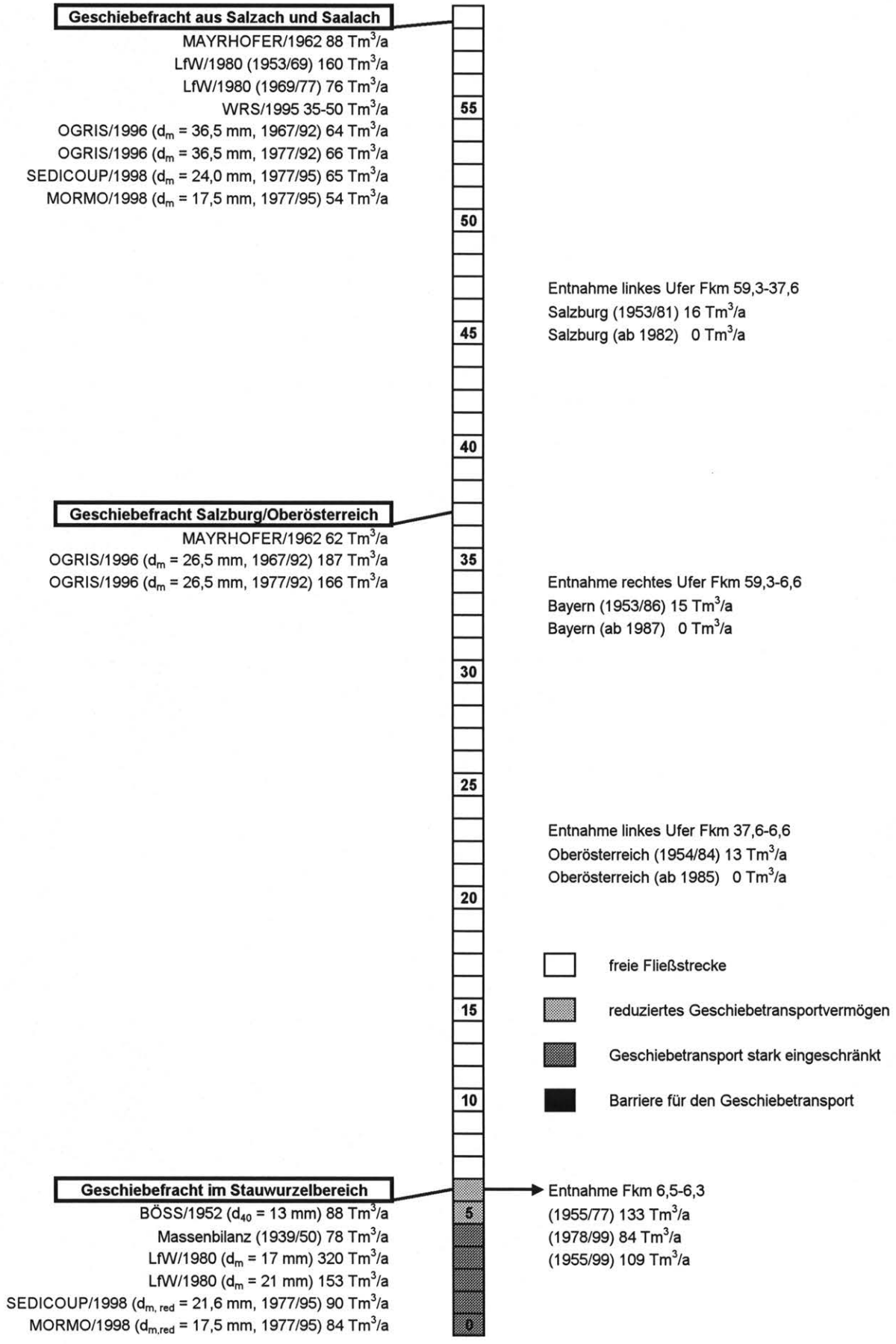
Übersicht zur Geschiebefracht - Saalach



Übersicht zur Geschiebefracht - Salzach oberhalb Saalach

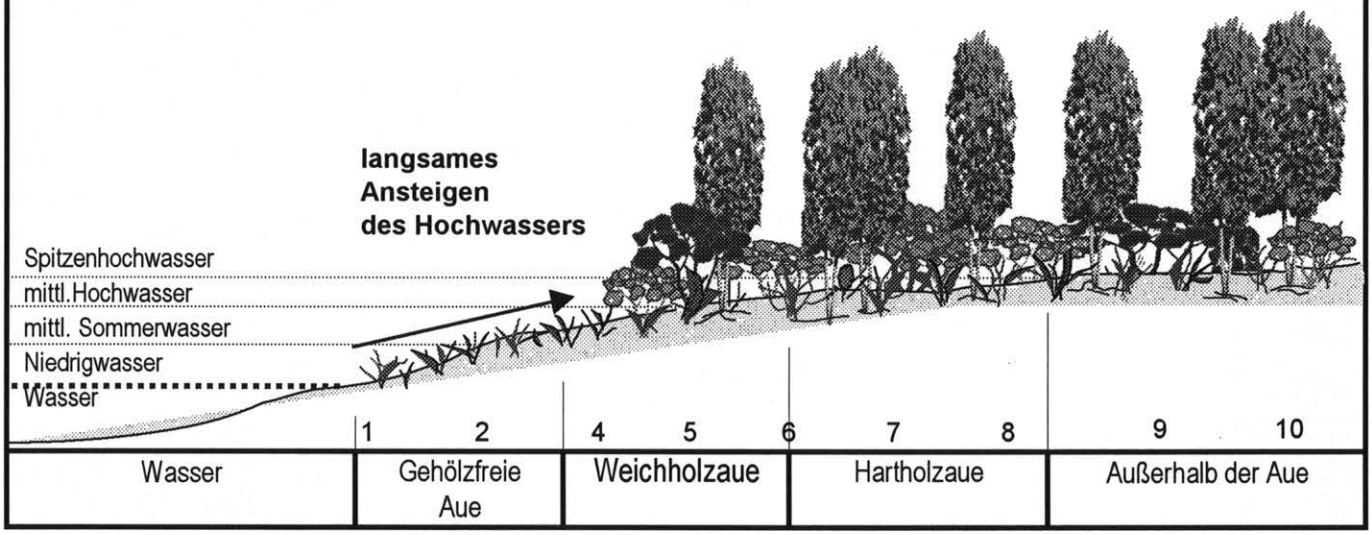


Übersicht zur Geschiebefracht - Salzach unterhalb Saalach

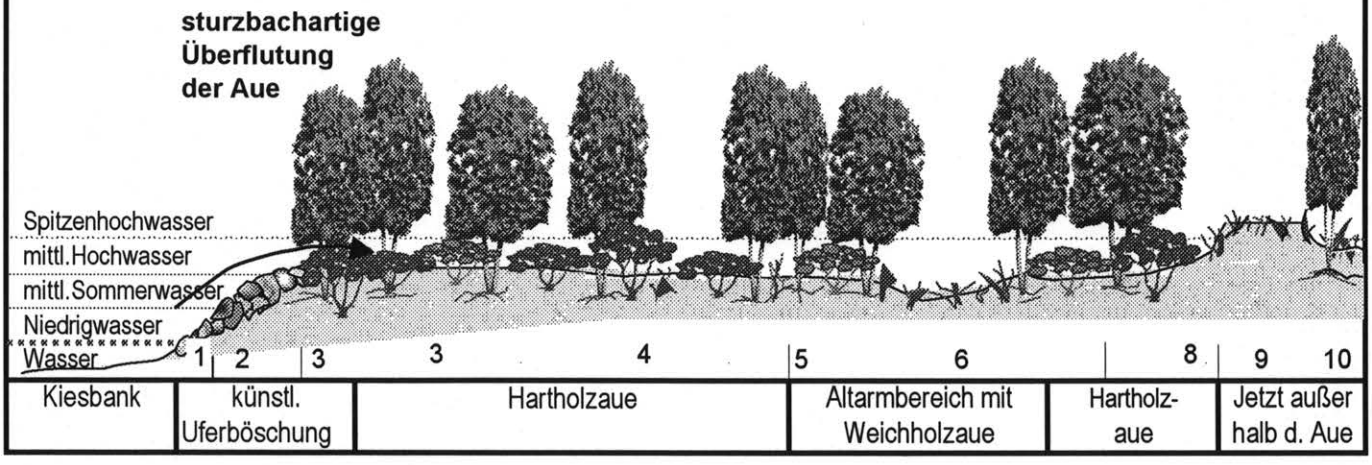


Vegetationsprofil durch eine Flußaue
Auswirkungen von Korrektionsmaßnahmen

naturnaher (unverbauter) Zustand

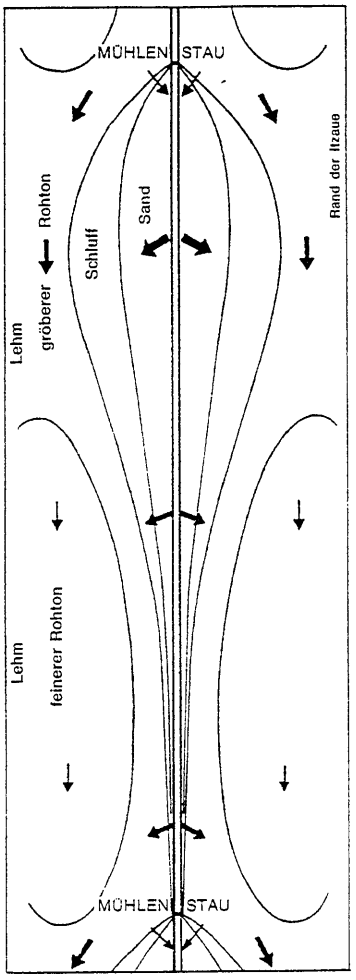


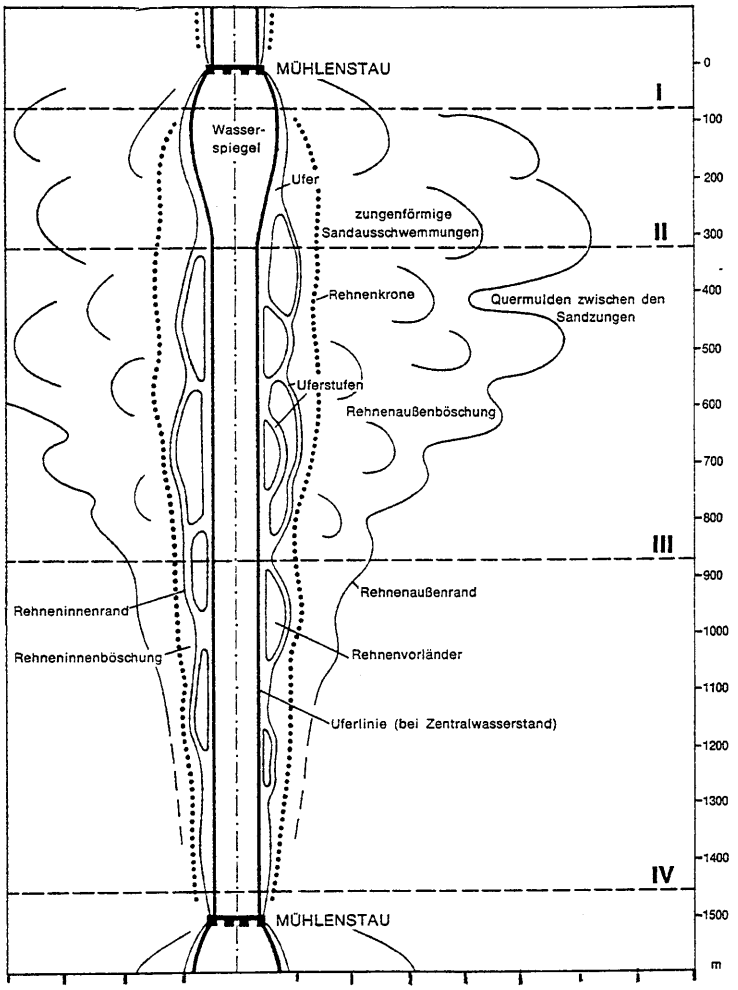
Entwicklungszustand nach Flußkorrektion

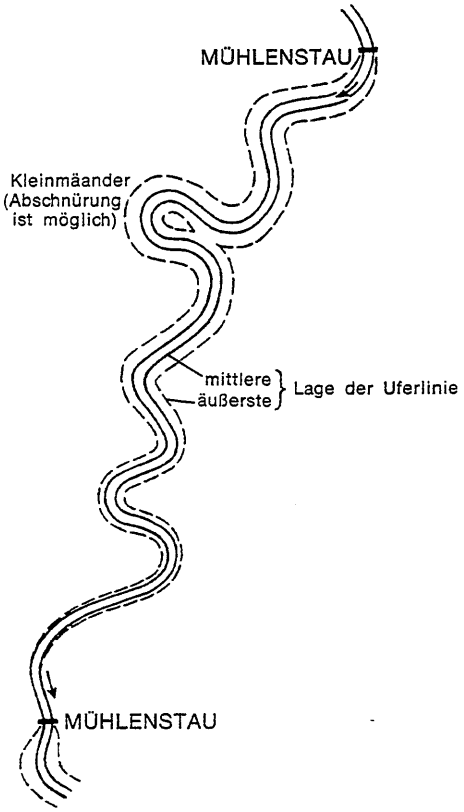


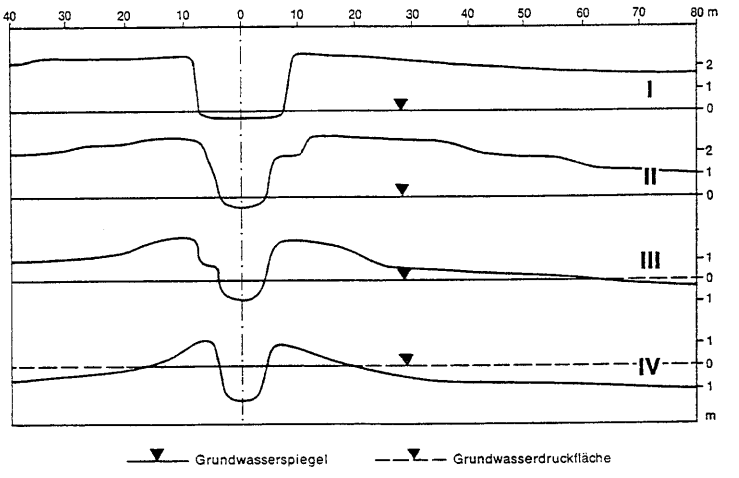
1 Staudenflur und Flußröhricht
2 Weidengebüsch
3 Ahorn-Eschen-Auwald (gepflanzt) mit Unterwuchs des Grauerlen-Auwaldes
4 reiner Eschen-Auwald
5 Weiden-Grauerlen-Auwald
6 Röhricht und Seggenried
7 reiner Grauerlen-Auwald
8 (Ahorn-)Eschen-Auwald
9 Vegetation der Dämme
10 Ahorn-Eschen-Altauenwald, z.T. mit Hainbuche oder Buche

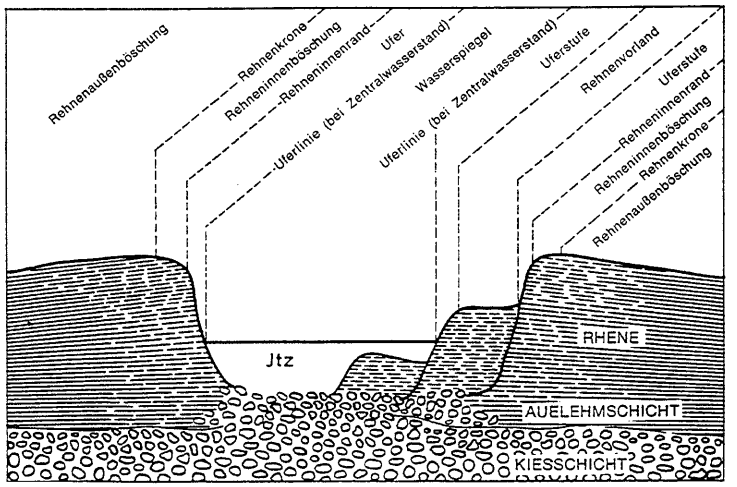
Rehnenbildung am Beispiel der Itz nach [148], Grundriß und charakteristische Querprofile

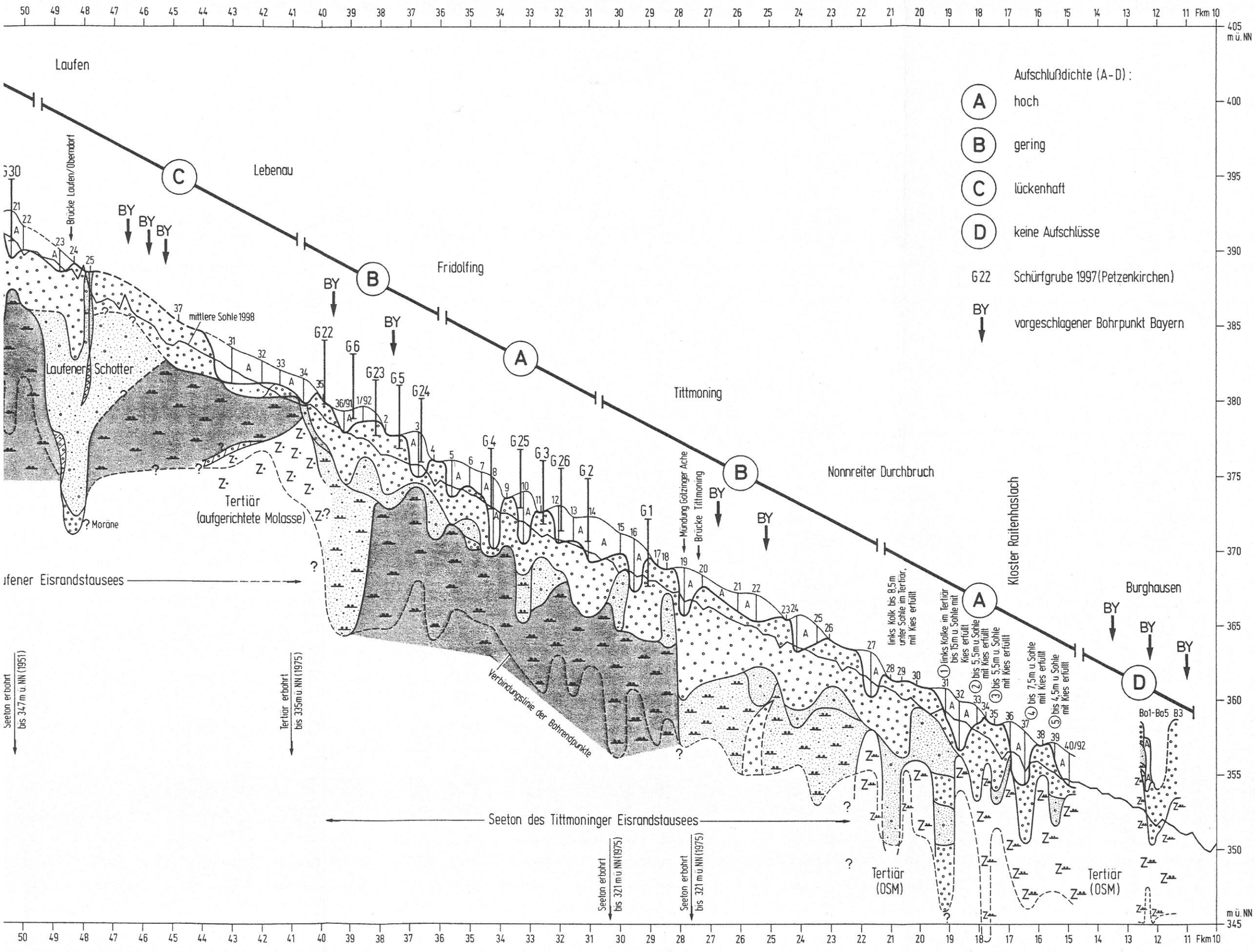












Aufschlußdichte (A-D):

- (A) hoch
- (B) gering
- (C) lückenhaft
- (D) keine Aufschlüsse

G22 Schürfgrube 1997 (Petzenkirchen)

BY vorgeschlagener Bohrpunkt Bayern

Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies, Sand, kiesig } Geschiebe der Salzach, Laufener Schotter
- Moräne
- schluffig-sandig, schluffig-tonig } Seeton

Tertiär

- Z· Sandstein, sandsteinartig
- Z·· Mergelstein, mergelartig
- mittlere Sohle 1998
- A künstliche Aufschüttung für Bohrung auf Kiesbank oder im Wasser

Bohrungen

30	Nummer der Bohrung
1/91	Serie 1991: 1-37 (ohne 26-30)
1/92	Serie 1992: 1-40
Bo1-Bo5	Hochuferbohrungen Burghausen 1968
B3	Brücke Burghausen 1958

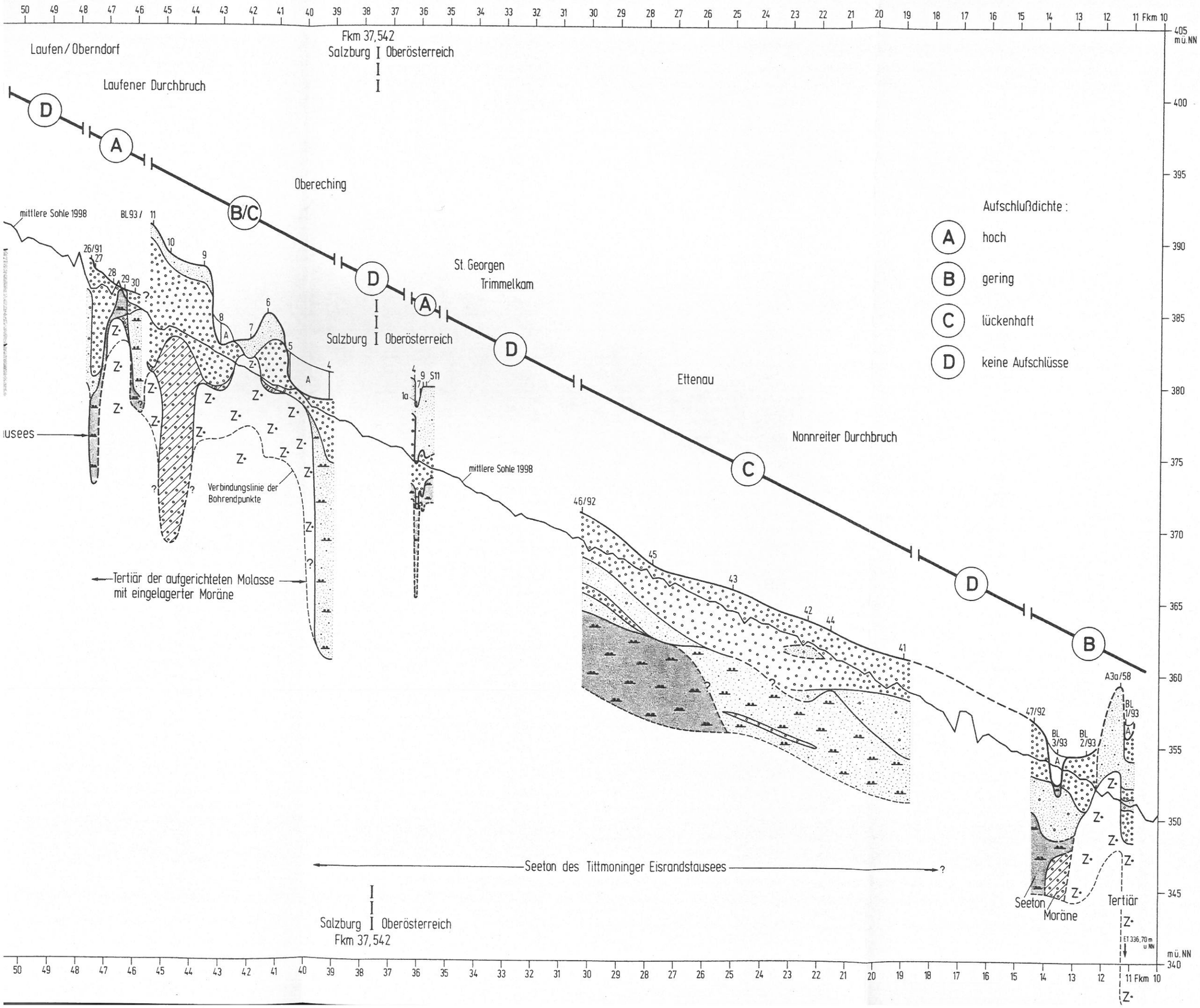
Anlage 25.1

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle
Linkes Ufer

M 1 : 125 000 / 250



Legende (nach DIN 4023)

Quartär

- Kies, Sand, z.T. kiesig } Geschiebe der Salzach, Laufener Schotter
- Moräne
- schluffig-sandig, schluffig-tonig } Seeton

Tertiär

- Sandstein, sandsteinartig

mittlere Sohle 1998

künstliche Aufschüttung für Bohrung auf Kiesbank oder im Wasser

Bohrungen

20	Nummer der Bohrung
26/91	Serie 1991
46/92	Serie 1992
BL93	Serie 1993
1a,4,7,9,S11	Sonderuntersuchung 1983 bei Fkm 36
A3a/58	Brücke Burghausen 1958

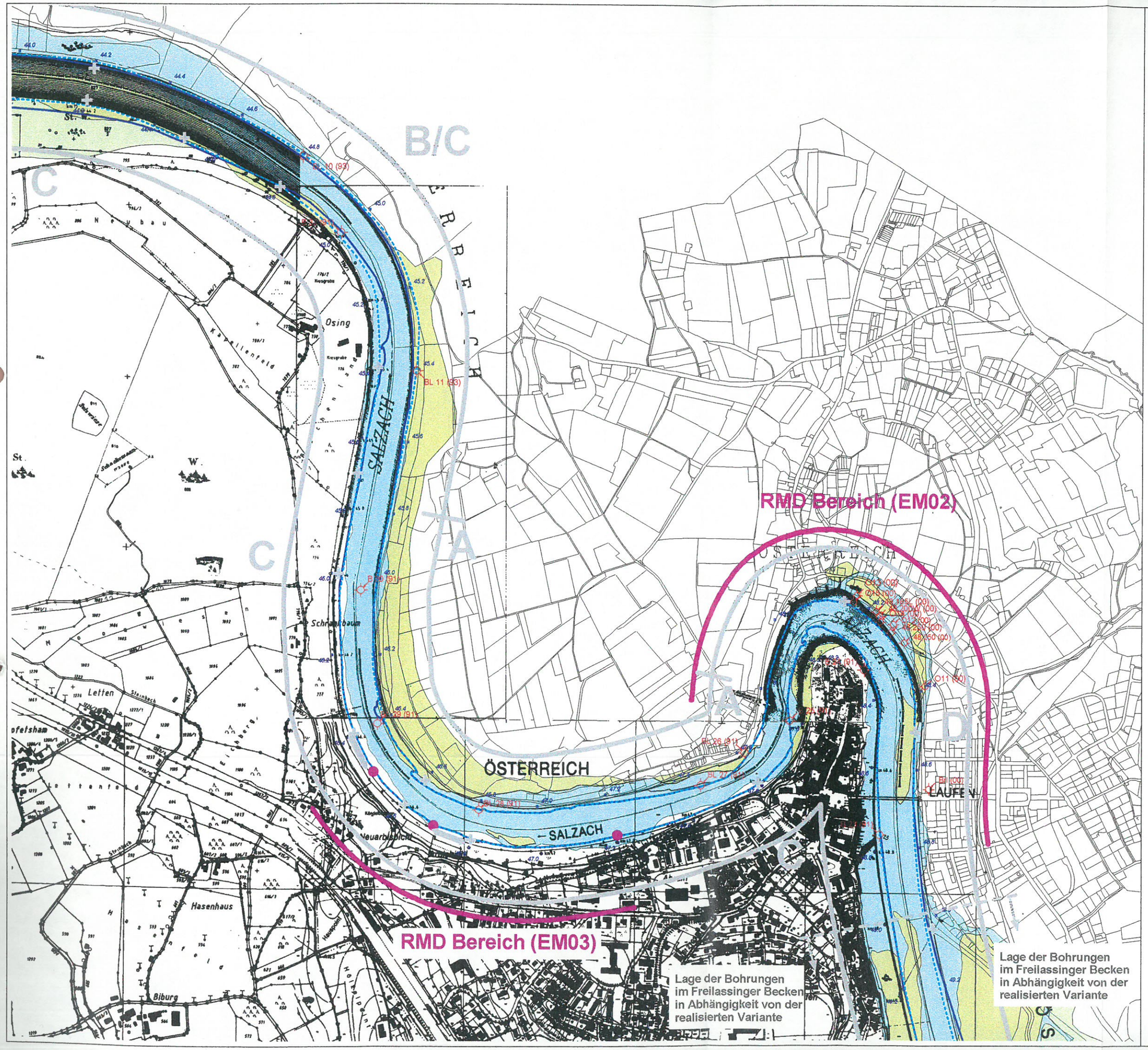
Anlage 25.2

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Geologischer Längsschnitt in der Flußsohle
Rechtes Ufer

M 1 : 125 000 / 250



Legende:

Geologische Erkundungen

- Grube 7 — Schürfgrube mit Nummer
- Profil A5 — Nutsondierung mit Nummer
- B 2 (91) — Bohrung mit Bohrnummer und Jahreszahl

WRS - Basisvarianten (Stand 09/00)

- Variante 2
- Variante 2/3

Topographische Elemente

- 45.7 — Flußkilometer

Historische Karte 1817

- Wasser
- Schotter
- Wald
- Wiese, Freifläche

- Aufschlußdichte der Bohrungen
  - A - hoch
  - B - gering
  - C - lückenhaft
  - D - keine Aufschlüsse
- Erkundungsbereich RMD
- mögliche Bohrungsstandorte nach WRS (Geoteam)
- mögliche Bohrungsstandorte nach RMD

1 ha — Maßstab 1 : 10.000

0 100 200 300 400 500 m

Anlage 26

Wasserwirtschaftliche Rahmenuntersuchung Salzach

Untersuchungen zur Flußmorphologie der Unteren Salzach

Lageplan mit geologischen Aufschlüssen und Ergänzungsvorschlag

M 1 : 10 000

Kartographie: ICRA 10/2000