

Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn			A 20 éves magyar-osztrák földtani együttműködés jubileumi kötete		
Redaktion: Harald Lobitzer, Géza Császár & Albert Daurer			Szerkesztette: Harald Lobitzer, Géza Császár & Albert Daurer		
Teil 2	S. 437–464	Wien, November 1994	2. rész	pp. 437–464	Bécs, 1994. november
ISBN 3-900312-92-3					

**Stauraumfeinsedimente als „Geochronometer“
von Schad- oder Rohstoffen:
Moderne Sedimentologie, Mineralogie, Geochemie
und Verwertung der Donausedimente
von Aschach (Oberösterreich)**

VON MARTIN KRÁLIK & KATALIN AUGUSTIN-GYURITS*)

Mit 27 Abbildungen und 6 Tabellen

*Österreich
Oberösterreich
Donaukraftwerk Aschach
Stauraumsedimente
Mineralogie
Chemie
Verwertbarkeit*

*Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 31*

Inhalt

Zusammenfassung	438
Összefoglalás	438
Abstract	438
1. Einführung	439
2. Charakteristik von feinkörnigen Flußsedimenten	439
3. Stauraum Aschach und Probenahme	439
3.1. Probenahme	441
4. Untersuchungsmethoden	441
5. Resultate	442
5.1. Sedimentologie der Donaufeinsedimente	442
5.2. Sedimentmineralogie	448
5.3. Schwerminerale	449
5.4. Sedimentchemie	449
5.5. Sequentielle Laugung der Schwermetalle	450
5.6. Porenwässer der Stauraumfeinsedimente	450
6. Diskussion	451
6.1. Sedimentäre Prozesse	451
6.2. Physikalische Parameter, Mineralogie und Hauptelemente	453
6.3. Spurenelemente und Pb-Isotopen	453
6.4. Sedimentologisch-geochemische Trends (1963–1986)	457
6.5. Zusammenhänge zwischen den Parametern und Faktorenanalyse	457
6.6. Bewertung der Schwermineralbelastung	460
7. Verwertbarkeit der Donaufeinsedimente	460
7.1. Allgemein	460
7.2. Ziegelei-Rohstoff	461
7.3. Zuschlagstoff für Beton und Mörtel	461
7.4. Rohstoff für die Zementherstellung	461
7.5. Straßenbau	461
7.6. Landwirtschaft	462
7.7. Dichtungsmaterial für Deponien, Dämme und Schmalwände	462
Dank	463
Literatur	463

*) Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. MARTIN KRÁLIK, Dr. KATALIN AUGUSTIN-GYURITS, Abteilung Umweltgeologie, Geotechnisches Institut, FPZ-Arsenal, Postfach 8, A-1030 Wien.

Zusammenfassung

Aufgrund der Schwebstoffmessungen der Wasserstraßendirektion und Auswertung der Literatur konnte die Hauptsedimentation als jährliches periodisches Ereignis im Zusammenhang mit der Schneeschmelze in den Monaten Mai bis August festgelegt werden.

Als Hauptherkunftsgebiet scheint aus sedimentologischen und geochemischen Überlegungen die zentrale alpine Zone Salzburgs und Tirols in Frage zu kommen. Es kam während des über zwanzigjährigen Betriebes des Kraftwerkes zu einer Akkumulation von ungefähr 20 Mio. m³ Feinsediment im untersten Drittel des Stauraumes, was stellenweise einer Sedimentation von 50 % des ursprünglichen Flußbettes oder von 80 cm/a entspricht. Im untersten Drittel und in einer Tiefbohrung (17 m) wurden 37 Einmeter-Bohrkerne genommen und untersucht.

Die Sedimente bestehen aus ca. 70 % Silt (Schluff) und jeweils 15 % Ton und Feinsand. Die sehr homogene mineralogische Zusammensetzung besteht aus durchschnittlich 30 % Quarz und Feldspat, 22 % Karbonat, 44 % Ton- und Glimmerminerale sowie 3,4 % organischer Anteil. Die mittlere chemische Zusammensetzung der Hauptelemente schwankt in einem sehr engen Rahmen und entspricht einem stark sandigen Mergel bis Ton. Die Spurenelementgehalte sind mit einem durchschnittlichen Tonschiefer vergleichbar. Die in Relation zum Tonschiefer markante Erhöhung der Konzentration von N, Cr, Ni, Zn, Pb, As, Cd, Ag und Hg ist vermutlich vorwiegend auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Trotzdem handelt es sich um ein „mäßig belastetes“ Flußsediment. Nur bei Cr und Ni werden die oberösterreichischen Bodengrenzwerte geringfügig überschritten.

Sequentielle Laugung und Faktoren-Analyse belegen die vorwiegende Bindung der anthropogen hinzugefügten Anteile von Ni und Pb an Mn-(hydr)oxide, und von Cr, Cu und Zn an partikuläre organische Substanz.

Der Anteil von organischer Substanz, Calcit, Cu, As, Hg nahmen von 1964–1986 ab, der Zn-Gehalt blieb gleich und der Cr-Gehalt stieg vermutlich geringfügig an.

Die Untersuchung der Feinsedimente auf die Möglichkeit eines Einsatzes als Massenrohstoff ergab einen bedingten Einsatz als Ziegelrohstoff und als Düngungs- und Bodenverbesserungsmaterial in der Landwirtschaft. Besser sind jedoch die Möglichkeiten als Zementrohstoff und als Dichtungsmaterial für Deponien, Dämme und Schmalwände.

A tározótéri üledékek

mint a mérgező- vagy nyersanyagok „geokronométere”:

Korszerű üledékföldtan, ásványtan és geokémia és a dunai üledékek hasznosítása az ausztriai Aschach példáján

Összefoglalás

A Víziutak Igazgatóságának lebegőanyagmérései, valamint az irodalmi adatok kiértékelése alapján megállapítható volt az éves időszakos fő üledékképződési esemény, amely a május–augusztusi hónapok hóolvadásával áll kapcsolatban.

Fő származási területnek – sedimentológiai és geokémiai megfontolások alapján – Salzburg és Tirol központi alpi zónája látszik. Az erőmő több, mint húszéves üzemeltetése során mintegy 20 millió köbméter finomüledék halmazódott fel a tározótér legalsó harmadában, ami helyenként a folyó eredeti üledéke 50 %-ának, vagyis 80 cm/év-nek felel meg. A legalsó harmadból és egy 17 m talpmélységű fúrásból összesen 37 egy m-es fúrómagot vettünk és vizsgáltunk meg.

Az üledékek mintegy 70 %-ban kőzetlisztből (iszap) és 15–15 % agyagból és finomhomokból állnak. Az igen homogén ásványi összetétel átlag 30 % kvarcból és földpátból, 22 % karbonátból, 44 % agyag- és csillámásványból, valamint 3,4 % szerves anyagból áll. Az átlagos vegyi összetétel a főelemek esetében igen szűk határok között változik és erősen homokos márgának és agyagnak felel meg. A nyomelemtartalom egy átlagos agyagpalééhoz hasonlít. Az agyagpalával szemben markáns koncentráció-növekedés a következő elemeknél: N, Cr, Ni, Zn, Pb, As, Cd, Ag és Hg feltehetőleg elsősorban antropogén behatásokra vezethető vissza. Ennek ellenére mérsékelt szennyezett folyami üledékről van szó. Csak a Cr és a Ni esetében tapasztalható a felsőausztriai talaj-határértékeket meghaladó dúsulás.

A szekvenciális kilúgozás és a faktor analízis arról tanúskodik, hogy az antropogén úton bekerült Ni és Pb-tartalom túlnyomórészt Mn-(hydr)oxidokhoz, míg a Cr, a Cu, valamint a Zn partikuláris szervesanyagokhoz kötődnek.

A szervesanyag, a kalcit, a Cu, az As és a Hg-tartalom 1964–1986 között csökkent, a Zn tartalom változatlan maradt, míg a Cr tartalom csekély mértékben növekedett.

A finomüledékek vizsgálata arra utal, hogy ezek feltételesen alkalmazhatók téglanyersanyagként, trágyázási és talajjavítási anyagként a mezőgazdaságban. Jobbak azonban a lehetőségek cementnyersanyagként, valamint hulladékátrolók, gátak és vékony falak tömítőanyagaként való alkalmazásuknak.

Please, translate your title into English!

Abstract

Daily quantitative measurements of the particular suspended matter by the Austrian water way administration and literature data indicate the deposition of the bulk of the fine grained reservoir sediments during short floods. These floods are caused by the snow melts in the high Alpine regions during the months of May till August. Geochemical indications support the Central Alpine areas of Salzburg and Tyrol as main source areas of the fine grained reservoir sediments. During the more than twenty years of reservoir operation about 20 million m³ fine grained sediment has been accumulated in the lowermost part of the reservoir. In areas closest to the reservoir dam about 50 % of the original river bed were filled by sediments and maximum sedimentation rates of up to 80 cm/y were observed.

In the area of fine grained sediment accumulation and in one deep drill core (17 m) 37 one-meter cores were sampled and investigated. The mean composition of the sediments consists of about 70 % silt and equal parts of 15 % fine sand and clay. The very consistent mineralogy is composed of 30 % Quartz and Feldspar, 22 % carbonate, 44 % clay and mica minerals, and 3.4 % organic matter. The mean chemical composition varies in a very narrow range and is equivalent to shales.

The trace elements are in the range of mean shale composition. Just N, Cr, Ni, Zn, Pb, As, Cd, Ag and Hg are relatively enriched by anthropogenic activities. However, in general the sediments are only "moderately polluted". Just the Cr and Ni contents slightly exceed the threshold values for agricultural soils.

Sequential leaching and factor analysis support the dominant fixation of anthropogenic added Ni and Pb to Mn-(hydr)oxides, whereas Cr, Cu and Zn seem to be attached to particular organic matter.

The content of organic matter, calcite, Cu, As and Hg seem to decrease continuously since 1964, whereas the Zn content stays more or less constant, and the Cr content, however, seems to have increased slightly since then.

Technological investigations of the reservoir fine sediments suggest the limited use as raw material for brick fabrication or for soil improvement in agriculture. More appropriate seems to be the use as raw material for concrete production or as barrier material in waste disposal sites and dams.

1. Einführung

Menschliche Aktivitäten haben häufig Einflüsse auf das natürliche Gleichgewicht, die in ihrem vollen Umfang oft unterschätzt wurden oder mangels Erfahrung schwer einschätzbar waren.

So ist bei einem Aufstau eines Flusses der Grad der Fließgeschwindigkeitsverringern und die geographische Beschaffenheit und Größe des potentiellen Erosionsgebietes für die Ablagerung von großen Mengen an Feinsedimenten wichtig.

In einem Flußstau kommt es bezüglich der Sedimentation meist zu einer Dreierzonierung:

- 1) Die Stauwurzel, an der vielfach das Flußbett weiter eingetieft wird und die ursprüngliche Transportkraft erhalten bleibt;
- 2) die Zone der vorwiegenden Sandablagerungen und
- 3) die Zone der Ablagerung von feinem bis feinstem Schlamm.

Im allgemeinen sind es diese feinkörnigen Flußschlämme, die den Querschnitt des ehemaligen Flußbettes verringern und somit durch Ausbaggerung entfernt werden müssen.

Dieses Problem tritt nicht nur in vielen der über 30 Speicher- und 60 Laufkraftwerke Österreichs (P. OBERLEITNER & G. SCHILLER, 1983) auf, sondern ist weltweit ein umweltgeologisches Problem.

Insbesondere in der Nähe von Gebieten mit intensiver Erosion (z.B. hohe Gebirgsketten, mangelnde Vegetation etc.) fallen so jährlich viele Millionen Kubikmeter Feinsediment im letzten Teil der Stauräume an. Durchschnittliche Hochwässer erodieren vielfach nur die obersten wenig konsolidierten Ablagerungen. Künstliche Spülungen sind auf Grund der möglichen Mobilisierung von Schadstoffen und wegen der Beeinträchtigung der Flußfauna problematisch. Überdies wird in der Kraftwerksketten dadurch das Problem nur flußabwärts verlagert.

In den meisten Stauhaltungen verringert sich die Anlandungsrate nach einigen Jahren erheblich, doch in vielen Fällen steigt sie auch nach 15–20 Jahren noch beträchtlich an (R. PARTL, 1975).

Besonders für die in den letzten Jahrzehnten errichteten Stauräume wird es notwendig sein, aus Gründen der Aufrechterhaltung des technischen Betriebes, zur Verminderung der Hochwassergefahr sowie der Aufrechterhaltung der Schifffahrt Ausbaggerungen durchzuführen.

Die ausgebaggerten Sedimente bestehen nicht nur aus anorganischen mineralischen Ablagerungen, sondern enthalten auch natürlichen organischen Detritus der im Wasser lebenden und eingeschwemmten Organismen. Darüber hinaus enthalten sie anthropogen verursachte organische und anorganische Verunreinigungen.

In diesem Zusammenhang ist es für die Bewertung von erheblichen Interesse, zu klären, ob die Sedimentation kontinuierlich oder periodisch stattfindet und ob die Sedimente häufig wieder aufgearbeitet werden.

Eine wesentliche Fragestellung besteht auch darin, inwieweit die anfallenden Schlämme als Rohstoff oder Abfall anzusehen sind: Können sie nach der Baggerung wirtschaftlich verwertet werden und fallen sie unter den Begriff „Massenrohstoff“? Bei der Verwertung müssen alle Aspekte der Ökologie und Ökonomie berücksichtigt werden.

2. Charakteristik von feinkörnigen Flußsedimenten

In den Alpenflüssen, die in Österreich vorherrschen, werden im Flußbett hauptsächlich grobes Geschiebe und Sand abgelagert. In Nebenarmen, in Überflutungsgebieten und in künstlich geschaffenen Stauräumen hingegen, in denen die Fließgeschwindigkeit von durchschnittlich 2 m/sek. auf einige zehntel Meter bzw. cm/sek. reduziert wird (H. MÜLLER et al., 1989), wird vermehrt in Suspension transportierter Schwebstoff (ungefähr $<0,04$ mm, Abb. 15; G. MÜLLER & U. FÖRSTNER, 1968) angelandet. Charakteristisch dafür ist der Korngrößenbereich des Silts (Schluff; $0,02$ – $0,063$ mm), der einen Mischbereich aus der Ton- ($<0,002$ mm) und der Quarz und Feldspat dominierten Sandfraktion ($>0,063$ mm) darstellt.

Der fortschreitende Ausbau der österreichischen Donau seit 1955 hat zu einer drastischen Änderung des Transports und der Ablagerung der Sedimente in der Donau geführt. An der Stauwurzel werden Schotter meist sogar erodiert. Im Mittelbereich herrschen Sande vor, während im letzten Drittel der Stauräume, in denen es zu großen Anlandungen pro Stromkilometer kommt (Abb. 1), die Schluff-(Silt-)Fraktion dominiert (M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986b; H. MÜLLER, et al. 1989).

Das Vorherrschen der Siltfraktion im untersten Drittel der Stauraumsedimente von Flußkraftwerken läßt sich gut aus der Korngrößenverteilung (Abb. 8, 10b) der Donau-stauräume ablesen, wobei flußabwärts noch eine Verschiebung zu feineren Korngrößen ersichtlich ist (50 zu 75 % $<0,02$ mm; M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986b). Die Sandfraktion bleibt bereits im Mittelteil des Stauraumes liegen, während der Großteil der Tonfraktion und des Feinsilts ($0,002$ – $0,006$ mm) flußabwärts transportiert wird (s. Abb. 15).

Die Menge des abgesetzten Feinsediments hängt von der Menge und Beschaffenheit (Korngröße, Kornform, spez. Gew.) des im Einzugsgebietes erodierten Materials bzw. von der Reduktion der Fließgeschwindigkeit (Stauhöhe) ab.

3. Stauraum Aschach und Probenahme

Das Donaukraftwerk Aschach (Betriebsbeginn Jänner 1964) befindet sich am Stromkilometer 2162,7, ungefähr 2 km stromaufwärts des Ortes Aschach (Oberösterreich) und ist das erste österreichische Donaukraftwerk nach dem deutsch-österreichischen Kraftwerk Jochenstein (Abb. 1 u. 2). Durch die Hebung des Wasserspiegels der Donau an der Wehrstelle um rund 16 m über Mittelwasser auf ein Stauziel von 280 m ü.A. reicht der Rückstau über 40 km weit bis zur oberliegenden Stufe Jochenstein. Das Stauraumvolumen beträgt zwischen 100 und 130 Millionen Kubikmeter und der Durchfluß schwankt zwischen Regel-Niederwasser 680 m³/sek. und Hochwasser 3550 m³/sek. mit einer Mittelwasserführung vom 1480 m³/sek. (0,21, 0,44, 1,0 m/sek. am Kraftwerk Aschach). Der mittransportierte Schwebstoffgehalt schwankt zwischen 2 bis $13\,000$ mg/l mit einem Mittelwert von 35 mg/l. Das bedeutet einen durchschnittlichen Schwebstofftransport von $3,3$ Mio. t/J (1975–1987, Wasserstraßendirektion Wien). Die Verlandung, besonders des hier betrachteten untersten Drittels (Strom-km. 2162,7–2176), geht nach 25 Jahren mit durchschnittlich

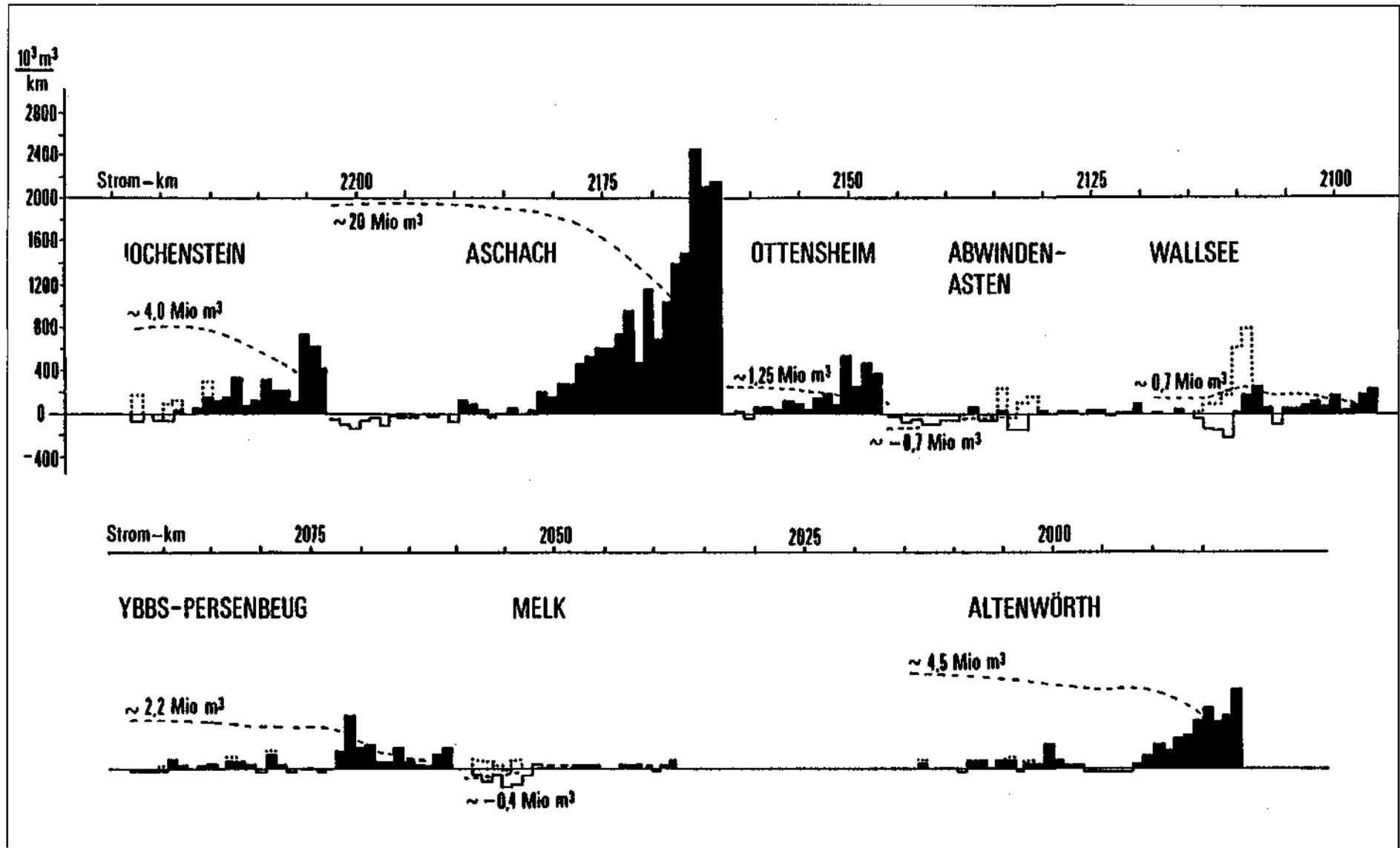


Abb. 1.

Anlandungskubaturen der österreichischen Donaustauräume (Stand 1983 bzw. 1985) mit Ausnahme von Greifenstein.

Schwarz: Angelandete Kubaturen. Weiß: Erosion. Gepunktet: Baggerungen (nach Unterlagen der Wasserstraßendirektion; (M. KRALIK & K. AUGUSTIN-GYURITS, 1987).

Sediment accumulation in Austrian Danube reservoirs. Black: accumulated sediments. White: eroded sediment. Stippled: dragged sediments.)

Abb. 2.
Lageplan des untersten Drittel des Stauraumes Aschach samt Flußquerschnitten und abgeteufften Bohrungen.
Map of the lowermost part of the Danube reservoir Aschach with cross-sections and drill-holes.

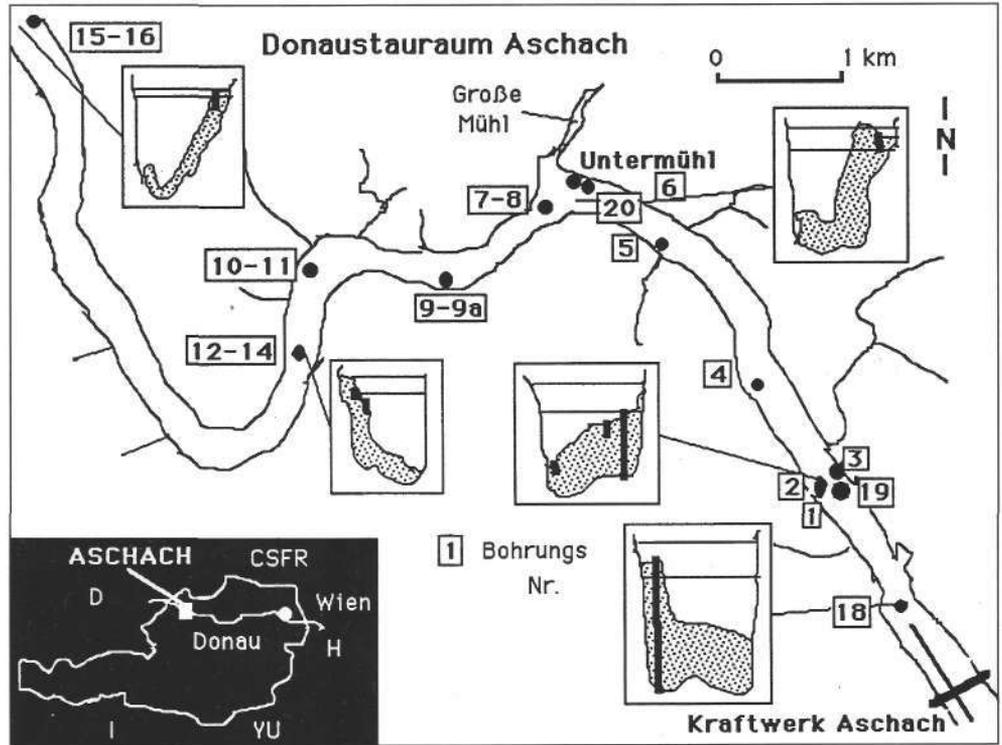
1 Mio. m³/Jahr nahezu ungebremst weiter und ist in der Kette der acht österreichischen Donaustauräume mit stellenweisen Mächtigkeiten bis zu 17 m einzigartig (Abb. 2, 4).

An Einzelproben wurden Korngröße und Mineralogie (F. KAPPEL et al., 1985), die Chemie (R. DWORSKY et al., 1973; P. DOLEZEL et al., 1985; M. KRALIK & M. SAGER, 1986b; F. EBNER & H. GAMS, 1989) und die Radionuklide (D. RANK et al., 1985, 1987, 1990) der Schlämme des Stauraumes bereits stichprobenartig erfaßt. Erste sedimentologisch-mineralogische Ergebnisse dieses Projekts wurden bereits durch M. KRALIK & K. AUGUSTIN-GYURITS (1987) publiziert.

3.1. Probenahme

Alle Proben wurden im Zeitraum von Oktober 1985 bis Ende April 1986 entnommen.

Probe Nr. 85/A1 wurde vom Ufer aus mit einer Schaufel von einer über das Wasser herausragenden Anlandungsbank in größerer Menge im Oktober 1985 genommen. Die Probe wurde im Labor homogenisiert und als Labor-



standard (18 kg) für die Reproduzierbarkeit der Untersuchungsmethoden verwendet.

Die Proben 85/A5–A31 wurden durch Abpressen eines Kunststoffrohres (Länge 2 m, Durchmesser 10 cm) ebenfalls im Oktober 1985 von einem Schiff gezogen. Es konnten nur Kerne bis zu 4 m Tiefe und nur in erheblich deformiertem Zustand gewonnen werden. Die Proben 86/A70–A99 wurden Ende April 1986 mit Hilfe eines Stechbohrgerätes Durchmesser 5 cm (J. MERKT & STREIF, H., 1970) abgeteufft. Dieses Gerät erlaubte es, die maximale Sedimentmächtigkeit von 16,8 m (Bohrung 18, Abb. 4) zu beproben.

Alle Proben wurden beschrieben (z.B. Abb. 7), fotografiert, im Abstand von ca. 1 m geteilt und in luftdicht verschlossenen Plastiksäcken ins Labor transportiert.

4. Untersuchungsmethoden

Nach der Homogenisierung der Proben und nach kurzem Röhren wurde der natürliche Wassergehalt durch Trocknung bei 45±5°C und 105±°C bis zur Massenkonstanz bestimmt.

Die Korngrößenverteilung der Proben wurde mittels Naßsiegung <0,02 mm und die Restfraktion mit einer Korngrößenanalysezentrifuge Shimadzu ermittelt. Die Siebanalysen und die Korngrößenanalyse der Fraktionen <0,02 mm mit der Zentrifuge sind auf ±10 % relativ reproduzierbar. Die versuchsweise Eliminierung des organischen Anteils mit Wasserstoffperoxid (H₂O₂) bewirkt nur eine minimale Verschiebung der Korngrößenverteilung zu größeren Durchmessern, da der Hauptteil der organischen Substanz sich in der feinsten Fraktion befindet (s. Abb. 11).

Die bei 45°C getrocknete Proben wurden auf 50 g heruntergeviertelt und im Achatmörser analysenfein gemahlen. Die mineralogische Zusammensetzung wurde mittels Röntgendiffraktometer (unorientierte Pulveraufnahmen) bestimmt. Korrekturen an Hand der geochemischen Analysen und ergänzenden Aufnahmen von Differentialthermo- bzw. thermogravimetrischen Analysen (Mettler Ther-

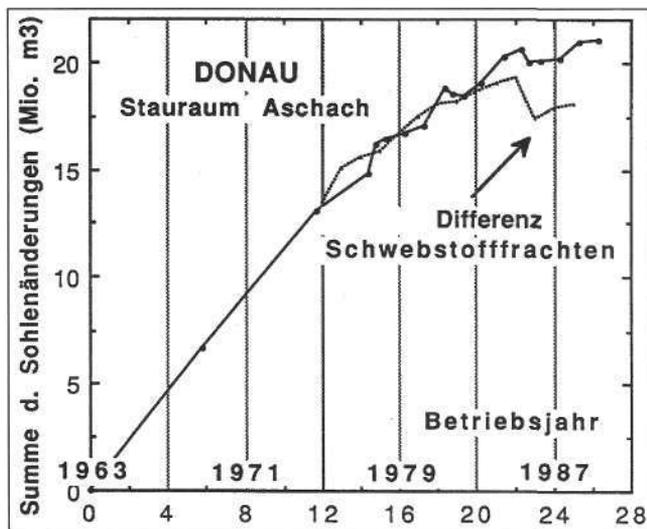


Abb. 3.
Anlandungsverlauf im Stauraum Aschach seit Operationsbeginn 1963. Rückgänge in den angelandeten Sedimentmengen in den Jahren 1981 und 1985 sind auf Umlagerungsdefizite während Hochwässern zurückzuführen. Gepunktete Kurve repräsentiert die Differenz der gemessenen Schwebstofffrachten (Wasserstraßendirektion) in Tonnen/1.35 t/m³. Cumulative curve of reservoir sediments accumulated since 1963 (echo sounding). Reversals of the curve are caused by erosion during major floods in 1981 and 1985. Stippled curve shows the calculated suspended load (input – output)/1.35 t/m³.

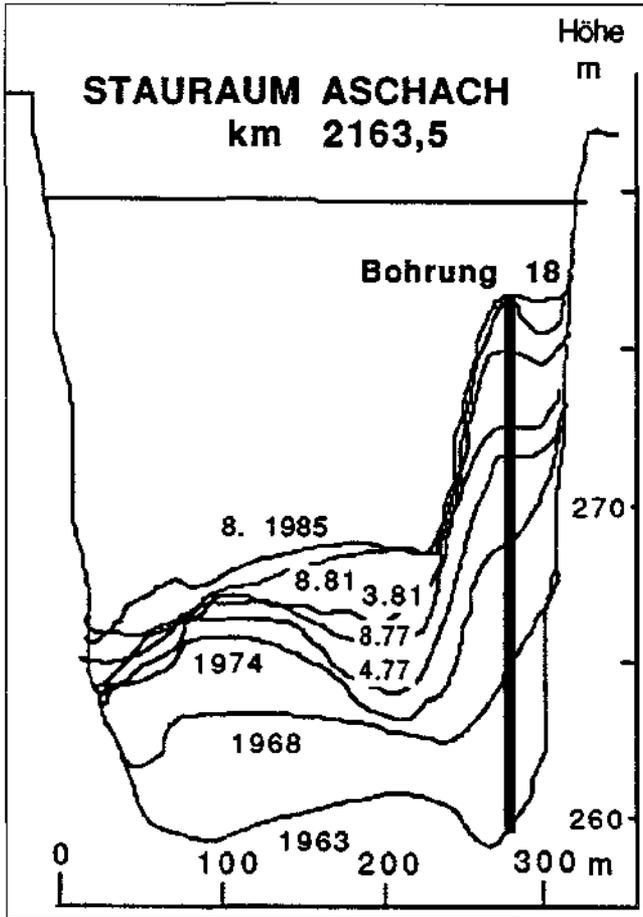


Abb. 4. Stauraumquerschnitt mit Echolotprofilen der Sedimentationszuwächse 1963–1985. Beachtenswert sind die Sedimentationszuwächse 0,7 m zwischen April (4.77) und August (8.77) 1977 bzw. von 1,3 m zwischen März (3.81) und August (8.81) 1981 im Profil von Bohrung 18 nach Hochwässern.
Cross-section according echo sounding at the drill-hole 18. Between April (4.77) and August (8.77) 1977 as well as March (3.81) and August (8.81) 1981 0.7 and 1.3 m sediment was accumulated at this cross-section after floods.

moanalyzer TA2) als auch Infrarot-Analysen (KBr-Preßlinge, Bomem 120 MB) erlauben eine quantitative Bestimmung der Mineralphasen. Die Genauigkeit der Analysen wird bei Hauptphasen auf 15 %, bei Minoritätsphasen auf 50 % geschätzt.

Grobkörnigere Phasen in den Siebfractionen wurden wie z.B. die Schwerminerale (Tetrabromäthantrennung, $d = 2,94 \text{ g/cm}^3$) wurden lichtmikroskopisch identifiziert

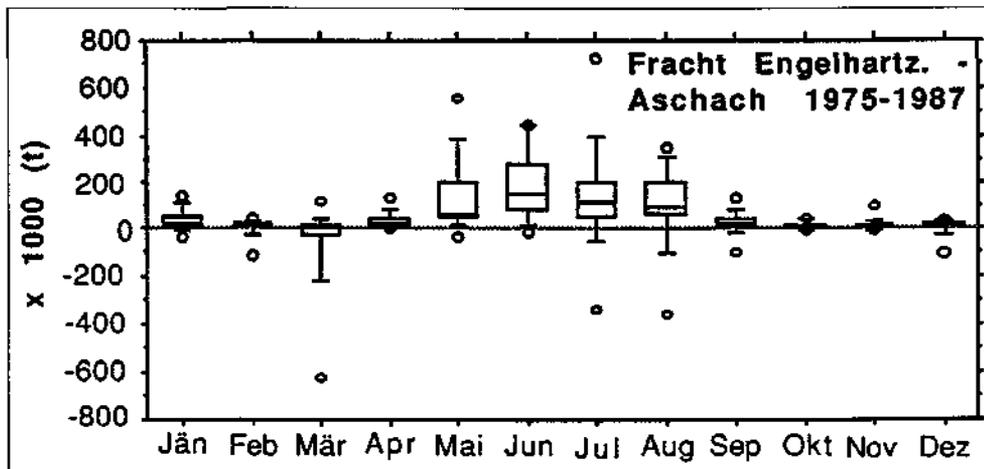


Abb. 5. Boxplot-Darstellung der durchschnittlichen monatlichen Differenzen der Schwebstofffrachten ($t \cdot 10^3$) gemessen in Engelhartz-zell (Beginn Stauraum Aschach) und an der Staumauer Aschach für die Jahre 1975–1987 (nach Unterlagen der Wasserstraßendirektion). Bemerkenswert ist die häufige Erosion im März und die Ablagerung in den Monaten der hochalpinen Schneeschmelzen Mai bis August.
Boxplot of the mean input minus output load of suspended matter. Remarkable is the frequent erosion in March and deposition during the months (May–August) of snow melt in the high Alpine areas.

und ausgezählt. Der organische Anteil wurde als die Differenz der Glühverluste bei 105°C und $360 \pm 10^\circ\text{C}$ und Abkühlen im Exsikkator gravimetrisch bestimmt. Diese Temperaturen wurden aufgrund von bekannten Materialien mittels DTA-DTG-Analysen als bester Kompromiß zwischen Oxidation des organischen Materials und der H_2O - und CO_2 -Abgabe von Tonmineralien und Karbonaten ermittelt.

Die für die mineralogische Analyse fein gemahlten Proben wurden auf Haupt- und Spurenelemente mittels wellenlängen- und energiedispersiver Röntgenfluoreszenz an Pulverpreßlingen (Philips PW1400, N. MÜLLER, 1984) und optischer Spektrometrie (Lösungsaufschluß durch Säuregemisch $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HF} 1:1:1$ bei Einwaage von 0,5 g) mit Simultangerät und induzierter gekoppelter Plasmaanregung (Philips PV8210, ICP-AES) untersucht.

As, Hg, Cd und Au wurden mittels Hydridapparatur und Graphitrohrküvette (Philips PU 9000, M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986a) bestimmt. Stickstoff wurde als Gesamtstickstoff (Aufschluß ÖNORM L 1082 analysiert. Der Glühverlust ($105\text{--}1000^\circ\text{C}$) wurde ebenfalls gravimetrisch ermittelt.

Die sequentielle Laugung wurde, wie bei M. KRÁLIK & M. SAGER (1986b) beschrieben, nach einem Laugungsschema nach FÖSTNER/TESSIER durchgeführt. Die Proben 85/A6, /A7, /A12, /A30, /A31 wurden nach der Probenahme gleich naß gesiebt ($<100 \mu\text{m}$) und der Laugung unterworfen. Die Standardabweichung der Ergebnisse der einzelnen Laugungsschritte liegt innerhalb 10 % bzw. 50 % relativ bei den Haupt- und Nebenfraktionen.

Alle Daten wurden einer statistischen Auswertung und einer Faktorenanalyse (Principal Component Analysis, Oblique Solution Primary Pattern Matrix-Orthotran/Varimax) des Computerprogramms Statview 512+ unterzogen.

Die bodenmechanische Klassifikation, die Durchlässigkeits- und Kompressionsversuche wurden nach ÖNORM, DIN 180 130 und ÖNORM B 4420 ausgeführt.

Die Brennversuche für die Eignung als keramischer Rohstoff bzw. für die Zementproduktion, wurden von den Firmen Wienerberger Baustoffindustrie AG bzw. Perlmöoser Zementwerke AG durchgeführt.

5. Resultate

5.1. Sedimentologie der Donaueinsedimente

Die Donau hat im österreichischen Abschnitt ein mittleres Gefälle von 0,45 ‰, was dem Gefälle eines Alpenflusses entspricht.

Tabelle 1.
Physikalische Parameter und Mineralphasen [M-%] der Donau-
feinsedimente des Stauraumes
Aschach.
x = arithmetisches Mittel; SA =
Standardabweichung; n = Anzahl
der Proben; Extremw. = Extrem-
werte.

		<0.02mm	.02-.063	.063-.25	Ton	Silt	Sand
1	x	58	24	18	15	67	18
2	SA	17	11	11	6	9	3
3	n	34	34	34	6	6	34
4	Extremw.	31-87	3-46	3-36	6-24	63-70	5-24
5							
6		Median	Mean	Schiefe	Kurtosis	k-Wert	Dichte
7		(µm)	(µm)			(m/s*)	(g/cm3)
8	x	11.1	10.3	+0.11	0.80	2.7e-9	2.647
9	SA	5.1	3.5	0.04	0.04	1.5	0.021
10	n	32	46	46	46	46	15
11	Extremw.	4-47	6.2-17.3	0.06-.37	.79-.95	1.2-7.9	2.61-68
12							
13		Rohdichte	Quarz	Feldspat	Dolomit	Calcit	Illit-Gli.
14		(g/cm3)					
15	x	1.35	22.5	7.9	9.9	12.0	27.7
16	SA	0.2	4.7	1.1	1.9	1.3	1.7
17	n	6	35	35	35	35	35
18	Extremw.	1.4-1.9	19-26	6-10	6-14	9-15	25-32
19							
20		Chlorit	Org. Mat.	H2O-Geh.			
21							
22	x	16.4	3.4	59.3			
23	SA	1.5	0.9	27			
24	n	35	35	34			
25	Extremw.	14-20	1.8-5.4	37-95			

*) Durchlässigkeitsbeiwert errechnet aus Korngrößenverteilung nach BIALAS & KLECZKOWSKI (1970).

Am Donaukraftwerk von Aschach werden durchschnittlich 3,3 Mio. Tonnen (1975–1987, 0,5–8,4 Mio. t/a) Schwebstofffracht jährlich gemessen. Der durchschnittliche Eintrag in den Stauraum in normalen Jahren ist im gleichen Zeitraum um ungefähr 30 M-% (9–56 M-%) höher und wird folglich im Stauraum sedimentiert. Subtrahiert man jedoch die Mengen, die je in den Hochwasserjahren 1981 und 1985 (Abb. 3; ungef. 2,5 Mio t) vermehrt ausgebracht wurden, so verbleibt eine Netto-Ablagerung von 0,22 Mio. t/a (6,3 M-%). Die Summe der Sohlenänderungen und die Schwebstofffrachtdifferenz (Aschach – Engelhartzell: 1,35 Lagerungsdichte) laufen von 1975 bis 1981 parallel, gehen nach dem Hochwasser 1985 erheblich auseinander. Die jahreszeitliche Betrachtung der Schwebstofffracht in Form einer Boxplotdarstellung (Abb. 4) zeigt die durchschnittliche Netto-Sedimentation von 100 bis 200·10³ t in den Monaten Mai bis August, während im März häufig ein Netto-Austrag stattfindet.

Abb. 6.
Abflußmenge (durchschnittliche Fließgeschwindigkeit) an der Staumauer Aschach gegen die tägliche Differenz des Schwebstoffeintrags (Engelhartzell) minus des Schwebstoffaustrags (Aschach) im Stauraum Aschach. Bemerkenswert ist die überwiegende Sedimentation bei durchschnittlichen Fließgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/Sek., die von massiver Erosion bei Fließgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/Sek. abgelöst wird. Discharge vs. the daily mean input minus output load of suspended matter. Remarkable is the dominant sedimentation by velocities larger than 0.5 m/sec., which change to mass erosion by velocities larger than 1 m/sec.)

Die Sedimente bestehen hauptsächlich aus braungrauem (GSA Rock-Color Chart 5 Y 6/1), homogenem, tonig-sandigem Silt. Häufig wechseln im Dezimeter-Bereich hellere, sandigere mit dunkleren tonigeren Siltlagen ab.

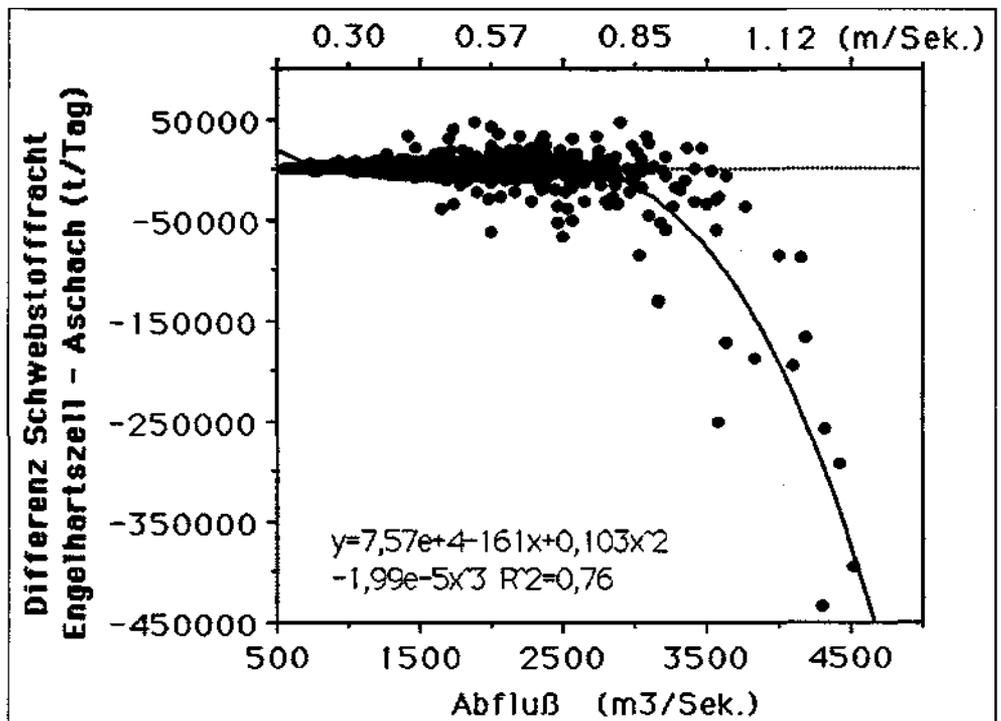


Tabelle 2.
Mittelwerte und Standardabweichung der chemischen Haupt- [M-%] und Spurenelemente [mg/kg] der Donaueinsiedimente des Stauraumes Aschach und vergleichende Literaturdaten.

	Herkunft der Daten	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S
1	Durchschn. Tongest. Turekian 1961	58.4	15.1	0.83	6.7	0.11	3.1	2.5	3.3	1.3	0.16	0.25
2	Mittel Geochem. Atlas Zentralzone	-	17.4	0.92	5.7	0.10	1.8	2.5	3.3	2.0	0.28	-
3	Oberösterr. Hintergrundwerte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Laugungsschritte HNO ₃ +Rest	-	13.3	-	3.6	0.046	-	-	-	-	0.24	-
5	Aschach Ebner & Gams 1989(1984)	-	-	-	4.58	0.085	-	-	-	-	-	-
6	<100µ Müller & Wimmer 1987(1985)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	n=1 <20 Dolezel et al. 1985	-	14.1	0.58	5.5	0.133	11.4	4.11	2.29	0.66	0.45	-
8	n=1 <2µ Kralik & Sager 1986b(1985)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	n=22 <20 Kralik et al. 1991 (1986)	39+1.7	14.9+9	-	6.7+56	0.114+7	13.0+1.7	5.0+4.0	2.53+1.19	0.66+0.07	0.36+0.02	.093+.016
10	n=6 Ob. Stauraum 2168-2176km	45+1.4	14.5+7	0.65+0.03	5.0+41	0.122+26	10.4+64	4.5+42	2.51+20	0.93+0.07	0.34+0.07	-
11	n=9 Unt.Stauraum 2163-2168km	44+1.8	14.7+7	0.66+0.03	5.2+44	0.116+16	10.3+69	4.8+40	2.62+17	0.95+0.09	0.30+0.03	-
12	n=37 Gesamt 2163-2176 km	44+1.6	14.8+7	0.64+0.04	5.1+37	0.120+20	10.3+68	4.6+36	2.54+16	0.92+11	0.31+0.05	.087+.019#
13	n=37 Gesamt ohne Karbonat	56.5	18.9	0.82	6.5	0.15	0.84	2.9	3.24	1.17	0.40	.11#
14	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B x 1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.07	-
15	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.51	-
16	Oberboden Oberösterr. Klärschlver.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	Herkunft d. Daten	N	105oC	1000oC	Ba	Sr	Zr	V	Cr	Fb	Ni	Zn	Cu
1	Durchschn. Tongest. Turekian 1961	0.006	-	-	580	140	160	130	90	140	68	95	45
2	Mittel Geochem. Atlas Zentralzone	-	-	-	570	210	-	118	72	85	38	75	24
3	Oberösterr. Hintergrundwerte	-	-	-	-	-	-	-	38	-	37	106	15
4	Laugungsschritte HNO ₃ +Rest	-	-	-	-	-	-	-	55	-	40	89	6.6
5	Aschach Ebner & Gams 1989(1984)	-	-	-	-	-	-	-	45+8	-	50+8	177+17	52+15
6	<100µ Müller & Wimmer 1987(1985)	-	-	-	-	-	-	-	60+13	-	69+7	175+29	98+ 9
7	n=1 <20 Dolezel et al. 1985	-	-	-	451	213	-	105	114	-	66	247	84
8	n=1 <2µ Kralik & Sager 1986b(1985)	-	-	-	-	-	-	-	140	-	65	317	61
9	n=22 <20 Kralik et al. 1991 (1986)	-	-	-	514+55	238+24	177+19	147+14	120+12	112+14	55+4	207+30	59+ 9
10	n=6 Ob. Stauraum 2168-2176km	-	0.53+1.16	16.1+1.2	472+32	238+12	155+28	104+ 7	99+ 8	105+15	72+32	183+43	48+16
11	n=9 Unt.Stauraum 2163-2168km	-	0.73+0.34	16.0+1.5	490+56	237+21	150+22	115+ 8	102+18	101+ 9	69+13	168+22	46+ 9
12	n=37 Gesamt 2163-2176 km	0.14+.04#	0.66+.29	16.1+1.3	483+46	239+22	153+21	113+ 9	102+11	103+11	72+20	181+41	49+14
13	n=37 Gesamt ohne Karbonat	0.18#	0.84	6.1	617	188	195	144	130	131	92	231	62
14	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B x 1.5	4.32	-	-	-	-	-	-0.30	0.27	-	0.69	1.03	0.78
15	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B	4.91	-	-	-	-	-	0.29	0.85	-	1.28	1.62	1.37
16	Oberboden Oberösterr. Klärschlver.	-	-	-	-	-	-	-	100	-	60	300	100

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Jahreszahl in Klammer = Jahr der Probenahme; Gesamt ohne Karbonat = Elementgehalt korrigiert auf karbonatfreier Basis. OO Hintergrundwerte nach MÜLLER & WIMMER (1987). HNO₃ + Rest = mineralisch fest gebundener (vgl. Abb. 14); Ob. = oberer; Unt. = unterer; n = Anzahl der Proben; Klärschlammver. = Klärschlammverordnung; Geo-Index = Geoakkumulationsindex nach G. MÜLLER (1981); # = Mittelwert von 10 Proben.

Herkunft d Daten		Ce	Y	La	Co	Pb	As	Cd	Hg	Ag	Au
1	Durchschn. Tongest. Turekian 1961	70	35	40	19	20	13	0.22	0.4	0.07	0.003
2	Mittel Geochem. Atlas Zentralzone	85	30	43	19	24	5.0	-	-	0.09	-
3	Oberösterr. Hintergrundwerte	-	-	-	-	33	-	0.53	0.24	-	-
4	Laugungsschritte HNO ₃ +Rest	-	-	-	-	25	5.1	-	-	-	-
5	Aschach Ebner & Gams 1989(1984)	-	-	-	-	61+9	-	0.61+0.7	-	-	-
6	<100µ Müller & Wimmer 1987(1985)	-	-	-	-	65+14	-	0.73+0.17	0.46+0.26	-	-
7	n=1 <20 Dolezel et al. 1985	57	27	10	20	70	-	-	0.65	-	-
8	n=1 <2µ Kralik & Sager 1986b(1985)	-	-	-	18+1	147	19	1.5	1.1	-	-
9	n=22 <20 Kralik et al. 1991 (1986)	83#	-	27#	18+1	76+17	24+6	1.18+0.28	1.35+0.50	0.62#	-
10	n=6 Ob. Stauraum 2168-2176km	-	23+1.4	-	-	72+21	-	-	-	-	-
11	n=9 Unt. Stauraum 2163-2168km	-	23+3.5	-	-	63+11	-	-	-	-	-
12	n=37 Gesamt 2163-2176 km	67+8	24+3.6	24+10	21+1#	68+18	16+2.5#	0.63+0.13	0.63+0.07	0.6+0.3	0.004+0.3
13	n=37 Gesamt ohne Karbonat	86	30	31	27	87	21	0.80?	0.80	0.79	-
14	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B x 1.5	-	-	-	-0.08	1.27	1.49	0.83	0.42	2.55	-
15	n=37 Geo-Index = log ₂ C/B	-	-	-	0.51	1.86	2.07	1.42	1.00	3.13	-
16	Oberboden Oberösterr. Klärschlver.	-	-	-	-	100	-	2	2	-	-

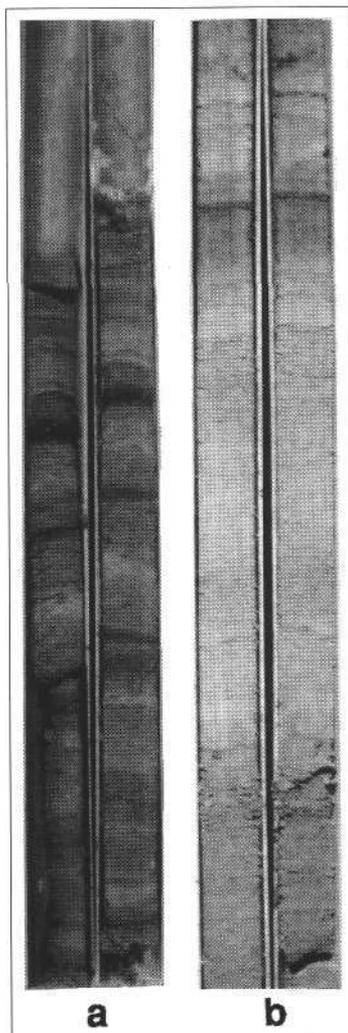


Abb. 7.

a) Bohrkern B 18; 16,1–16,8 m repräsentiert die zentimeterweise Wechsellagerung des Donausediments vor dem Vollaufstau 1964.

Drill-core B18; 16,1–16,8 m, showing the interlayering in the centimeter range typical for sedimentological changes before damming 1964.

b) Bohrkern B18; 8–9 m (1972 bis 1973) ist typisch für die homogene silt dominierte Stauraumsedimentation mit nur vereinzelten cm-mächtigen, an organischem Material reicheren Lagen. Letztere sind vermutlich nicht erodierte Reste der Niederwassersedimentation.

Drill core B18; 8–9 m (1972–1973) shows common, homogeneous silt dominated reservoir-sediments.

They show rarely cm-thick, organic enriched layers, which are interpreted as not eroded low-water sedimentation.)

Vereinzelt sind noch dünne, organisch reichere dunkelbraune (10 YR 4/2) Zwischenlagen (85/A15.1, Tab. 1 oder z.B. Abb. 7) vorhanden. Die Bohrpunkte in der Nähe von Bacheinmündungen (Bohrungen 12–14) zeigen 5–75 cm mächtige, mehr sandige Lagen. Nur die Flußsedimente vor dem Aufstau zeigen einen dm-Wechsel von mehr oder weniger sandigeren Siltlagen (Abb. 7; Bohrung 18, 16–16,8 m). Oxidierende und teilweise reduzierende Bedingungen wechseln lagenweise (mehr tonig), aber auch domänenweise im cm-Bereich. Die durchschnittliche (n = 46) Korngrößenverteilung der relativ einheitlichen Stauraumsedimente beträgt 15 M-% Ton, 67 M-% Silt und 18 M-% Sand (Abb. 8 und Tab. 1). Der mittlere Durchmesser schwankt von 4 bis 47 µm und der Anteil <20 µm schwankt 31–87 M-%. Im detailliert beprobten untersten Drittel (Strom-km 2163–2176), in dem auch 85 % des Verlandungsmaterial sedimentierte, ist kein einheitlicher Trend zu feineren Korngrößen zu beobachten (Tab. 4). Die einzigen Komponenten größer als 0,2 mm sind stellenweise massenhaft Muscheln (*Pisidium?*) und Würmer (*Limnodrilus?*) sowie vereinzelt Pflanzendetritus, Holzstücke und Plastikfetzen.

Der Wassergehalt beträgt durchschnittlich 59 M-% und der organische Anteil 3,4 M-% (Trockengewicht). Vereinzelt mikroskopische Beobachtungen deuten auf Erosion des Silts und darüber Sedimentation von feinkörnigem Sand (scour and fill structures) in dünnen Lagen (Abb. 9). Die Feinstrukturen deuten vielfach eine Kornvergrößerung nach oben an (reverse grading). Kornvergrößerungen nach oben hin im Kleinmaßstab findet man durchaus häufig in Flußablagerungen,

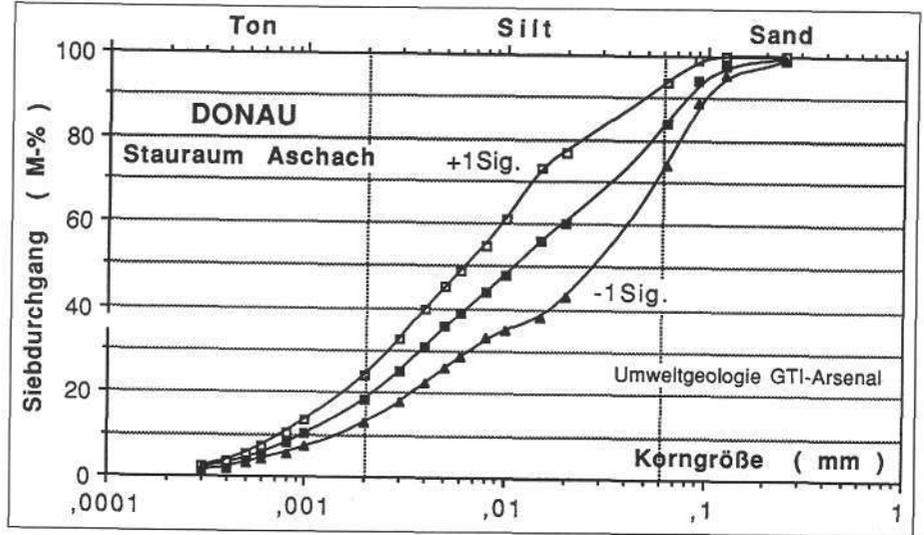
Tabelle 3.
Korngröße, Mineralogie und Chemie [M-%; mg/kg] von Donaueinsedimenten aus dem Stauraum Aschach.

	Proben Nr.	Quarz	Feldsp.	Dolomit	Calcit	Illit-Gli.	Chlorit	Org.Mat.	H2O-Geh.	SiO2	Al2O3	TiO2	Fe2O3t	MnO	CaO	MgO	K2O	Na2O	P2O5	105o
1	85/A1	24.0	8.5	12.0	11.0	25.0	17.0	2.2	33.0	45.1	14.4	.70	5.0	.090	10.3	4.5	2.5	1.04	.250	.30
2	85/A5	21.0	7.5	11.0	13.0	25.0	17.5	2.9	38.0	41.9	14.0	.62	4.7	.150	11.4	5.2	2.3	.92	.310	.50
3	85/A6	25.0	9.0	10.0	9.0	28.0	17.0	1.8	33.0	45.5	13.7	.68	5.2	.100	10.3	4.8	2.7	1.02	.260	.30
4	85/A7	21.0	9.5	13.0	10.0	26.0	19.0	2.1	34.0	44.0	13.6	.66	5.6	.120	10.2	5.3	2.7	1.08	.310	.40
5	85/A12	19.5	6.0	11.0	11.5	28.0	20.0	3.7	49.0	42.0	14.3	.65	5.9	.120	10.3	5.6	2.9	.94	.370	.60
6	85/A13	23.0	9.0	13.0	11.0	26.0	18.0	3.6	46.0	42.0	14.5	.67	5.8	.100	10.7	4.7	2.9	.93	.300	.60
7	85/A15.1	24.0	6.0	5.0	11.5	29.0	19.0	7.9	.	46.1	14.4	.72	5.6	.120	10.1	3.9	2.5	.96	.440	1.30
8	85/A20	26.0	9.0	9.0	13.0	26.0	15.0	2.7	41.0	46.2	14.6	.65	4.6	.130	10.0	4.4	2.4	.97	.310	.50
9	85/A24	25.0	6.5	11.0	12.0	31.0	16.0	3.8	33.0	45.7	15.7	.68	5.1	.150	9.4	4.1	2.5	.82	.400	.80
10	85/A27	24.0	8.5	8.0	11.0	27.5	15.5	4.5	43.0	44.0	14.0	.62	4.5	.150	10.7	4.1	2.2	.89	.450	.60
11	85/A30	21.0	7.0	14.0	13.0	25.5	18.5	2.9	43.0	42.5	13.9	.63	5.4	.110	11.3	5.2	2.8	.92	.330	.50
12	85/A31	22.0	10.0	9.0	11.5	26.0	18.5	3.0	42.0	43.5	14.3	.63	5.5	.100	10.5	4.7	2.7	.94	.300	.50
13	85/A35	22.0	7.5	10.0	13.0	27.5	17.5	4.0	47.0	43.1	14.9	.73	5.5	.104	10.8	4.7	2.8	1.20	.351	.60
14	85/A39	24.0	10.0	11.0	10.0	25.0	16.0	2.0	37.0	44.7	14.0	.69	5.1	.101	11.5	4.4	2.4	1.10	.289	.40
15	86/A70	24.0	8.5	11.0	12.0	28.0	15.0	2.8	40.0	46.1	15.2	.60	4.7	.130	9.8	4.7	2.5	1.02	.290	.70
16	86/A71	23.5	10.0	11.0	10.0	28.5	15.0	2.6	32.0	46.1	15.4	.62	4.7	.130	9.1	4.3	2.5	1.08	.280	.30
17	86/A72	23.0	7.0	9.0	13.0	30.0	15.0	2.9	37.0	46.1	15.9	.60	5.0	.130	9.5	4.6	2.6	.96	.290	.50
18	86/A73	24.0	9.0	9.0	12.0	28.0	14.0	2.6	33.0	46.6	14.6	.58	4.5	.120	9.7	4.3	2.4	1.03	.260	.40
19	86/A74	23.0	8.0	6.0	14.0	29.0	16.0	4.0	40.0	44.0	15.3	.60	5.1	.150	10.2	4.5	2.5	.86	.350	.70
20	86/A75	21.0	8.0	7.0	12.0	29.0	16.0	3.9	37.0	44.8	15.3	.62	5.1	.150	9.6	4.5	2.5	.86	.330	.95
21	86/A76	26.0	6.0	11.0	12.0	28.0	15.5	2.9	33.0	45.1	15.1	.65	5.0	.100	9.8	4.6	2.5	.87	.280	.60
22	86/A77	24.0	6.0	8.0	11.0	31.0	18.0	3.6	34.0	44.0	16.0	.63	5.2	.140	9.9	4.5	2.6	.88	.280	.70
23	86/A78	23.0	7.0	9.0	11.5	29.0	16.0	4.8	35.0	44.2	14.5	.61	4.7	.110	9.9	4.3	2.5	.77	.290	1.00
24	86/A79	24.0	7.0	9.0	11.0	29.5	18.0	2.6	33.0	45.1	15.1	.66	5.1	.100	10.0	4.9	2.5	.91	.290	.40
25	86/A80	20.0	8.0	10.0	11.0	32.0	19.0	2.4	35.0	44.1	16.4	.69	5.6	.110	9.5	4.9	2.7	.89	.260	.30
26	86/A81	22.0	6.5	7.0	13.0	28.0	15.0	5.4	37.0	44.1	15.1	.61	5.0	.140	10.5	4.3	2.4	.67	.330	1.20
27	86/A82	20.0	6.0	6.0	13.0	29.0	18.0	3.0	35.0	42.1	15.5	.63	5.2	.130	11.1	4.9	2.5	.83	.260	.40
28	86/A83	19.0	8.0	11.0	15.0	25.0	14.0	4.3	34.0	41.1	13.8	.55	4.7	.120	11.5	5.2	2.3	.75	.250	.50
29	86/A84	22.0	7.5	9.5	15.0	26.0	15.0	4.2	33.0	43.1	14.3	.58	5.0	.120	11.3	4.6	2.3	.78	.330	.70
30	86/A85	22.0	8.0	11.0	14.0	27.0	15.0	4.2	33.0	43.1	15.0	.63	5.1	.130	10.6	4.5	2.4	.75	.330	.95
31	86/A86	29.5	10.0	13.0	10.0	22.5	13.0	1.7	27.0	48.2	12.8	.53	3.7	.130	10.6	4.5	2.0	1.12	.230	.30
32	86/A90	21.0	7.0	8.0	12.0	28.0	17.0	3.0	36.0	44.1	15.8	.68	5.4	.120	9.5	4.9	2.6	.86	.250	1.14
33	86/A99	21.0	8.0	9.0	11.0	28.0	18.0	3.4	37.0	47.0	15.2	.61	4.7	.100	9.6	4.4	2.5	.98	.300	.90
34	86/A111	21.0	7.5	12.0	12.0	26.5	16.0	3.7	39.0	42.3	15.0	.67	5.4	.110	11.1	4.7	2.7	.87	.290	.94
35	86/A118	20.0	7.5	11.0	13.0	28.0	15.5	4.9	46.0	43.2	14.8	.69	5.4	.100	10.5	4.3	2.7	.86	.340	1.30
36	86/A119	20.0	7.5	11.0	12.5	28.0	16.0	4.0	43.0	43.2	14.6	.68	5.3	.110	10.9	4.5	2.6	.80	.320	1.07

Tabelle 3 (Fortsetzung).

	ProbenNr.	1000o	Ba	Sr	Zr	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Fb	Y	<20 µ	20-63 µ	63-250 µ	Median µ	Strom-km	Teufe (m)
1	85/A1	14.4	454	224	188	99	86	60	44	130	42	90	23	38	41	20	28.5	2188.8	0.0 - 2
2	85/A5	17.6	422	263	149	107	98	76	49	153	74	99	25	81	15	4	8.0	2164.6	0.0 - 1.1
3	85/A6	13.6	474	230	141	115	86	79	41	128	56	81	22	31	38	31	47.0	2164.6	0.0 - 1.3
4	85/A7	14.1	585	260	158	120	99	61	51	145	55	95	25	46	21	35	28.0	2164.6	1.3 - 2.0
5	85/A12	17.4	611	249	92	125	118	48	55	187	74	89	27	81	7	12	5.7	2168.0	0.0 - 0.5
6	85/A13	17.4	474	203	140	120	92	86	49	190	64	107	21	80	4	16	6.7	2168.0	0.5 - 1.4
7	85/A15.1	17.4	478	204	195	130	113	71	62	190	74	90	23	33	24	43	22.0	2168.3	0.7 - 0.8
8	85/A20	15.6	436	249	174	105	89	81	32	160	75	115	25	64	24	12	10.0	2169.3	0.8 - 2.0
9	85/A24	18.2	471	252	164	103	129	128	59	226	100	131	25	73	8	19	5.0	2170.2	1.2 - 2.0
10	85/A27	18.2	474	245	158	103	120	79	77	242	91	117	22	33	41	27	32.0	2171.0	0.7 - 1.7
11	85/A30	16.1	531	239	115	115	95	43	38	165	59	84	23	57	29	13	18.0	2176.2	0.0 - 1.6
12	85/A31	15.9	466	220	128	96	93	40	40	175	64	91	22	58	28	14	12.0	2176.2	1.6 - 3.2
13	85/A35	17.8	486	188	147	111	112	55	48	178	60	108	20	84	11	5	4.5	2176.2	.86 - 1.1
14	85/A39	14.8	392	182	153	107	89	41	24	126	40	88	20	31	34	34	38.0	2176.2	1.74 - 1.95
15	86/A70	15.6	445	247	164	108	98	82	31	149	57	108	23	47	21	31	24.0	2163.5	0.0 - 1.0
16	86/A71	14.1	447	252	180	111	99	77	30	162	109	110	18	37	27	36	36.0	2163.5	1.0 - 2.0
17	86/A72	15.6	457	257	169	104	101	72	34	179	80	115	20	56	20	24	15.0	2163.5	2.0 - 3.0
18	86/A73	14.4	469	251	169	103	88	73	44	175	50	112	21	44	30	26	25.0	2163.5	3.0 - 4.0
19	86/A74	16.6	431	249	158	108	110	126	69	219	87	118	22	83	12	4	4.5	2163.5	4.0 - 5.0
20	86/A75	16.5	501	259	159	117	102	103	72	192	104	117	17	87	9	3	4.0	2163.5	5.0 - 6.0
21	86/A76	15.1	464	217	134	114	98	72	44	140	42	92	25	75	19	6	7.5	2163.5	6.0 - 7.0
22	86/A77	16.1	451	262	177	122	98	102	41	140	97	115	22	50	31	19	20.0	2163.5	7.0 - 8.0
23	86/A78	18.0	574	214	126	116	107	62	53	176	77	90	25	78	2	18	5.0	2163.5	8.0 - 9.0
24	86/A79	16.6	482	249	157	121	91	79	46	178	50	102	26	50	27	23	21.5	2163.5	9.0 - 10.0
25	86/A80	14.9	549	251	147	131	99	60	43	138	61	101	31	54	29	17	16.0	2163.5	10.0 - 11.0
26	86/A81	17.1	521	248	141	118	123	50	82	291	87	102	28	61	21	18	7.0	2163.5	11.0 - 12.0
27	86/A82	15.4	490	256	129	119	102	58	57	182	59	95	25	74	19	7	6.0	2163.5	12.0 - 13.0
28	86/A83	16.5	493	270	137	111	97	77	47	193	55	96	30	57	31	12	10.0	2163.5	13.0 - 14.0
29	86/A84	16.4	514	264	135	119	120	78	65	272	93	97	33	35	28	36	36.0	2163.5	14.0 - 15.0
30	86/A85	17.8	532	237	141	105	126	78	65	286	65	97	24	47	46	7	22.0	2163.5	15.0 - 16.0
31	86/A86	14.1	385	247	157	79	79	59	24	137	63	90	25	45	12	43	22.0	2163.5	16.0 - 16.8
32	86/A90	15.3	506	249	152	129	102	73	50	168	40	105	27	64	18	18	8.5	2164.6	2.4 - 3.1
33	86/A99	14.9	503	253	141	101	93	69	49	180	52	98	26	72	25	3	7.0	2167.9	2.0 - 3.0
34	86/A111	17.0	475	219	164	109	94	87	43	168	66	108	25	57	32	11	17.0	.	.
35	86/A118	17.6	466	210	161	117	105	62	60	204	64	108	21	56	30	13	17.0	.	.
36	86/A119	16.9	468	210	162	120	109	44	47	187	73	105	17	51	29	21	20.0	.	.

Abb. 8. Mittlere Korngrößensummenkurve der Feinsedimente des untersten Drittels des Stauraumes Aschach und deren 1 Sigma Abweichung. 0,02–0,25 mm Mittelwert von 46 Siebproben. <0,02 mm Mittelwert von 6 Proben (Korngrößenzentrifuge). Cumulative curve of the mean grain size fractions of the reservoir sediments from the lowest third of the Aschach reservoir.



die von hoch konzentrierten Suspensionsströmen sedimentiert wurden (H. REINECK & I. SINGH, 1980). Die mächtige Sedimentation im Stauraum abseits der unmittelbaren Strömungsrinne mit seiner sehr schlechten Sortierung kann mit den Ablagerungen auf Überschwemmungsflächen (flood plains) von unregulierten Flüssen verglichen werden. Eine detaillierte Analyse der Feinstrukturen dieser Stauraumsedimente geht jedoch über das Ziel dieser Untersuchung hinaus.

5.2. Sedimentmineralogie

Die mineralogische Zusammensetzung und der Anteil an organischen Substanzen der untersuchten 1 m Bohr

kernproben sind in den Tabellen 1 und 3 und Abb. 10a, die Siebfractionen der Probe 85/A6 ist in Abb. 11 dargestellt.

Die Zusammensetzung der mineralogischen Phasen in den 36 untersuchten Proben ist mit ungefähr 45 M-% Glimmer-Chlorit, 30 M-% Quarz-Feldspat und 22 M-% Calcit-Dolomit relativ konstant und kann nach H. FÜCHTBAUER (1959) als karbonatisch stark sandiger Ton (kST) und vereinzelt als stark sandiger Mergel (SMgl) klassifiziert werden (Abb. 10a).

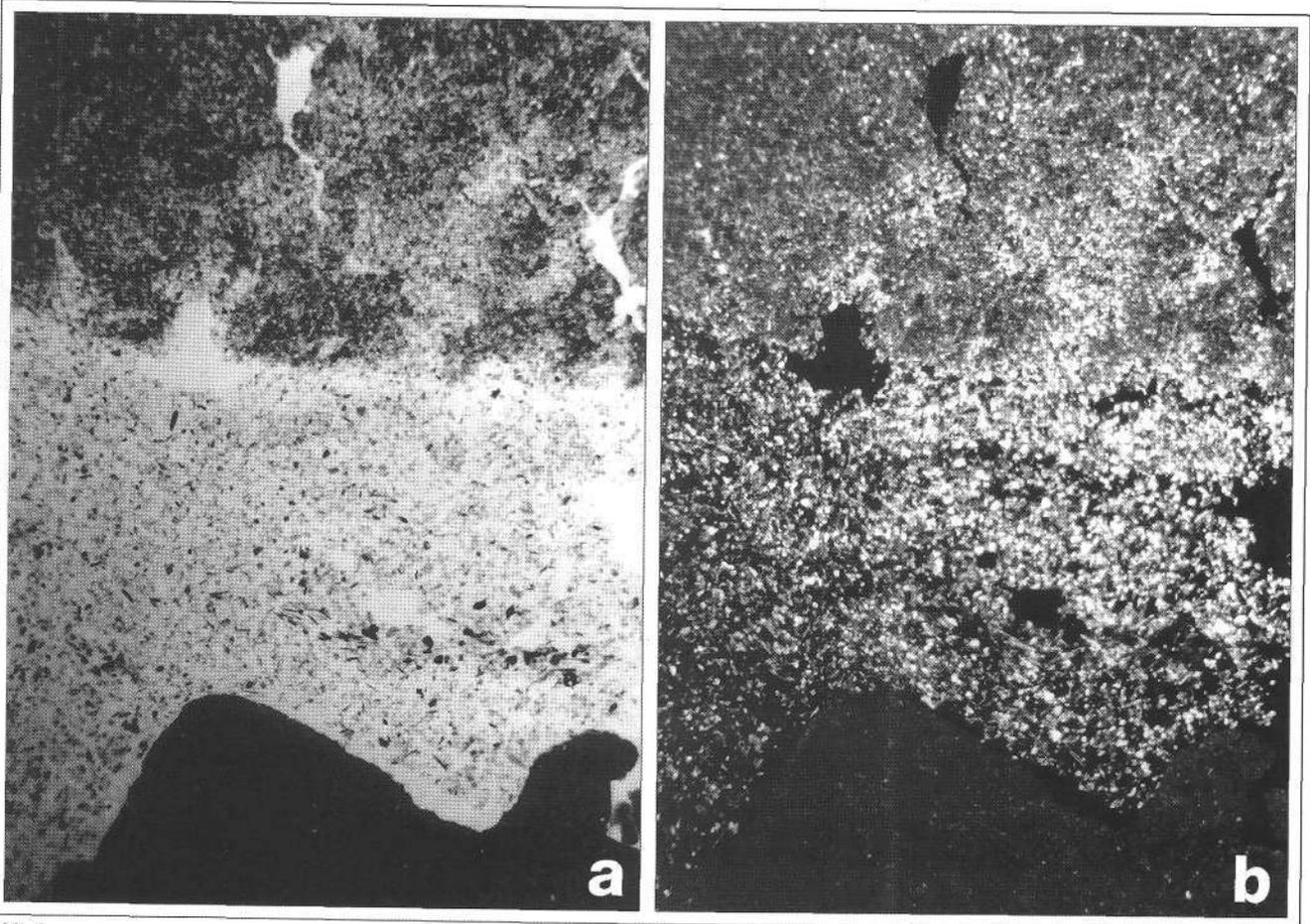


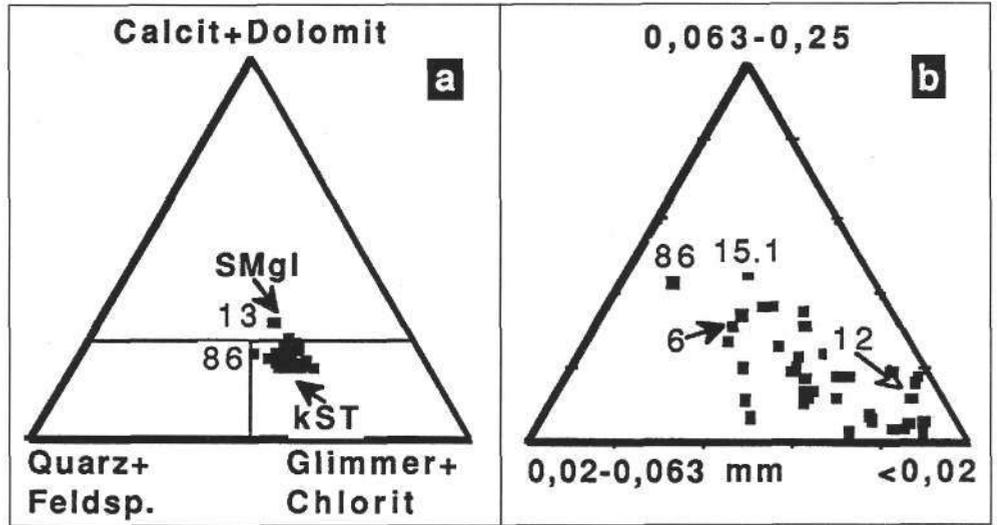
Abb. 9. Dünnschliffmikrophotographie (1,5 cm Höhe) eines Bohrkernes B19; 16,38 m. a) ohne und b) mit polarisiertem Licht.

Weißer bzw. schwarze Flecken sind Präparationsartefakte. "Scour-and-fill-structure": feinkörniger Silt wird von einer dünnen Feinsandlage verdrängt, die vermutlich von einem einmündenden Bach geschüttet wurde. Die Feinsandlage geht schnell in eine etwas gröbere bioturbat durchmischte Siltlage über.

Thin section (1.5 cm height) of the drill core B19; 16,38 m a) without and b) with crossed nicols. White as well as black dots are artifacts. "Scour-and-fill-structure": fine grained silt was eroded and filled by a small fine sand layer transported in by small creeks. The sand layer changes rapidly to a bioturbated coarse silt layer.)

Abb. 10.

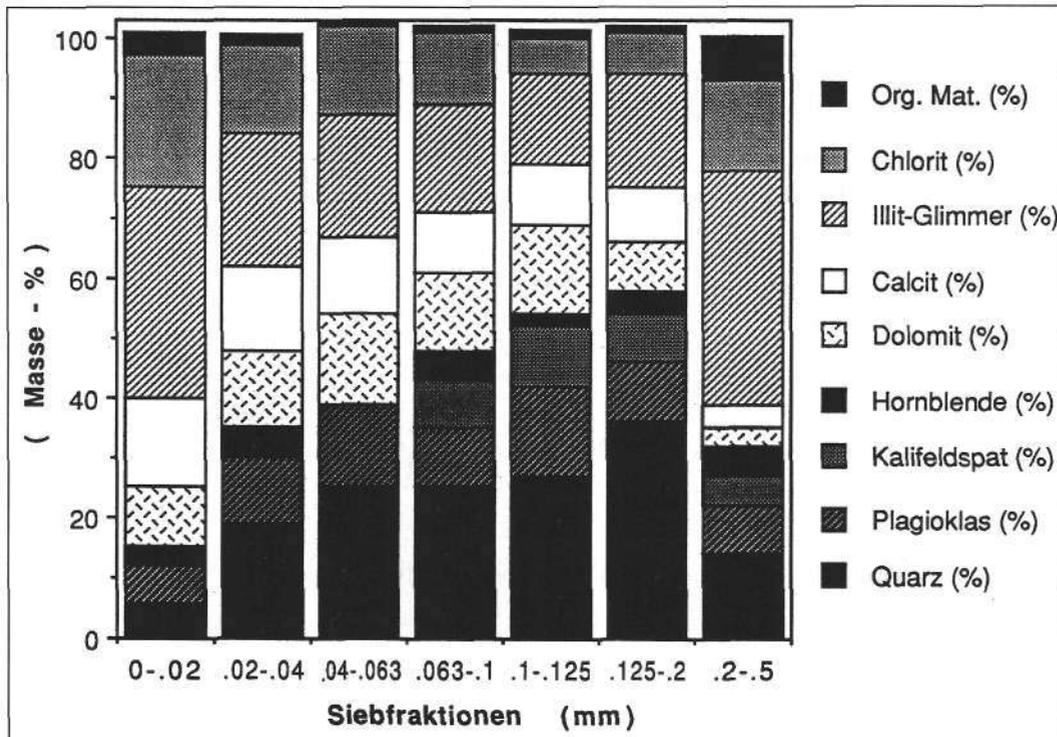
- a) Die mineralogische Zusammensetzung nach H. FÜCHTBAUER (1959) ist relativ einheitlich kST = karbonatisch stark sandiger Ton und teilweise (SMgl) stark sandiger Mergel.
The mineralogical composition varies in a narrow range and is equivalent to (carbonatic) shales.
- b) Die Kornzusammensetzung des tonig-sandigen Silts schwankt von 2 bis ungefähr 30 M-% Feinsand. Probe Nr. 86 ist Flußsediment vor dem Stau und Nr. 15.1 eine dünne organisch reiche Lage (siehe Text).
The sand size fraction of the sandy silt samples varies between 2 and 30 M-% fine sand. Sample No. 86 is river sediment before the construction of the dam. No. 15.1 is a thin organic rich layer representing "non flood sedimentation".



Nur der Dolomitanteil und der Anteil an organischer Substanz übersteigt Standardabweichungen von 15 M-% relativ. Es sind auch diese Schwankungen vermutlich vorwiegend mit Änderungen in der mittleren Korngröße zu erklären. Quarz, Dolomit und Plagioklas nehmen zu kleineren Korngrößen hin ab, der Gehalt an Chlorit und Calcit und die organische Substanz nehmen jedoch zu (Abb. 11, Tab. 4).

5.3. Schwerminerale

Der Durchschnitt der Schwermineralverteilung von drei Einzel- (85/A6, A12, A31) und drei Großmischproben (86/A111, A118, A119) ist in Abb. 12 für die Kornfraktionen 0,09–0,125 und 0,125–0,250 mm präsentiert. Der durchschnittliche Schwermineralgehalt ist 1,3 bzw. 2,4 M-%. Das Schwermineralspektrum wird von Hornblende, Granat und opaken Mineralen dominiert. Granat und opake sind in der größeren Fraktion signifikant höher. Keines der wirtschaftlich wichtigen Schwerminerale sind in den untersuchten Proben wesentlich angereichert.



Interessant ist nur, daß in der Probe 85/A6 (Bohrung 3) und in der dazugehörigen Großmischprobe (86/A111) 10–20 M-% vom Schwermineralanteil als Baryt (Schwerspat) ausgezählt wurde. Das läßt auf eine lokale Herkunft aus einem Seitenbach oder eine Verunreinigung schließen.

5.4. Sedimentchemie

Die Chemie der Hauptelemente ist in den Tabellen 2 und 3 dargestellt. Sie entspricht geochemisch den Durchschnittswerten eines sandigen Mergels. Die durchschnittliche Zusammensetzung der 1 m-Bohrkernproben ist sehr konstant. Die Standardabweichung übersteigt nur bei den Elementen Mn und P 10 M-% relativ. Nur die Si- und Na-Gehalte nehmen zu kleineren Korngrößen hin ab, die Gehalte aller anderen nehmen geringfügig zu.

Die Spurenelementgehalte sind in den Tabellen 2 und 3 aufgeführt.

Korrigiert man die Durchschnittswerte auf eine karbonatfreie (22 M-% Calcit + Dolomit) Basis, so entsprechen die meisten Gehalte den Mittelwerten des Geochemischen Atlas (Zentralalpines Kristallin, Geochemischer Atlas, 1990) bzw. dem weltweiten durchschnittlichen Tongestein (K. TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961). Im Verhältnis dazu sind die Gehalte an P, N, Cr, Ni, Zn, Pb, As, Cd, Ag und Hg signifikant höher (Tab. 2). Der

Abb. 11. Änderung der Anteile der Mineralphasen mit der Korngröße in Probe 85/A6 (km 2164,6).
Changes in mineral composition (M-%) with grain size.

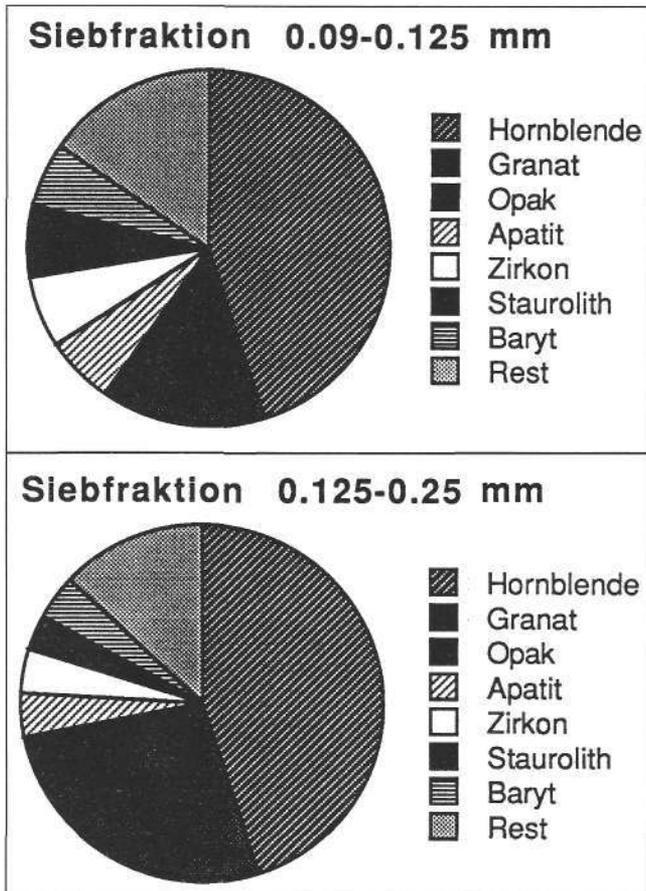


Abb. 12. Durchschnittlicher Anteil (M-%) der Schwermineralphasen aus drei Mischproben (Stromkilometer 2.163 – 2.168). Durchschnittlich gewonnener Schwermineralanteil in den Siebfraktionen 0,09–0,125 mm ist 1,3 bzw. 2,4 (M-%). Mean composition of heavy minerals from three large compound samples in the 0.09–0.125 and 0.125–0.25 mm size.

durchschnittliche Cr- und Ni-Gehalt von 102 ± 11 bzw. 72 ± 20 mg/kg des Gesamtsediments ist knapp über den Grenzwerten für Oberböden der oberösterreichischen Klärschlammverordnung (100 bzw. 60 mg/kg, Tab. 3).

Die Spurenelementverteilung in den Siebfraktionen der Probe 85/A6 ist aus den Abbildungen 13a,b ersichtlich.

Die Abbildungen 13a,b zeigen für alle Elemente eine sattelförmige Verteilung. Die niedrigsten Werte werden in den Grobsiltfraktionen 0,02–0,2 mm erreicht. Ähnliche sattelförmige Verteilungen weisen auch die Gehalte von Illit-Glimmer, Chlorit und organischer Substanz auf, die bevorzugt Schwermetallgehalte anlagern können.

5.5. Sequentielle Laugung der Schwermetalle

Die Ergebnisse der sequentiellen Laugung nach FÖRSTNER/TESSIER (M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986b) sind in der Abb. 14 zusammengefaßt. Die erste Betrachtung der Abb. 14 zeigt, daß Mn und P zu 50 bzw. 80 M-% leicht mobilisierbar sind. Ebenso werden die Schwermetalle ansteigend von Cr zu 45 % (NH_4 -Acetat bis H_2O_2 Laugungsschritte) bis Cu zu 90 % leicht mobilisiert. Der Hauptanteil der leichter mobilisierbaren Anteile der Elemente Mn, Ni und Pb wird im 3. (0,1M-Hydroxylamin/25 % Essigsäure) Laugungsschritt mobilisiert. Der Hauptanteil der Elemente Fe, P, Cr, Cu und As wird in der 4. (0,2M-Oxalatpuffer pH3) Laugungsstufe gelöst.

5.6. Hydrologie des Porenwassers der Stauraumfeinsedimente

Der Wassergehalt aller gesammelten Proben (Entnahmetiefe größtenteils bis 3 m unter der Sedimentoberfläche) liegt zwischen 47 % und 95 %. Der Wassergehalt in den Proben der Tiefbohrung (B 18, Abb. 2, 4) variiert zwischen 37 M-% und 67 M-% (bezogen auf Trockensubstanz). In den obersten, noch nicht konsolidierten Sedimenten (bis 75 cm Tiefe) findet sich ein Wassergehalt um 85 M-%. Mit der Tiefe wird er etwas geringer und liegt konstant zwischen 47–67 M-%. Er variiert vor allem mit dem wechselnden Anteil der Fraktion $<0,02$ mm (Abb. 20). Die Proben mit hohem Feinanteil weisen höhere Wassergehalte auf und umgekehrt.

Der Tritiumgehalt von ausgepreßten Porenwässern der Bohrung 18 entspricht annähernd dem des Donauwassers zum Zeitpunkt der Sedimentation (D. RANK et al., 1987). Die steigenden Tritiumwerte und die mehr oder minder konstanten Wassergehalte mit der Tiefe lassen den Schluß zu, daß die Porenwässer zum Zeitpunkt der Sedimentation eingeschlossen wurden und seither nicht vertikal migrieren konnten. Das wird durch den Befund der geringen Durchlässigkeiten (s. Kap. 7.7., Abb. 27) des Sedimentes noch bekräftigt.

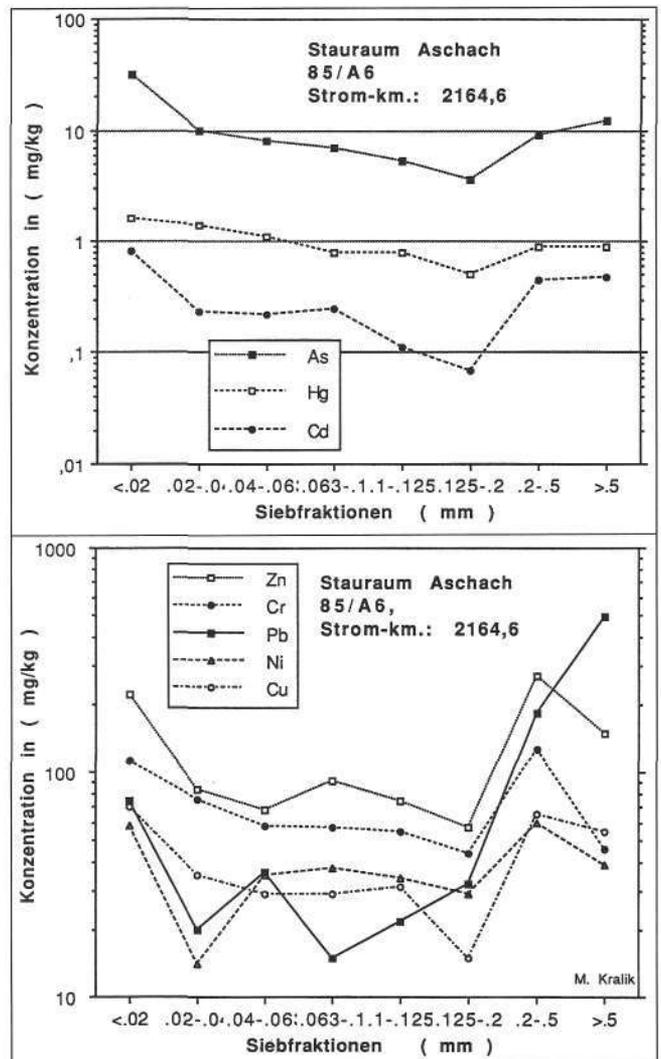


Abb. 13. Schwermetallgehalte in Abhängigkeit von der Korngröße (Probe 85/A6). Heavy metal contents of different size fractions (sample 85/A6).

Abb. 14.
Sequentielle Laugung (FÖRSTER/TESSIER) von Haupt- und Spurenelementen.
Die helleren Anteile sind relativ leicht mobilisierbar. Die dunklen Anteile sind mineralisch fest gebunden.
Sequential leaching (FÖRSTER/TESSIER) of main and trace elements.
Easily extractable fractions are shown in light symbols; stronger bound fractions in minerals are shown as dark symbols.

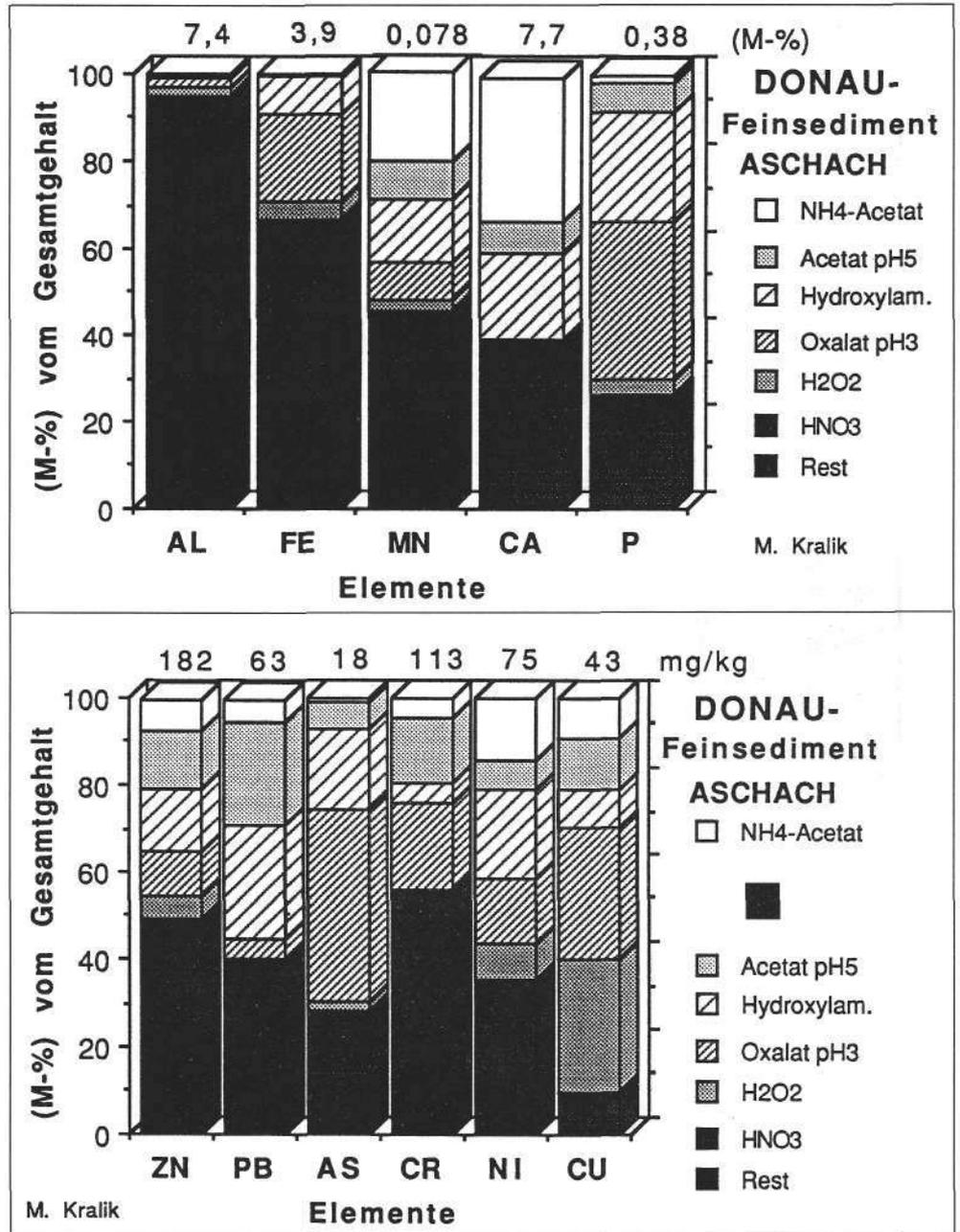
Ähnlich wie im Donauwasser ist die Häufigkeit der Ionen auch im Porenwasser $Ca \pm Mg \pm Na \pm K$ (E. SCHROLL, 1973). Zn, Pb, As und Cd im Porenwasser sind gegenüber dem Donauwasser erheblich und Hg etwas angereichert. Die Konzentration aller Ionen mit Ausnahme von Li ist im Porenwasser der Sedimente höher als der Durchschnitt von Flußwässern (K. TUREKIAN, 1969). Zn, Pb, Cd-Gehalte überschreiten die Richtlinien für Immissionen, As-Gehalte auch die der Emissionen.

6. Diskussion

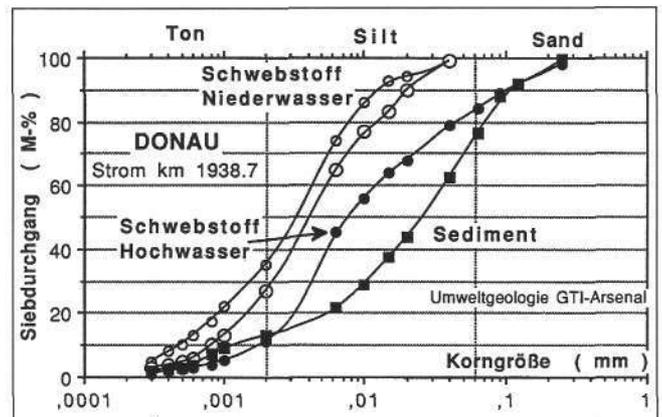
6.1. Sedimentäre Prozesse

Betrachtet man die Anlandungskubaturen per Stromkilometer der österreichischen Donaustrauräume in Abb. 1 so fällt die Sonderstellung des Staurumes Aschach sofort ins Auge. Dies läßt sich auch aus Abb. 3 mit einer durchschnittlichen Anlandungsrate von über 1 Mio. m³ bis 1975 zeigen. Ab 1975 bis 1989 hat sich die Anlandungsrate, die durch jährliche Profilaufnahmen der Wasserstraßendirektion erfaßt wird, auf eine durchschnittliche Rate von 0,6 Mio. m³ per Jahr etwas abgeschwächt. Die Differenz der durchschnittlichen Schweb-

Abb. 15.
Korngrößenverteilung von Niederwasser- (ufernah 2,3 mg/l, Strommitte 7,5 mg/l) und Hochwasserschwebstoffproben (130 mg/l uferrand) sowie des abgelagerten Feinsediments beim Einlaufbauwerk Neue Donau (M. KRALIK et al., 1990).
Die Korngrößenverteilung des Hochwasserschwebstoffes nähert sich der des abgelagerten Feinsediments an.
Grain-size distribution of suspended matter in low-water (2.3–7.5 mg/l; open circles) and high-water (130 mg/l; full circles), as well as from bottom sediments (black squares).



stofffrachten ($t/1,35 = m^3$), die täglich von der Wasserstraßendirektion gemessen werden, ergeben niedrigere Anlandungsvolumina als die Sohlenaufnahmen. Dies ist insbesondere markant nach den Hochwässern 1981



und 1985. Entweder ist die bestimmte Lagerungsdichte von 1,35 t/m³ zu hoch, oder der Sedimentbeitrag der lokalen Zuflüsse in den Stauraum, der in der Differenz der Schwebstofffrachten nicht berücksichtigt wird, ist für die fehlenden Sedimentmengen verantwortlich (Abb. 3).

Das überproportionale Wachstum der Anlandungen des keineswegs ältesten Stauraumes Aschach (1964; Jochenstein 1953; Ybbs-Persenbeug 1959) hat einerseits durch die überdurchschnittliche Höhe des Aufstaus (15,3 m) und der damit verringerten Fließgeschwindigkeit des Mittelwassers von 1,9 m/Sek. auf 0,44 m/Sek, aber auch mit dem alpinen Einzugsgebiet zu tun. Die exponentielle Zunahme der Schwebstofffracht zur Abflußspende ist hinlänglich bekannt (O. GRUBER, 1978).

Die Sedimentation in den Monaten Mai bis August, die mit der Schneeschmelze in den Alpen zusammenfällt, ist ein wichtiger Hinweis für die Herkunft des überwiegenden Teiles der Stauraumsedimente. Die Ausreißer der Boxplotdarstellung in Abb. 5 deuten darauf hin, daß in den Jahren mit extremen Abflußmengen größere Mengen erodiert und abtransportiert werden als während der Hochwässer 1981 und 1985 (s. auch Abb. 3.). Daß dies nur ungefähre Nettobilanzen sind und es aufgrund der Strömungsgeometrie und der daraus folgenden unsymmetrischen Anlandungen (Abb. 2, 4) zu einem komplizierten System von Erosion und Deposition innerhalb des Stauraumes kommt, hat H. PRAZAN (1990) kürzlich eingehend beschrieben.

Die häufige Erosion im Monat März läßt sich als Erosion der in den Wintermonaten abgelagerten Sedimente während der erhöhten Wasserführung durch die Schneeschmelze in den Tallagen interpretieren. Dies ist umso wahrscheinlicher, als nach H. POSTMA (1967) konsolidierter Silt erst bei Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/Sek. erodiert wird. Das oberste frisch abgelagerte Sediment ist jedoch mit Wassergehalten von 80–90 % bereits bei leicht erhöhten Fließgeschwindigkeiten von 0,5 m/Sek. erodierbar. Diese dünnen dunkleren Lagen mit erhöhtem Ton- und organischen Anteil sind nur selten erhalten (Abb. 7).

In diesem Sinne sind auch die Dünnschliffbeobachtungen (Abb. 9) zu interpretieren, die im mm Bereich über einer Erosionsmorphologie die Ablagerung einer Feinsandlage anzeigt, über der eine sandig-siltige Feinsedimentation folgt.

Typisch hingegen sind jedoch homogene Siltablagerungen (Abb. 7), die beim Abklingen der Hochwasserwelle relativ schnell abgelagert werden. So wurde das natürlich produzierte Radionuklid ⁷Be (53,3 d Halbwertszeit), das aus der Atmosphäre ausgewaschen wird und in die Gewässer gelangt, in der Bohrung 15 im Oktober 1985 bis zu einer Tiefe von 1 m gefunden, was auf eine dementsprechende Sedimentationsrate nach dem Hochwasser hindeutet (D. RANK, 1987). Ebenso wurden viele lebende Würmer (*Limnortilus*) und Muscheln (*Pisidium*), in den Bohrungen 5,6,9,15 und 18 bis in die ungewöhnliche Tiefe von 1 m gefunden. Ebenso läßt sich rein rechnerisch aus der Sedimentationsmächtigkeit von 16 m am Bohrpunkt 18, die in den 22 Betriebsjahren bis 1986 abgelagert wurde, eine durchschnittliche maximale Sedimentationsrate von 78 cm/a ermitteln.

Diese schnelle Sedimentation von 0,5–2,0 m während ein paar Tage erhöhter Wasser- und Schwebstoffführung läßt sich auch aus den Sohlenaufnahmen am Bohrpunkt 18 zwischen April und August 1977 bzw. März und August 1981 erkennen (Abb. 4). Dies sind zwar Jahre mit überdurchschnittlicher Hochwasserführung, aber der Sedi-

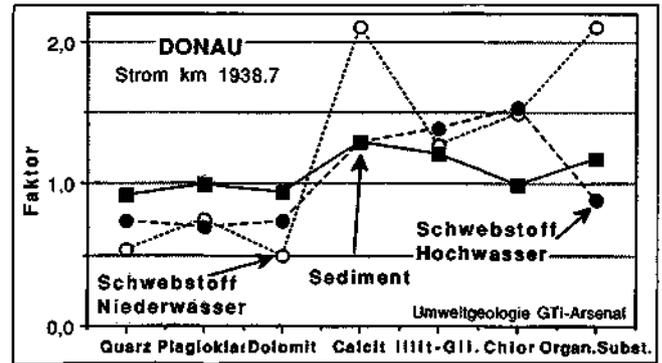


Abb. 16 Mineralphasen der Schwebstoffe und des abgelagerten Feinsediments normalisiert auf die durchschnittliche Zusammensetzung der Donaufeinsedimente um Wien (M. KRALIK & M. SAGER 1986a). In den Niederwasserschwebstoffen sind insbesondere Calcit und Org. Substanz angereichert bzw. Quarz und Dolomit sind abgereichert. Die Mineralzusammensetzung im Hochwasserschwebstoff nähert sich der des Feinsediments an (M. KRALIK et al., 1990). Mineral and organic matter content of suspended matter normalized to the mean Danube sediment composition in the Vienna area (M. KRALIK & M. SAGER 1986a). The low water samples (open circles) are enriched in calcite and organic matter and are depleted in quartz and dolomite. The high water sample approaches the bottom sediment composition).

mentationsmechanismus dürfte in abgeschwächter Form für die übrigen Jahre gelten.

Diese Änderung des Sedimentationsmechanismus, der in der Abb. 5 die schnelle Sedimentation bei Schneeschmelzeereignissen, normalerweise im Zeitraum von Mai bis August, von der langsamen Sedimentation während des Restes des Jahres unterscheidet, läßt sich auch aus den Schwebstoffuntersuchungen flußabwärts bei Wien erhärten. Der Schwebstoff während des Niederwassers im September ist kleiner als 40 µm, und enthält gegenüber dem abgesetzten Sediment höhere Anteile an Calcit, Organischer Substanz (Abb. 16) und höhere Spurenelementgehalte von Zn, Cu, Pb und Cd (Abb. 17). Der Hochwasserschwebstoff im August nähert sich in seiner Zusammensetzung weitgehend dem des abgelagerten Sediments an (M. KRALIK et al., 1990).

Diese Ergebnisse legen auch eine Änderung des Erosionsmechanismus in den Einzugsgebieten nahe. Während normaler Niederschlagsverhältnisse werden punktförmig Ufer erodiert und Böden oberflächlich abge-

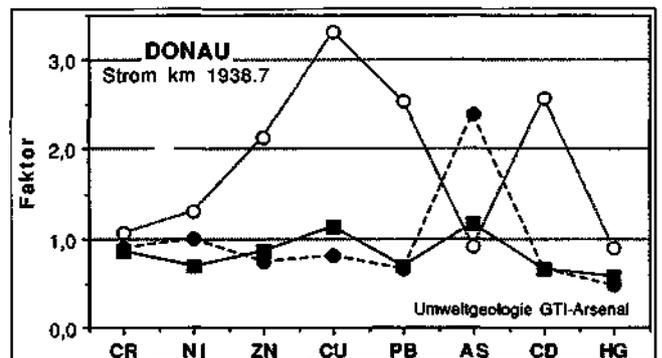


Abb. 17. Gehalte der Schwermetalle normalisiert auf den durchschnittlichen Anteil in den Donaufeinsedimenten um Wien (M. KRALIK & M. SAGER 1986a). Zn, Cu, Pb und Cd sind im Niederwasserschwebstoff angereichert. Der Schwermetallgehalt des Hochwasserschwebstoffes nähert sich mit Ausnahme von As dem des Feinsediments an. Heavy metal composition normalized to the mean Danube sediment composition in the Vienna area (M. KRALIK & M. SAGER 1986a). The low water samples (open circles) are enriched in Zn, Cu, Pb and Cd. The high water sample approaches the bottom sediment composition).

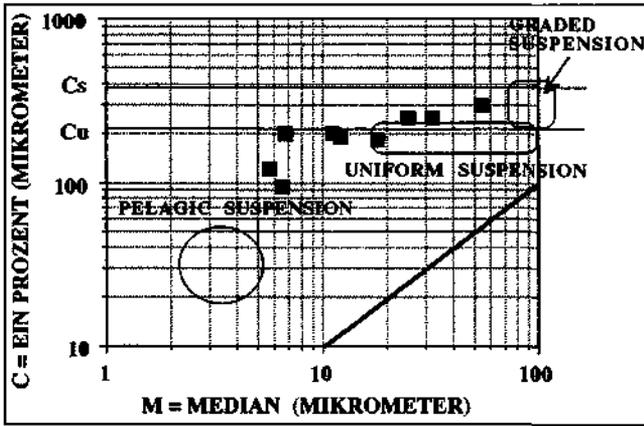


Abb. 18. Die sehr feinkörnigen Donausedimente sind nach dem C-M-Diagramm (R. PASSEGA and R. BYRAMJEE, 1969) aus "uniform suspension" abgelagert worden.
The very fine grained Danube sediments are according the C-M diagram deposits from uniform suspension.

schwemmt. Zu Zeiten der Schneeschmelze wird Boden intensiv wassergesättigt und besonders alpine Gebiete mit geringer Vegetation werden flächenmäßig erodiert. Diese Feinsedimente wurden in einer ungestauten regulierten Donau in Donauauen und Überflutungsflächen als Art „overbank sediments“ (R.T. OTTESEN, et al., 1989) abgesetzt. Die mineralogische und chemische Zusammensetzung des Feinsediments ist daher ein Querschnitt aus den bevorzugt erodierten alpinen Herkunftsgebieten.

6.2. Physikalische Parameter, Mineralogie und Hauptelemente

Die Untersuchung der Korngrößenverteilung der Donausedimente vor den Staumauern der österreichischen Donaukraftwerke zeigt stromabwärts eine Abnahme des Feinsandanteils von 22 auf 6 % (M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986b). Ein relativ hoher mittlerer Feinsandanteil wird von den Sedimenten 2 km vor der Staumauer des Kraftwerkes Altenwörth (km 1982,2) mit 23,4 M-% beschrieben. Der Tonanteil mit 23,1 M-% (H. MÜLLER et al., 1989) entspricht dem generellen Trend der Tonanteilzunahme, die im Kraftwerk Greifenstein fast 30 M-% (unpubl. Daten) beträgt.

Der höhere Quarz-, Plagioklas- und Dolomitgehalt in den Donausedimenten der freien Fließstrecke um Wien (M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986a), verglichen mit den Werten im Stauraum Aschach, dürften auf das Vorherrschen eines gröberen Kornanteils und damit verbundenen Verschiebung der Mineralzusammensetzung zurückzuführen sein.

F. KAPPEL et al. (1985) finden eine ähnliche mineralogische Zusammensetzung für ihre Aschacher Feinsedimentprobe wie in dieser Arbeit. Stromabwärts finden sie in den Stauraumsiltproben eine Abnahme des Dolomitanteils (16 auf 9 M-%) und eine Zunahme des organischen Anteils (3,9 auf 6,5 M-%). Das entspricht auch dem internen Mineralverteilungstrend der Aschacher Feinsedimente. H. MÜLLER et al. (1989) finden jedoch in ihrer Bohrung 5 (n = 15) eine markant andere Mineralzusammensetzung mit wesentlich höherem Schichtsilikat- (49 M-%) und Dolomitanteil (18 M-%) und geringerem Quarz- (14 M-%) und Chloritgehalt (6 M-%).

Die dominierenden Schwerminerale Hornblende, Granat und Opake dürften ähnlich wie im Kamp (H. STATTEGGER, 1986) überwiegend aus den lokalen Gesteinen der

Böhmischen Masse stammen, die den Stauraum Aschach umgeben. Ein Ferntransport der relativ groben Schwermineralfraktionen (0,09–0,125 u. 0,125–0,25 mm) über Staufstufen hinweg wird nur für einen geringen Anteil als zutreffend erachtet.

Im Vergleich zu den Donaufeinsedimenten (<100 µm) im Raum Wien (M. KRÁLIK & M. SAGER, 1986a) sind die Gehalte an Al, Fe, Mn, Ca, K und P etwas höher und nur die Gehalte an Mg und H₂O (105°C) sind etwas niedriger. Das ist vermutlich, wie schon bei der Mineralogie erwähnt, auf die Abreicherung des Illits, Chlorits und Calcits und auf die Anreicherung des Dolomits in der leicht gröberen Korngrößenverteilung (Median 18 µm) in den Feinsedimenten der freien Fließstrecke um Wien zurückzuführen. Der Durchschnitt der 37 analysierten Hauptelemente, insbesondere nach der Korrektur der Karbonate, ist gut vergleichbar mit durchschnittlichen Tongesteingehalten (K. TUREKIAN & K. WEDEPOHL, 1961) und den häufigsten Werten der alpinen Zentralzone (Tirol, Salzburg; Geochemischer Atlas, 1990, Tab. 2). Die erhöhten Werte von Mn, P und N sind typisch für anthropogen beeinflusste Flußsedimente. Der Schwefel ist, wie für Süßwassersedimente zu erwarten, relativ niedrig.

Das Fe korreliert nur mit dem Chlorit und vielleicht mit Dolomit (Fe/Si) signifikant (Tab. 4). Die sequentielle Laugung zeigt, daß vermutlich Dolomit-Fe im 3. Hydroxylamin- und bereits Chlorit-Fe im 4. Oxalatschritt gelöst wird. Es ist unwahrscheinlich, daß mehr als 4 % des Aluminiums als Al-(Hydr)oxid im Sediment vorliegt. Es spricht mehr dafür, daß im Oxalatschritt bereits feinkörniger Fe-Chlorit gelöst wird (F. RAPIN & U. FÖRSTNER, 1983). Im 7. HNO₃-Schritt wird jedoch sicher 30–40 % des Chlorits, vielleicht auch etwas Biotit, gelöst (Abb. 14). Der Anteil des Fe aus Fe-(Hydr)oxiden kann demnach als gering angesehen werden.

Vermutlich ist in diesen feinkörnigen Sedimenten relativ viel leichtlöslicher (biogener?) Calcit vorhanden, der bereits im 1. NH₄-Acetat Schritt sich löst. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von M. SAGER et al. (1990) löst sich ein erheblicher Anteil des Dolomit-Ca erst im 7. HNO₃-Schritt.

Mn korreliert mit keiner mineralogischen Phase signifikant. Bedingte Korrelationen sind mit Calcit (Mn/Si) und Illit-Glimmer (Mn/Ca) wahrscheinlich. Der Hauptanteil des Calcits wird in den ersten beiden und der des Illit-Glimmers in den letzten beiden Laugungsschritten gelöst.

Der Mn-Anteil, der im 3. Hydroxylamin- (15 %) und im 4. Oxalat-Schritt (9 %) gelöst wird, dürfte größtenteils aus Mn-(Hydr)oxiden stammen. Das entspricht auch der angestrebten spezifischen Lösungskapazität der Reagenzien (U. FÖRSTNER & W. CALMANO, 1982).

P korreliert signifikant mit der organischen Substanz. Das Laugungsmuster mit dem Hauptanteil des P im 4. Oxalat- (37 %) und im 3. Hydroxylamin-Schritt (24 %) entspricht den Ergebnissen von reiner Huminsäure (M. SAGER et al., 1990). Der HNO₃-lösliche P dürfte zu einem wesentlichen Teil im Apatit vorhanden sein (Abb. 12).

6.3. Spurenelemente und Bleisotope

Am markantesten sind die signifikanten Korrelationen von Cr, Cu und Zn mit dem organischen Anteil bestimmt durch 360°C Glühverlust. Im Laugungsschema ist der für P charakteristische 4. Oxalat-Schritt für die Elemente Cr und Cu für den leicht laugbaren Anteil dominierend. Dies ist nicht so für Zn.

Tabelle 4.

Korrelationskoeffizienten der analysierten Parameter der Donaueinsedimente des Staurauamtes Aschach.

Die Proben 86/A86 (Sediment vor Aufstau) und 85/A15.1 (10 cm organisch reiche schwarze Lage) sind in diese Berechnungen nicht einbezogen.

	Name	Quarz	Feldsp.	Dolomit	Calcit	Ill-Gli	Chlorit	Org. Mat.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe/Si	Fe/Al	MnO	Mn/Si	Mn/Al	Mn/Fe	Mn/Ca	CaO	MgO	K ₂ O
1	Quarz	1.00	.18	.02	-.31	.10	-.37	-.23	.63	.03	-.38	-.53	-.34	-.05	-.20	-.08	.10	.08	-.32	-.63	-.20
2	Feldsp.	.18	1.00	.26	-.37	-.45	-.13	-.42	.25	-.41	-.14	-.20	.12	-.22	-.28	-.09	-.10	-.20	.03	-.18	-.06
3	Dolomit	.02	.26	1.00	-.20	-.47	.11	-.36	-.16	-.45	.26	.26	.49	-.43	-.38	-.28	-.43	-.44	.20	.37	.32
4	Calcit	-.31	-.37	-.20	1.00	-.17	-.44	.54	-.41	.06	-.18	.01	-.20	.35	.43	.34	.34	.16	.39	.09	-.40
5	Ill-Gli	.10	-.45	-.47	-.17	1.00	.13	.11	.35	.81	.08	-.07	-.40	.29	.20	.02	.19	.52	-.69	-.26	.18
6	Chlorit	-.37	-.13	.11	-.44	.13	1.00	-.27	-.30	.03	.73	.68	.61	-.31	-.23	-.32	-.52	-.29	.01	.54	.70
7	Org. Mat.	-.23	-.42	-.36	.54	.11	-.27	1.00	-.35	.08	-.13	.03	-.17	.43	.48	.41	.39	.31	.16	-.26	-.28
8	SiO ₂	.63	.25	-.16	-.41	.35	-.30	-.35	1.00	.33	-.46	-.72	-.56	-.05	-.27	-.17	.12	.25	-.73	-.60	-.16
9	Al ₂ O ₃	.03	-.41	-.45	.06	.81	.03	.08	.33	1.00	.06	-.08	-.53	.26	.17	-.08	.16	.48	-.65	-.30	.11
10	Fe ₂ O ₃	-.38	-.14	.26	-.18	.08	.73	-.13	-.46	.06	1.00	.95	.82	-.31	-.21	-.34	-.63	-.30	.09	.56	.87
11	Fe/Si	-.53	-.20	.26	.01	-.07	.68	.03	-.72	-.08	.95	1.00	.84	-.23	-.07	-.21	-.53	-.32	.33	.65	.74
12	Fe/Al	-.34	.12	.49	-.20	-.40	.61	-.17	-.56	-.53	.82	.84	1.00	-.41	-.27	-.24	-.62	-.52	.44	.65	.68
13	MnO	-.05	-.22	-.43	.35	.29	-.31	.43	-.05	.26	-.31	-.23	-.41	1.00	.97	.94	.93	.92	-.10	-.21	-.41
14	Mn/Si	-.20	-.28	-.38	.43	.20	-.23	.48	-.27	.17	-.21	-.07	-.27	.97	1.00	.95	.88	.83	.08	-.06	-.37
15	Mn/Al	-.08	-.09	-.28	.34	.02	-.32	.41	-.17	-.08	-.34	-.21	-.24	.94	.95	1.00	.91	.78	.12	-.10	-.46
16	Mn/Fe	.10	-.10	-.43	.34	.19	-.52	.39	.12	.16	-.63	-.53	-.62	.93	.88	.91	1.00	.66	-.10	-.37	-.65
17	Mn/Ca	.08	-.20	-.44	.16	.52	-.29	.31	.25	.48	-.30	-.32	-.52	.92	.83	.78	.86	1.00	-.47	-.33	-.28
18	CaO	-.32	.03	.20	.39	-.69	.01	.16	-.73	-.65	.09	.33	.44	-.10	.08	.12	-.10	-.47	1.00	.35	-.18
19	MgO	-.63	-.18	.37	.09	-.26	.54	-.26	-.60	-.30	.56	.65	.65	-.21	-.06	-.10	-.37	-.33	.35	1.00	.45
20	K ₂ O	-.20	-.06	.32	-.40	.18	.70	-.28	-.16	.11	.87	.74	.68	-.41	-.37	-.46	-.65	-.28	-.18	.45	1.00
21	Na ₂ O	.24	.53	.36	-.53	-.20	.24	-.67	.35	-.19	.10	-.04	.20	-.38	-.45	-.33	-.33	-.28	-.11	.08	.36
22	P ₂ O ₅	.06	-.13	-.06	.15	.04	-.01	.52	-.12	-.14	.02	.06	.09	.49	.49	.56	.41	.39	.12	-.21	-.09
23	105o	-.13	-.41	-.37	.32	.17	-.19	.72	-.02	.28	-.06	-.04	-.22	.34	.33	.25	.28	.36	-.16	-.28	-.15
24	Ba	-.57	-.32	.14	.02	.14	.37	.30	-.32	-.08	.45	.47	.43	-.12	-.05	-.09	-.27	-.10	-.06	.43	.37
25	Sr	-.32	-.26	-.27	.31	.27	-.11	.10	.03	.22	-.25	-.21	-.33	.59	.57	.54	.56	.59	-.21	.20	-.32
26	Zr	.53	.34	-.12	-.20	.16	-.34	-.30	.60	.31	-.45	-.58	-.55	.25	.10	.14	.37	.39	-.43	-.53	-.32
27	V	-.38	-.41	-.05	-.09	.34	.41	.04	-.36	.24	.54	.55	.32	-.04	.03	-.12	-.24	-.02	-.06	.47	.39
28	Cr	-.18	-.44	-.20	.43	.26	-.14	.74	-.26	.19	.07	-.14	-.06	.54	.58	.50	.41	.46	.04	-.18	-.16
29	Ni	.34	-.12	-.27	.15	.41	-.27	.20	.23	.36	-.24	-.27	-.41	.58	.50	.46	.55	.66	-.36	-.35	-.23
30	Cu	-.27	-.35	-.45	.36	.13	-.05	.74	-.30	.02	.01	-.11	-.02	.49	.54	.50	.39	.37	.12	-.16	-.24
31	Zn	-.17	-.23	-.31	.58	.03	-.36	.79	-.23	.05	-.11	-.01	-.13	.44	.48	.44	.40	.32	.18	-.29	-.37
32	Pb	.05	-.12	-.32	.16	.37	-.20	.51	.02	.25	-.16	-.13	-.27	.73	.69	.65	.65	.73	-.21	-.36	-.19
33	Fb	.28	-.06	-.37	.17	.48	-.30	.27	.33	.54	-.27	-.33	-.54	.67	.56	.50	.65	.79	-.47	-.50	-.22
34	<20 µ	-.30	-.47	-.20	.31	.18	.27	.39	-.29	.25	.25	.31	.06	.19	.25	.11	.06	.19	-.07	.19	.26
35	20-63 µ	.16	.35	.10	-.11	-.24	-.23	-.30	.16	-.21	-.28	-.28	-.11	-.18	-.20	-.11	-.04	-.24	.20	-.14	-.33
36	63-250 µ	.32	.42	.24	-.42	-.05	-.19	-.34	.32	-.21	-.11	-.21	.04	-.12	-.19	-.05	-.04	-.05	-.09	-.15	-.08
37	Strom-km	.13	.26	.36	-.16	-.46	.19	-.22	-.03	-.33	.16	.13	.32	-.43	-.41	-.34	-.40	-.47	.28	-.07	.21
38	Teufe (m)	-.29	-.40	-.35	.55	.20	-.24	.49	-.35	.22	-.12	.02	-.24	.16	.23	.10	.15	.04	.23	-.02	-.41

Tabelle 4 (Fortsetzung).

	Na2O	Namen	P2O5	105o	Ba	Sr	Zr	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Fb	<20μ	20-63μ	63-250μ	Strom-km	Teufe (m)
1	.24	Quarz	.08	-.13	-.57	-.32	.53	-.38	-.18	.34	-.27	-.17	.05	.28	-.30	.16	.32	.13	-.29
2	.53	Feldsp.	-.13	-.41	-.32	-.26	.34	-.41	-.44	-.12	-.35	-.23	-.12	-.06	-.47	.35	.42	.26	-.40
3	.36	Dolomit	-.06	-.37	.14	-.27	-.12	-.05	-.20	-.27	-.45	-.31	-.32	-.37	-.20	.10	.24	.36	-.35
4	-.53	Calcit	.15	.32	.02	.31	-.20	-.09	.43	.15	.36	.58	.16	.17	.31	-.11	-.42	-.18	.55
5	-.20	Ill-Gli	.04	.17	.14	.27	.16	.34	.26	.41	.13	.03	.37	.48	.18	-.24	-.05	-.46	.20
6	.24	Chlorit	-.01	-.19	.37	-.11	-.34	.41	-.14	-.27	-.05	-.36	-.20	-.30	.27	-.23	-.19	.19	-.24
7	-.67	Org. Mat.	.52	.72	.30	.10	-.30	.04	.74	.20	.74	.79	.51	.27	.39	-.30	-.34	-.22	.49
8	.35	SiO2	-.12	-.02	-.32	.03	.60	-.36	-.26	.23	-.30	-.23	.02	.33	-.29	.16	.32	-.03	-.35
9	-.19	Al2O3	-.14	.28	-.08	.22	.31	.24	.19	.36	.02	.05	.25	.54	.25	-.21	-.21	-.33	.22
10	.10	Fe2O3t	.02	-.06	.45	-.25	-.45	.54	.07	-.24	.01	-.11	-.16	-.27	.25	-.28	-.11	.16	-.12
11	-.04	Fe/Si	.06	-.04	.47	-.21	-.58	.55	.14	-.27	.11	-.01	-.13	-.33	.31	-.28	-.21	.13	.02
12	.20	Fe/Al	.09	-.22	.43	-.33	-.55	.32	-.06	-.41	-.02	-.13	-.27	-.54	.06	-.11	.04	.32	-.24
13	-.38	MnO	.49	.34	-.12	.59	.25	-.04	.54	.58	.49	.44	.73	.67	.19	-.18	-.12	-.43	.16
14	-.45	Mn/Si	.49	.33	-.05	.57	.10	.03	.58	.50	.54	.48	.69	.56	.25	-.20	-.19	-.41	.23
15	-.33	Mn/Al	.56	.25	-.09	.54	.14	-.12	.50	.46	.50	.44	.65	.50	.11	-.11	-.05	-.34	.10
16	-.33	Mn/Fe	.41	.28	-.27	.56	.37	-.24	.41	.55	.39	.40	.65	.65	.06	-.04	-.04	-.40	.15
17	-.28	Mn/Ca	.39	.36	-.10	.59	.39	-.02	.46	.66	.37	.32	.73	.79	.19	-.24	-.05	-.47	.04
18	-.11	CaO	.12	-.16	-.06	-.21	-.43	-.06	.04	-.36	.12	.18	-.21	-.47	-.07	.20	-.09	.28	.23
19	.08	MgO	-.21	-.28	.43	.20	-.53	.47	-.18	-.35	-.16	-.29	-.36	-.50	.19	-.14	-.15	-.07	-.02
20	.36	K2O	-.09	-.15	.37	-.32	-.32	.39	-.16	-.23	-.24	-.37	-.19	-.22	.26	-.33	-.08	.21	-.41
21	1.00	Na2O	-.12	-.58	-.29	-.40	.33	-.24	-.51	-.24	-.62	-.64	-.31	-.06	-.22	.09	.29	.44	-.71
22	-.12	P2O5	1.00	.28	.14	.01	-.16	-.20	.71	.24	.56	.57	.53	.39	.18	-.18	-.10	.13	-.11
23	-.58	105o	.28	1.00	.27	.08	-.18	.13	.56	.21	.58	.58	.28	.23	.41	-.34	-.33	-.27	.24
24	-.29	Ba	.14	.27	1.00	.18	-.60	.53	.38	-.31	.37	.25	-.01	-.33	.18	-.21	-.07	-.19	.27
25	-.40	Sr	.01	.08	.18	1.00	.15	.16	.17	.38	.26	.23	.39	.32	-.04	.06	.01	-.54	.30
26	.93	Zr	-.16	-.18	-.60	.15	1.00	-.33	-.25	.46	-.22	-.21	.17	.59	-.35	.27	.32	.08	-.21
27	-.24	V	-.20	.13	.53	.16	-.33	1.00	.08	-.07	.13	-.07	-.01	-.16	.15	-.30	.06	-.45	.30
28	-.51	Cr	.71	.56	.38	.17	-.25	.08	1.00	.22	.72	.80	.54	.32	.20	-.21	-.11	-.20	.39
29	-.24	Ni	.24	.21	-.31	.38	.46	-.07	.22	1.00	.28	.21	.50	.73	.20	-.21	-.10	-.37	.05
30	-.62	Cu	.56	.58	.37	.26	-.22	.13	.72	.28	1.00	.78	.41	.23	.29	-.17	-.29	-.22	.44
31	-.64	Zn	.57	.58	.25	.23	-.21	-.07	.80	.21	.78	1.00	.46	.28	.08	-.01	-.12	-.23	.53
32	-.31	Pb	.53	.26	-.01	.39	.17	-.01	.54	.50	.41	.46	1.00	.58	.13	-.25	.04	-.28	.15
33	-.06	Fb	.39	.23	-.33	.32	.59	-.16	.32	.73	.23	.28	.58	1.00	.20	-.27	-.05	-.23	-.07
34	-.22	<20 μ	.18	.41	.18	-.04	-.35	.15	.20	.20	.29	.08	.13	.20	1.00	-.83	-.81	-.14	-.01
35	.09	20-63 μ	-.18	-.34	-.21	.06	.27	-.30	-.21	-.21	-.17	-.01	-.25	-.27	-.83	1.00	.34	.24	.15
36	.29	63-250 μ	-.10	-.33	-.07	.01	.32	.06	-.11	-.10	-.29	-.12	.04	-.05	-.81	.34	1.00	-.02	-.16
37	.44	Strom-km	.13	-.27	-.19	-.54	.08	-.45	-.20	-.37	-.22	-.23	-.28	-.23	-.14	.24	-.02	1.00	-.48
38	-.71	Teufe (m)	-.11	.24	.27	.30	-.21	.30	.39	.05	.44	.53	.15	-.07	-.01	.15	-.16	-.48	1.00

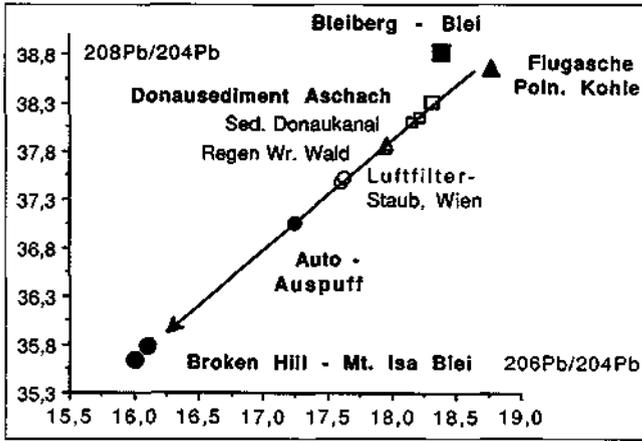


Abb. 19. Bleiisotopenmessungen vom Aschacher Feinsediment (85/A1) und anderen Umweltproben (V. KÖPPEL, M. KRÁLIK & E. SCHROLL 1990) deuten auf 5–25 M-% „Benzinblei“ hin. Das dem Benzin als Klopfmittel zugefügte Blei dürfte aus den australischen Lagerstätten Broken Hill und/oder Mt. Isa stammen.
Lead isotope measurements from the Aschach fine sediment (85/A1) and other samples (V. KÖPPEL, M. KRÁLIK & E. SCHROLL 1990) indicate a contribution of 5–25 M-% of „petrol-lead“. The lead isotopes support as main source the mineral deposits of Broken Hill and/or Mt. Isa (Australia).

Pb und Ni korrelieren signifikant mit Mn. Im Laugungsschema ist der für Mn charakteristische 3. Hydroxylamin-Schritt bei letzteren Elementen für den leicht laugbaren Anteil wesentlich.

Signifikante Korrelationen zwischen V-Chlorit, Ni-III-Illit-Glimmer (Biotit) und Rb-III-Illit-Glimmer bilden einen wahr-

scheinlichen natürlichen Beitrag dieser Spurenelemente in den Aschachsedimenten.

Auch aus geochemischen Gründen ist es wahrscheinlich, daß der Großteil der Stauraumsedimente aus der alpinen Zentralzone über Salzach und Inn antransportiert wurden, da ein erheblicher Beitrag aus der Böhmisches Masse sich in einem höheren Ce- (200 mg/kg), La- (100), Y- (70 mg/kg), Zr-Gehalt (530 mg/kg) und in einem wesentlich niedrigeren Co- (7,0 mg/kg), Fe₂O₃ - (3,4 M-%), MgO- (0,83 M-%) und V-Gehalt (46 mg/kg) ausdrücken müßte (Geochemischer Atlas Österreich, 1990).

Der quantitative Beitrag des Schwebstofftransportes zu den Stauraumfeinsedimenten aus dem Süddeutschen Raum ist ungeklärt. Der Geochemische Atlas Deutschland (1985) läßt keinen direkten Schluß zu. Erstens sind die untersuchten Kornfraktionen (<2 mm) wesentlich grobkörniger und zweitens sind die Durchschnittswerte der analysierten Elemente aus dem Donaauraum zwar etwas geringer, aber ansonsten denen der Zentralalpinen Zone durchaus ähnlich.

Gleichfalls sind die feinkörnigen Stauraumsedimente Aschach (<100 µm) nicht unmittelbar mit den größeren Bachsedimentfraktionen (<180 µm) des Geochemischen Atlas Österreich (1990) vergleichbar, doch sollten sich trotz Korngrößenbedingter Verschiebungen der Mineralphasenzusammensetzung, ein markanter Beitrag der umliegenden Böhmisches Masse entdeckt werden können.

Blei-Isotope werden neuerdings eingesetzt, um den Einfluß des aus Treibstoffen stammenden Bleis zu identifizieren. Erste Isotopenmessungen (V. KÖPPEL, M. KRÁLIK & E. SCHROLL, 1990) deuten darauf hin, daß das dem Treibstoff hinzugefügte Pb in Wien und im Südbayrischen Raum aus den australischen Lagerstätten Broken-Hill und/oder Mt. Isa stammt. Das natürliche und technologisch verwendete Blei liegt vorwiegend im Bereich des Bleiberger Bleis und des Bleis der polnischen Kohle. Daraus läßt sich ablesen, daß die dazwischen liegenden Pb-Isotopenwerte der Donausedimente Aschach (85/A1) zwischen 5–25 M-% Treibstoffblei enthalten (Abb. 19).

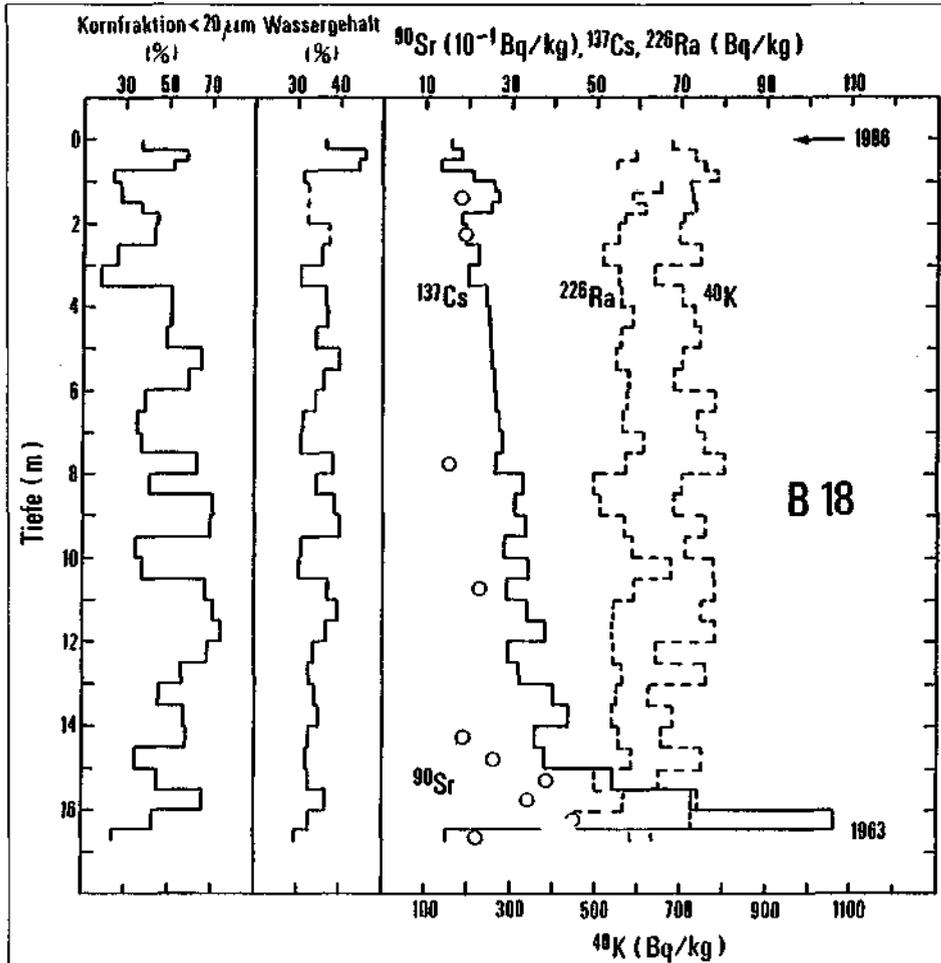


Abb. 20. Stauraum Aschach, Bohrung 18 (1986/04/22). Masseanteil der Kornfraktion <0,02 mm, Wassergehalt (% vom Gesamtgewicht), Sr-90, Cs-137, K-40 und Ra-226 Aktivität von der Korngröße Fraktion <0,02 mm mit der Tiefe (D. RANK, 1987).
Aschach reservoir, drill-hole 18 (1986/04/22). Content of the <0,02 mm, water content (% of total), Sr-90, Cs-137, K-40 and Ra-226 activity of the grain-size fraction <0,02 mm with depth (D. RANK, 1987).

6.4. Sedimentologisch-geochemische Trends (1963–1986)

Die Echolotmessungen des Stauraumes (Abb. 4) und die Tritiumdatierung des eingeschlossenen Porenwassers (D. RANK et al., 1987) ergeben eine gute Einstufung des Zeitpunktes der Sedimentablagerungen. Trotz der markanten Variation der einzelnen analysierten Parameter scheint ein Trend der kontinuierlichen Abnahme der Organischen Substanz und Calcits sowie einer Zunahme von Feinsand, Quarz und Feldspat im Sedimentpaket nach oben hin zu bestehen (Abb. 21). Ein ähnlicher Trend wurde z.B. auch im Ruhrstausee Baldeney (P. NEUMANN-MAHLKAU & H.T. NIEHAUS, 1984) beschrieben. Dies wird als Folge einer Kornvergrößerung infolge erhöhter Fließgeschwindigkeiten in einem sich durch Sedimentation verengenden Flußquerschnittes angesehen (s. Kap. 6.1.).

Ebenso zeigen die Schwermetalle Cr, Cu und Zn einen abnehmenden Trend in den Gesamtproben und für As und Hg in der Fraktion <20 µm (Abb. 22; M. KRÁLIK et al., 1991). Da diese Elemente jedoch signifikant mit dem Gehalt an organischer Substanz oder mit dem Mn-Gehalt korreliert, wurde eine Normalisierung auf diese Parameter versucht (Abb. 23). Auch wenn diese neuen Trends statistisch nicht hoch signifikant sind, so deuten sie auf eine gleichbleibende Belastung für Zn und einen leichten Anstieg im Cr hin. Dieses Ergebnis zeigt, daß Änderungen in der Matrix-

zusammensetzung sehr wohl Einflüsse auf die angelagerten Spurenelementgehalte haben können und daher für die Bewertung nicht außer Acht gelassen werden darf.

6.5. Zusammenhang zwischen den Parametern und Faktorenanalyse

Mit Ausnahme einer dünnen, an organischem Material reichen Lage (Bohrung 7, Probe 85/A15.1) und dem vor der Stauhaltung abgelagerten Flußsediment (Bohrung 18, Probe 86/A86) wurden alle Proben und alle gemessenen Variablen einer Faktorenanalyse unterzogen. Sechs Faktoren sind relativ gleich verteilt für über 89 % der Probenvarianz verantwortlich (Tabelle 5).

Faktor 1 dominiert bei hohen positiven Ladungen von MnO, Sr, Pb und Ni. Der Faktor wird als „Mn-(hydr)oxid-Faktor“ interpretiert. Das erscheint umso wahrscheinlicher, als die Ladung normiert auf Si und Al (Mn in Alumosilikaten unbedeutend!) etwas höher ist als normiert auf Fe oder Ca oder bloß die Ladung von MnO. Auf die wahrscheinliche Anlagerung von Pb und Ni an Mn-(hydr)oxide wurde bereits bei der sequentiellen Laugung hingewiesen.

Faktor 2 ist markant durch die positive Ladung von Chlorit, Fe₂O₃, MgO, K₂O und V. Generell kann man ihn als „Chlorit-Faktor“ deuten. Die hohe positive Ladung in Ka-

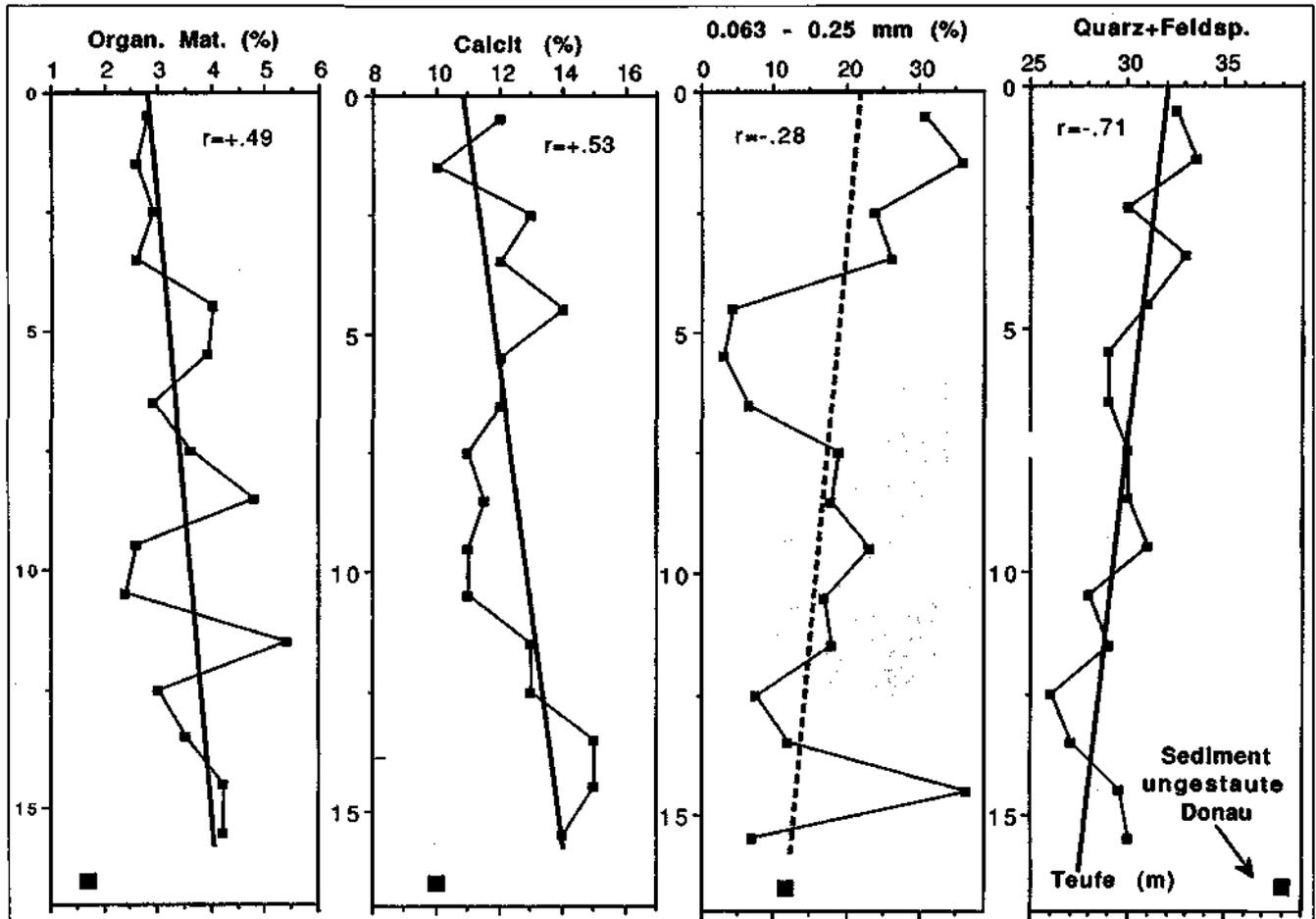


Abb. 21. Änderung des Mineralphasen- und des Feinsandgehaltes der 1 m Bohrkernproben mit der Tiefe in der Bohrung 18. Mit Ausnahme des Feinsandes nähern sich die Stauraumsedimente im Laufe der Zeit der Zusammensetzung vor dem Aufstau an. Selected changes in mineral composition and fine sand content in the 1 m samples in drill hole 18. With the exception of the fine sand content the sediments change with time in the direction of the "pre-dam" composition (black square).

Tabelle 5.
Ladungen von sechs rotierten Faktoren (Oblique solution primary pattern matrix-orthotran/varimax).
Faktorenanalyse der Donaueinseidimentdaten aus dem Stauraum Aschach.

	Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Kommunalität
1	Quarz	-.17	-.31	.14	.14	.24	.08	.80
2	Feldsp.	.08	-.17	-.31	.42	.36	-.20	.61
3	Dolomit	-.12	.30	-.51	.16	.16	-.14	.55
4	Calcit	.14	-.16	-.40	-.50	-.44	.08	.77
5	Illit-Glim.	.08	.10	.92	-.15	.07	.11	.90
6	Chlorit	-.07	.66	.25	.22	-.08	-.07	.84
7	Org. Mat.	-.06	-.08	-.03	-.12	-.23	.82	.91
8	H ₂ O-Geh.	.07	.33	-.36	.59	-.44	.26	.76
9	SiO ₂	-.19	-.67	.64	.39	.23	-.08	.94
10	Al ₂ O ₃	0	-.04	.83	-.29	-.19	-.06	.87
11	TiO ₂	-.36	.50	.25	.20	.07	.11	.77
12	Fe ₂ O ₃ t	-.14	.94	.03	-.03	-.02	.14	.92
13	Fe/Si	-.04	.97	-.22	-.15	-.11	.13	.96
14	Fe/Al	-.10	.82	-.45	.15	.10	.14	.94
15	MnO	.96	-.01	0	.03	-.02	.06	.97
16	Mn/Si	.97	.12	-.14	-.06	-.07	.07	.97
17	Mn/Al	.99	0	-.28	.13	.05	.08	.96
18	Mn/Fe	.85	-.36	-.04	.07	0	0	.97
19	Mn/Ca	.84	-.10	.31	.13	.02	.03	.96
20	CaO	.04	.27	-.84	-.26	-.06	.05	.91
21	MgO	.23	.60	-.42	-.16	-.19	-.48	.91
22	K ₂ O	-.19	.72	.16	.26	-.11	-.03	.89
23	Na ₂ O	.02	.03	-.06	.62	.08	-.43	.81
24	P ₂ O ₅	.33	.17	-.06	.54	.10	.81	.87
25	1050o	-.22	-.21	.23	-.03	-.28	.66	.70
26	1000o	.05	.19	-.28	-.02	-.36	.65	.78
27	Ba	-.24	.35	.20	.02	.14	.50	.87
28	Sr	.75	-.11	.17	-.23	.14	-.33	.87
29	Zr	.36	-.34	.27	.06	.25	-.37	.80
30	V	.03	.70	.20	-.51	.12	-.03	.79
31	Cr	.15	.21	.15	-.03	.14	.90	.86
32	Ni	.55	0	.15	-.18	-.05	-.07	.71
33	Cu	.13	.09	.12	-.07	.03	.78	.76
34	Zn	.02	-.05	-.02	-.17	.13	.87	.87
35	Pb	.65	.10	.13	.13	.16	.36	.72
36	Pb	.58	-.12	.31	.14	-.11	.06	.83
37	Y	-.27	.02	.09	-.51	.08	.16	.61
38	<20 µm	.01	.12	-.03	.08	-.95	0	.95
39	20-63 µm	-.09	-.25	.03	-.15	.87	-.03	.85
40	63-250 µm	.10	.08	.02	.04	.91	.04	.83
41	Strom-km	-.37	-.01	-.18	.50	-.05	.16	.79
42	Teufe (m)	-.18	.03	.08	-.90	.08	.30	.88
43	%Var/Fakt.	18.70	17.50	14.20	10.80	12.10	15.70	*

lium kann damit jedoch nicht erklärt werden. Vielleicht steckt in diesem von Eisen und Magnesium dominierten Faktor auch der röntgenographisch nicht erfassbare, kaliumhaltige Biotit.

Der Faktor 3 weist vorherrschend positive Ladungen von Illit-Glimmer, SiO₂, Al₂O₃ und eine negative Ladung von CaO auf. Er kann als „Illit-Glimmer-Faktor“ interpretiert werden.

Der Faktor 4 weist keine sehr dominanten Ladungen auf, könnte aber wegen der etwas höheren Ladung in Na₂O und Feldspat als „Feldspat-Faktor“ angesehen werden.

Der Faktor 5 wird als „Feinsand-Faktor“ (63 bis 250 µm) interpretiert, hat aber sonst keine dominanten Ladungen.

Der Faktor 6 ist eindeutig von den positiven Ladungen des organischen Materials, P₂O₅, Cr, Cu und Zn beherrscht.

Korrelationsmatrix und Faktorenanalyse weisen hier auf die Bindungsart von anthropogen eingetragenen Schwermetallen hin, die durch sorgfältige Phasen- und Elementanalyse als Ergänzung zu dem Ladungsschema herangezogen werden können. Dabei erweist sich die Quotientenbildung von Fe und Mn durch wichtige mineralbildende Elemente wie Si, Al und Ca als interessante Möglichkeit, Fe- und Mn-(hydr)oxide als Anlagerungsphasen zu erkennen. Das ist insbesondere dann ein möglicher Hinweis, wenn Elemente mit einem Quotienten (z.B. Mn/Ca und Ni) besser korrelieren als mit MnO.

Im Falle der Beziehung von Mn zu Ni und Pb wird dies durch den hohen Laugungsanteil im 3. Hydroxylaminschritt unterstrichen. Die bevorzugte Bindung des anthropogen hinzugefügten Cr, Cu und Zn an die organische Substanz ließ sich bereits aus der großen Mobilität des

Phosphors zusammen mit Cr und Cu im 4. Oxalat-Laugungsschritt vermuten, wird aber erst durch gute Korrelation und die hohe Faktorenladung sehr wahrscheinlich gemacht.

In Übereinstimmung mit P.G.C. CAMPBELL et al. (1988, Literaturübersicht) sind Ni, Pb am häufigsten an Fe/Mn-Oxide gebunden. Aber auch die Elemente Cr, Cu, Zn und As werden in ähnlichen Laugungsschemata am häufigsten von reduzierbaren Fe/Mn-Oxiden mobilisiert. Möglicherweise ist das auch auf die mangelnde Eignung der Laugungsschemata zurückzuführen, die spezifische Bindungen an organische Komponenten nicht sauber trennen können.

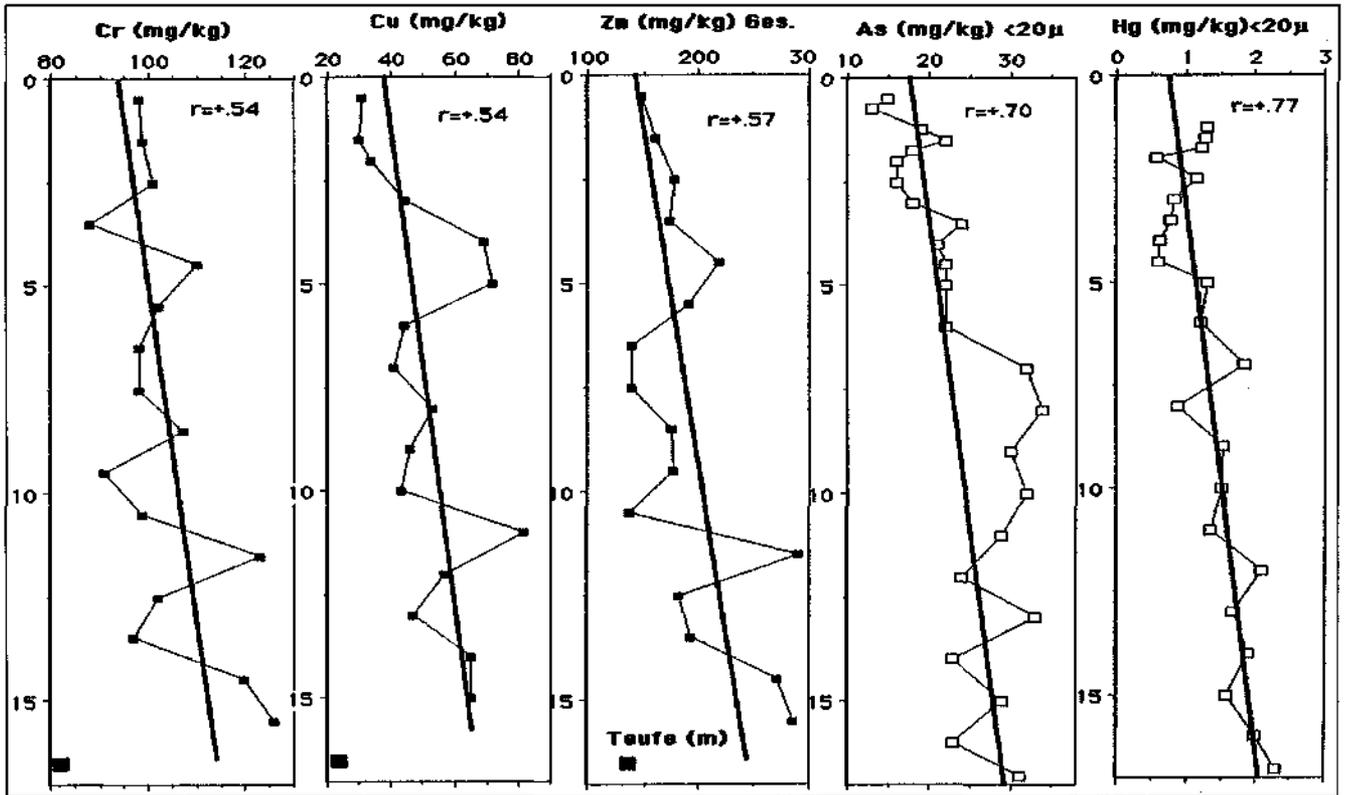


Abb. 22.
Abnahme von Cr, Cu, Zn in den Gesamtproben und As und Hg in den Fraktionen <20 μm in der Bohrung 18.
Decrease of Cr, Cu, Zn in the total samples and of As and Hg in the fractions <20 μm in the drill hole 18.

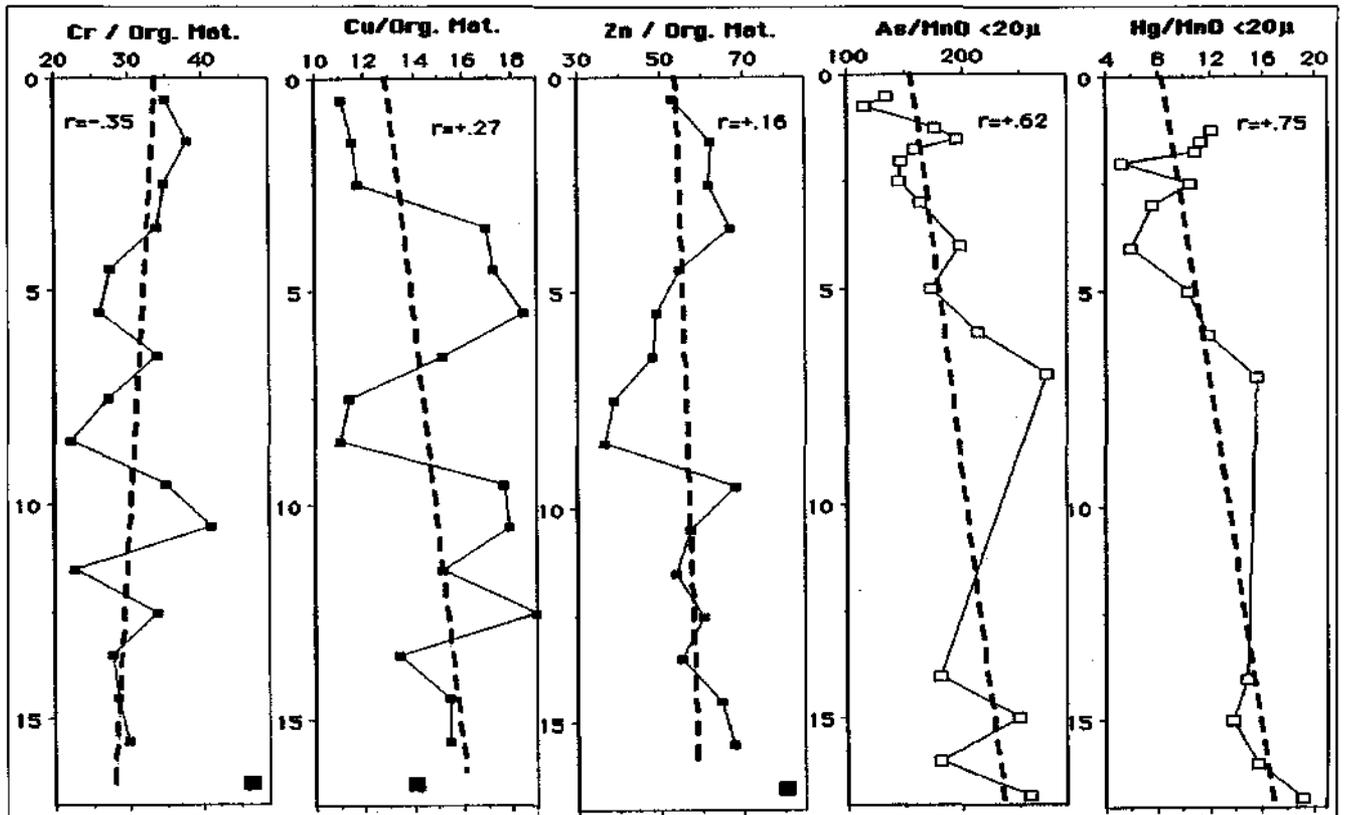


Abb. 23.
Normalisierung der Schwermetallgehalte auf org. Mat. und MnO bestätigen die Abnahme von Cu, As, Hg und deuten auf eine Zunahme von Cr sowie auf einen konstanten Eintrag von Zn mit der Zeit hin. Korrelationen weisen für anthropogen hinzugefügtes Cr, Cu und Zn organisches Material, für As und Hg MnO als dominierende Anlagerungsphasen aus (Tab. 4,5).
The normalized heavy metal compositions indicate a decrease in Cu, As, Hg, and an increase in Cr as well as a constant Zn-flux into the river. Correlation factors indicate that organic matter is the main scavenger substance for Cr, Cu and Zn, whereas Mn(hydr)oxides are the main scavenger substance for As and Hg.)

6.6. Bewertung der Schwermetallbelastung

Der Vergleich mit dem wahrscheinlichen dominierenden Herkunftsgebiet (Ostalpine Kristalline Zentralzone) ist nur mit dem karbonatfreien Donausediment sinnvoll. Das verursacht gewisse Unsicherheiten in der Bewertung besonders bei Elementen wie z.B. Cd oder Zn. Diese Bewertung durch den Geo-Index weist trotz der enormen Verdünnung durch die hochalpine Erosion bei der Schneeschmelze die mäßige Belastung mit Cr, Ni, Zn, Cu, Pb und As durch menschliche Aktivitäten nach. Dies wurde bereits durch die signifikanten Korrelationen mit organischem Material und Mn-Oxid sowie der hohen, leicht mobilisierbaren Anteile unterstrichen.

Betrachtet man die letzten 5 km (Stromkilometer 2.163–2.168) des Stauraumes nach der Einmündung der Großen Mühl, in dem der größte Teil des Feinsediments abgesetzt wird, und nimmt man konservativ eine einheitliche Sedimentation über die durchschnittlich 280 m breite Donau an, so wurde über die letzten 25 Jahre im Mittel die erhebliche Menge von 390 (280–440) kg m⁻² a⁻¹ abgelagert. Multipliziert man das mit der mittleren Konzentration, so ergeben sich aufgrund der extrem hohen Sedimentationsrate Schwermetallablagerungen im Gramm-Bereich pro Jahr (Cr: 40; Ni: 28; Zn: 70; Cu: 19; Pb: 27; As: 6; Cd: 0,25; Hg: 0,25; Ag: 0,24; Werte in g m⁻² a⁻¹). Bei einem leicht mobilisierbaren Anteil von 11 bis 55 M-% (Abb. 15) sind diese Ablagerungen um einen Faktor 1000 höher als z.B. in den nordamerikanischen Großen Seen (W. SALOMONS & U. FÖRSTER, 1984) oder einen Faktor 50–500 höher als in den Skagerrak-Sedimenten (M. PAETZEL & H. SCHRADER, 1992).

Wie bereits in Kapitel 6.1. diskutiert, ist das in periodischen Ereignissen abgelagerte Feinsediment nicht repräsentativ für die Langzeitsedimentation bzw. für die Langzeitimmissionen. Aus diesen sedimentologischen Überlegungen wäre es für die Zukunft vorteilhafter, für ein „Monitoring“ von Immissionen die obersten Feinsedimente, die zwischen Hochwasserereignissen abgelagert werden, zu beproben.

7. Verwertbarkeit der Donaufeinsedimente

7.1. Allgemein

Bei der Fragestellung der Verwertbarkeit von Stauraumsedimenten kann man auf den großen Wissensschatz über die Verwertbarkeit von Steinen und Erden zurückgreifen (U. STEIN, 1981) wo die wichtigsten Verfahren der Untersuchung, Erschließung und Bewertung beschrieben werden. Zusätzliche Informationen, sowohl über die Problematik der Gewinnbarkeit wie über die Verwertung von Feinsedimenten, liefert das in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführte „Baggergut-Untersuchungsprogramm“ (FACHSEMINAR BAGGERGUT 1984). Die Ausgangslage an der österreichischen Donau ist durch die geringe Schwermetall- und Schadstoffbelastung der Donausedimente etwas anders, doch treten ähnliche Verwertungsmöglichkeiten in den Vordergrund.

Primäre Unterscheidungsmerkmale sind die Korngrößenverteilung, sowie die mineralogisch-chemische Zusammensetzung des Materials. Je nach Verarbeitung und Verwendung soll die Schadstoffbelastung, insbesondere die Schwermetallkonzentration und ihre Mobilisierbarkeit berücksichtigt werden. Ein weiteres wesentliches Beurteilungskriterium ist der Inhalt an organischen Anteilen.

Wie in den ersten Abschnitten gezeigt, besitzen die Feinsedimente des untersten Drittel des Stauraum Aschach durchwegs die geforderte Homogenität und Gleichmäßigkeit einer Lagerstätte.

Eine Übersicht über die Abfolge und die Systematik der einzelnen Untersuchungsschritte zeigt die Tabelle 6. Neben der Probenahme, den Laboruntersuchungen und den in der vorliegenden Arbeit diskutierten Verwertungsmöglichkeiten wird in Tab. 6 auch auf gewisse wirtschaftliche Faktoren hingewiesen, die sowohl bei der Verwendung als auch bei der Deponierung als Kosten anfallen. Nach der materialkundlichen Eignung muß auch die Frage der Wirtschaftlichkeit durch eine Marktanalyse und eine Kosten-Nutzen-Analyse geklärt werden, die aber über den Rahmen dieser Arbeit hinausgeht.

Tabelle 6.
Verwertungsmöglichkeiten von Flußfeinsedimenten.

PROBENAHME LABORUNTERSUCHUNGEN GRUNDSTOFF für					
BAU - INDUSTRIE	ZEMENT	SPEZIAL- PRODUKTE	STRABENBAU	LANDWIRT- SCHAFT	DICHTUNGS- MATERIAL
ZIEGELEI- PRODUKTE Beton Blähton Bausteine	SILIKAT- TRÄGER KALK- MERGEL	Keramische Produkte Mineral- fasern Industrie- sande	Zuschlagstoffe für Asphalt Ungebundene Tragschichten	Mineral- dünger für Boden- verbesserung	MINERA- LISCHE DICHTUNGEN und SCHLITZ- WÄNDE
FINANZIELLER AUFWAND					
Deponiekosten		Gewinnungskosten		Transport	
MARKTANALYSE					
KOSTENAUFWAND					

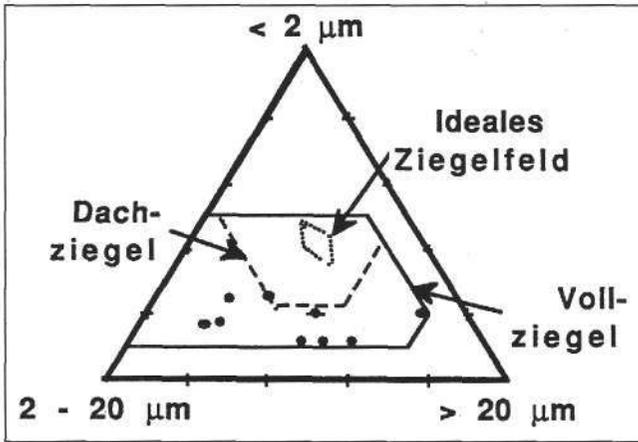


Abb. 24. Ausgewählte Feinsedimentproben (85/A6, 7, 12, 13, 30, 31; 86/A111) als Ziegelrohmaterial im Korngrößendiagramm nach WINKLER. Selected sediment samples show according to WINKLER that this material is only suitable as bricks of minor quality. To obtain better qualities (stippled field) material with higher <2µm fraction should be added.

7.2. Ziegelei-Rohstoff

Im Korngrößendiagramm nach WINKLER fallen die für diese Fragestellung untersuchten Proben in den unteren Bereich des Ziegelfeldes. Das ideale Ziegelfeld darüber zeigt, daß das Material für die Ziegelherstellung etwas zu grob ist, da der nur etwa 10 %-ige Tonanteil erfahrungsgemäß eine zu geringe Druckfestigkeit der Ziegel bewirkt. Ebenso könnte der relativ erhöhte Magnesium- und Natriumgehalt im Laufe der Zeit Ausblühungen in Form von Salzen bewirken.

7.3. Zuschlagstoff für Beton und Mörtel

Ein Vergleich der Sieblinienbereiche nach ÖNORM B 3304 mit der Siebsummenkurve der Feinsedimente des Stauraumes Aschach zeigt, daß diese als Zuschlagstoff für die Betonherstellung nicht geeignet sind. Die Sieblinie ließe jedoch eine Eignung für Feinverputze zu. Dagegen spricht, daß der Anteil von aufschlammenden Bestandteilen toniger Natur größer als 10 M-% ist und damit weit über dem in der Praxis bei Feinputzsanden anzutreffenden Anteil liegt. Die relativ schlechte Kornform (plattiger Anteil hoch) läßt auf eine schlechte Verarbeitbarkeit schließen. Da weder Sieblinienbereich noch Kornformkriterien für gut geeignete Mörtelsande eindeutig festgelegt sind, können nur Praxiserprobungen durch den Anwender (Maurer) und die dabei benötigte Bindemittelmenge Aufschluß über die Verwertbarkeit geben.

7.4. Rohstoff für die Zementherstellung

Der Zementklinker wird in Drehöfen durch Sintern aus einem Rohmehl mit festgelegtem Chemismus hergestellt. Das Rohstoffgemisch besteht hauptsächlich aus Calciumoxid CaO , Kieselsäure SiO_2 , Aluminiumoxid Al_2O_3 und Eisenoxid Fe_2O_3 . Als Ausgangsmaterialien dienen dazu Kalkmergelsteine oder Kalksteine mit Zusätzen von Tonen und/oder Quarzsanden und Eisenerze.

In Abb. 26 sind die oberen und unteren Anhaltswerte für Tone und Kalkmergel (VDI 2094 Emissionsminderung Zementwerke) mit den Durchschnittswerten der Aschacher Feinsedimente dargestellt.

Der Vergleich zeigt, daß das Material aus dem Stauraum Aschach auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung sowohl als Kalkmergel als auch als Tonmineral für die Herstellung von Zementklinker verwendet werden kann. Nur die Elemente Na, Zn, Pb und Cd liegen geringfügig über den oberen Anhaltswerten.

7.5. Straßenbau

Im Straßenbau finden Sedimente in Form von Dammschüttmaterial, als Material in ungebundenen Tragschichten und als Zuschlagstoffe für die Asphalt- und Betonerzeugung Anwendung.

Da die Anwendung in ungebundenen Tragschichten (3 M-% <0,02 mm) wegen des hohen Feinanteils auszuschließen ist, käme nur ein Füller für die Asphaltherstellung in Frage. Laut RVS 8.111 ist für einen Füller (<0,09 mm) ein Gehalt von <10 % quellfähigen Tonmineralen vorgeschrieben. Darüber hinaus muß der Trockenhohlraumgehalt nach RIDGEN unter 40 % liegen. Da die Mischproben des Stauraumsediments Aschach einen Enslinwert von 75,8 % Wasseraufnahme und 50,2 % Trockenhohlraumgehalt nach RIDGEN aufweist, ist eine Verwendung als Füller im Asphaltstraßenbau nicht möglich.

Die Eignung als Dammschüttmaterial ergibt sich auf Grund des Reibungswinkels. Der Reibungswinkel des Feinsedimentes von Aschach liegt bei 28° (errechnet aus Rahmenscherversuch bei einer Kohäsion von 0 kN/m^2). Dem entspricht für eine im Bauwesen übliche Sicherheitsannahme von $u = 1,3$ eine Böschungsneigung von ca. 1 : 2,5.

Da erstens beim Bau von neuen Straßen bereits bei der Projektierung auf einen Ausgleich der Massen geachtet wird und zweitens der Bau neuer Straßen immer mehr zurückgeht, bestehen für die Verwendung des Feinsedimentes Aschach als Dammschüttmaterial geringe Chancen.

Material: Schlamm aus DOKW Aschach		Auftragsnr.: 86/262											
Probe A < 0,063 mm 86/262 A													
Probe B 86/262 B													
Brenntemperatur:	Roh	942	976	1017	1052	1084	1112	1134	1162	1186	1208	1227	

Abb. 25. Mischprobe 86/A111 (unten), 86/A111<0,063 mm (oben) nach verschiedenen Brenntemperaturen (942–1208°C). Die gebrannten Proben haben gleichbleibend eine hell-ziegelrote Farbe (5YR8/4 moderate orange pink, Rock Color Chart, Geol. Soc. Amer. oder Nr. 304 Nuancier D'argiles Société Française Céramique) und beginnen bei 1162°C zusammensintern. Compound sample 86/A111 (below), 86/A111<0,063 mm (above) after increasing temperatures (942–1208°C). All the fired samples have a similar light brick red colour and start sintering and losing their shape at 1162°C.

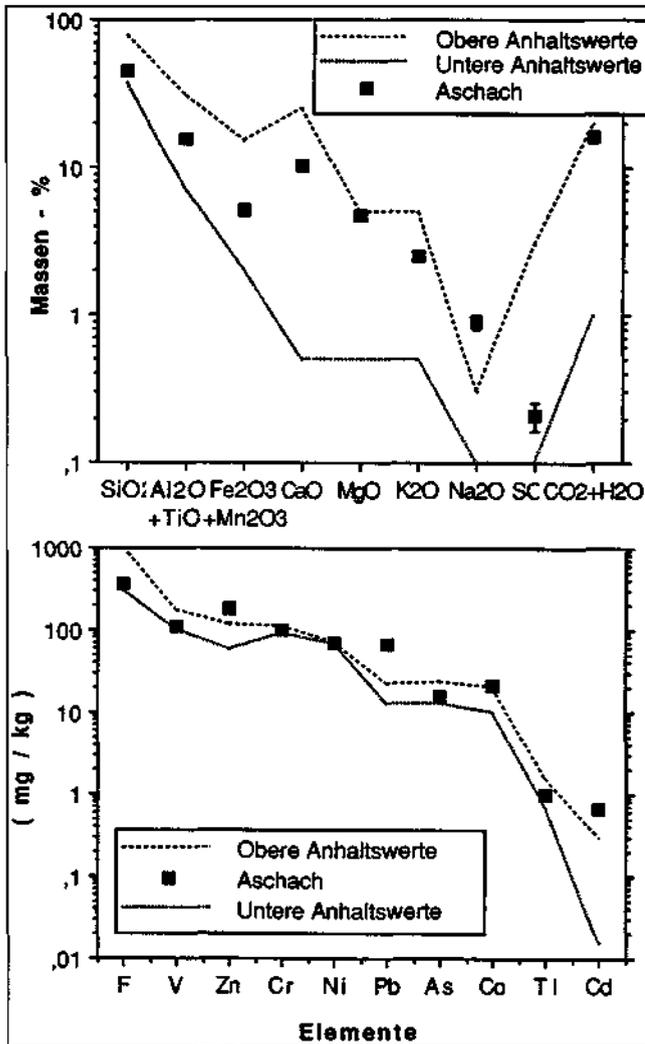


Abb. 26. Chemische Durchschnittswerte der Aschacher Feinsedimente und Anhaltswerte für Tonrohstoffe zur Herstellung von Portlandzementklinker (VDI 2094 Emissionsminderung Zementwerke). Nur Na₂O, Zn, Pb und Cd übersteigen die Anhaltswerte geringfügig. Mean chemical composition of the Aschach fine sediments and recommended values for shale raw materials (Portlandcement; VDI 2094). Only Na₂O, Zn, Pb and Cd are slightly higher than the recommended values.

7.6. Landwirtschaft

Nach persönlicher Auskunft wurde Feinsediment aus dem Stauraum Aschach zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft weitergegeben und brachte zufriedenstellende Erfolge.

Im Vergleich zum Klärschlamm ist der Gesamtstickstoffgehalt (N = 0,14 M-% und der Phosphorgehalt (P₂O₅ = 0,31 M-% = P = 0,14 M-%) geringer, der Calciumgehalt (CaO = 10,3 M-%) vergleichbar, sowie der Magnesiumgehalt (MgO = 4,7 M-%) und der Kaliumgehalt höher. Eine offene Frage ist die nicht bekannte Pflanzenverfügbarkeit.

Laugungsexperimente bescheinigen einen hohen Anteil an ionenaustauschbaren Ca (Laugungsschritt 1; Abb. 14).

In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der Analysen der Stauraumsedimente den Grenzwerten der OBERÖSTERREICHISCHEN KLÄRSCHLAMM-VERORDNUNG 1990 für Böden gegenübergestellt. Aufgrund der leicht überschrittenen Bodengrenzwerte für Chrom und Nickel sollte auf die Anreicherung dieser Elemente in den angebauten Pflanzen geachtet werden.

In einer Studie zu Gesteinsmehlen kommen W. BLUM et al. (1989a,b) zu einer eher pessimistischen Aussage, was den Dünge- und Bodenverbesserungswert dieser Mehle betrifft. Es wurde jedoch kein Gesteinsmehl mit einem entsprechend hohen Karbonatanteil (10 M-% Dolomit, 12 M-% Calcit) untersucht. Auf jeden Fall müßte für die Eignung in der Landwirtschaft noch spezielle Untersuchungen durchgeführt werden.

7.7. Dichtungsmaterial für Deponien, Dämme und Schmalwände

Für die Eignung der Feinsedimente des Stauraumes Aschach als Dichtungsmaterial für Deponien, Dämme und Schmalwände wurden bodenphysikalische Untersuchungen in Form von Atterberg'schen Zustandsgrenzen sowie von Proctor-Versuchen, Durchlässigkeitsversuchen, Kompressions- und Rahmenscherversuchen durchgeführt.

Die Atterberg'schen Zustandsgrenzen wurden an Subproben der Mischprobe 86/A111 ermittelt. Der Wassergehalt bei der Fließgrenze beträgt $w_L = 48,4$ M-% und der Wassergehalt bei der Ausrollgrenze $w_P = 34,5$ M-%. Die Plastizitätszahl errechnet sich daraus mit $I_p = 13,9$ %. Aufgrund der Lage dieser Werte im Plastizitätsdiagramm von CASAGRANDE wird das Sediment als mittelplastischer Schluff (UM) klassifiziert. Die Proctordichte beträgt $1,53$ g/cm³ (Abb. 27; Dpr = 100 %) bei einem Proctor-Wassergehalt von 24 M-%. Der Proctorversuch zeigt einen typischen Verlauf für schluffige Böden und erlaubt einen von der Witterung weitgehend unabhängigen Einbau, da zum Beispiel für einen geforderten Verdichtungsgrad von Dpr = 95 % Einbauwassergehalt zwischen 11 und 29 M-% möglich sind.

Die an drei Subproben der Mischprobe 86/A111 durchgeführten Durchlässigkeitsversuche bei Verdichtungsgraden zwischen 95 und 100 % und Einbauwassergehalten bei Beginn der Versuchsdurchführung von 20,6 %, 47,8 % und 45,7 % ergeben ein enges Feld mit Durchlässigkeits-

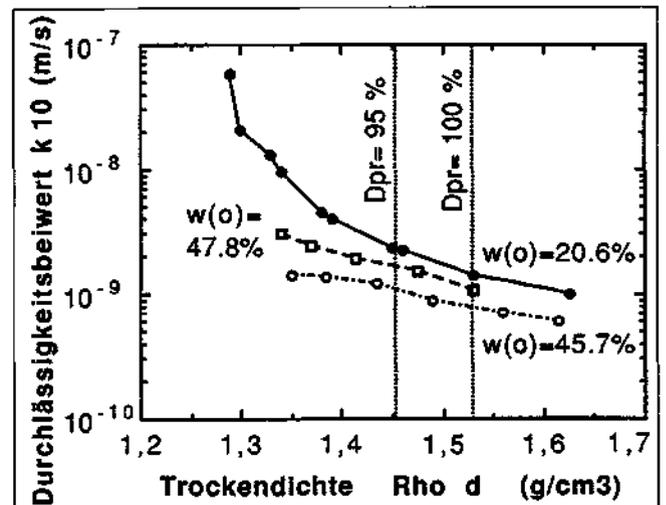


Abb. 27. Durchlässigkeitsbeiwert k_{10} in Abhängigkeit von der Trockendichte. Der Durchlässigkeitsbeiwert wurde im Kompressionsgerät mit Durchlässigkeitszelle bestimmt. Dpr = Verdichtungsgrad bezogen auf die Standard-Proctordichte. $w(o)$ = Einbauwassergehalt (bezogen auf Trockenmasse). Permeability coefficient k_{10} versus dry density of Aschach reservoir sediments at different water content (20,6, 45,7 and 47,8 %). Dpr = standard Proctor density.

beiwerten zwischen 1×10^{-9} bis 3×10^{-9} m/s (Abb. 27). Bei einem Einbauwassergehalt von $w(o) = 20,6\%$ und geringerer Trockendichte nimmt der Durchlässigkeitsbeiwert zuerst rasch ab und nähert sich dann einem Wert von 1×10^{-9} m/s. Bei niedrigeren Einbaudichten (Verdichtungsgrad unter $D_{pr} = 95\%$) steigt somit bei kleiner werdender Einbaudichte der Durchlässigkeitsbeiwert sehr stark an. So beträgt der Durchlässigkeitsbeiwert bei einem Verdichtungsgrad von $D_{pr} = 89\%$ nur mehr ca. 1×10^{-7} m/s. Die Versuche wurden bei einem Gradienten i von 10 bis 30 durchgeführt und die Durchlässigkeitsbeiwerte auf eine Vergleichstemperatur von 10°C umgerechnet.

Das ergibt eine nahezu perfekte Übereinstimmung mit dem aus der Korngrößenverteilung nach der Formel von Z. BIALAS (1970)

$$k = (D_{20})^{2,3} \times 0,0036$$

mit $k = 2,7 \times 10^{-9}$ m/sek. ermittelten Wert (Tab. 1).

Die vorangegangenen bodenmechanischen Untersuchungen lassen die Sedimente für mineralische Deponeabdichtungen, als Abdichtungen im Dammbau und vermisch mit Zement und Zuschlagstoffen als Material für Schmalwände zwecks Abdichtung im Spezialtiefbau als geeignet erscheinen, wobei bei einem Einbau auf die Einhaltung der geforderten Einbaudichten zu achten ist.

Dank

Wir danken Dr. J. MERKT für seine tatkräftige Mithilfe bei der Durchführung der Bohrung 18 und für die Herstellung und Kommentare zu den Sedimentdünnschliffen. Unser Dank gilt auch Dr. P. DOLEZEL (ICP), Dipl.-Ing. N. MÜLLER (RFA) und Dr. M. SAGER (AAS) für die Durchführung von chemischen Analysen. Dr. E. SCHWAB und Ing. TYKAL sei für die Bodenmechanischen Untersuchungen herzlich gedankt.

Literatur

- BIALAS, Z. & KLECZKOWSKI, A.S. (1970): Über den praktischen Gebrauch von einigen empirischen Formeln zur Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten k (mit polnischer, englischer und deutscher Zusammenfassung). – *Archiwum Hydrotechniki*, **17/3**, 405–417, Warschau.
- BLUM, W.E.H., HERBINGER, B., MENTLER, A., OTTNER, F., POLLAK, M., UNGER, E. & WENZEL, W.W. (1989a): Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. I. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **152**, 421–425.
- BLUM, W.E.H., HERBINGER, B., MENTLER, A., OTTNER, F., POLLAK, M., UNGER, E. & WENZEL, W.W. (1989b): Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. II. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. – *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, **152**, 427–430.
- CAMPBELL, P.G.C., LEWIS, A.G., CHAPMAN, P.M., CROWDER, A.A., FLETCHER, W.K., IMBER, B., LUOMA, S.N., STOKES, P.M. & WINFREY, M. (1988): Biological available metals in sediments. – *National Research Council of Canada*, Nr. **27694**, 298. p.
- DOLEZEL, P., RANK, D., KAPPEL, F. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1985): Übersichtuntersuchung an Feinsedimenten aus den Stauräumen des österreichischen Donauabschnittes. II. Chemische Untersuchungen. – 25. Arbeitstagung, Intern. Arbeitsgem. Donauforsch., 10–15, Bratislava.
- DWORSKY, R., EBNER, F., GAMS, H. & OTTENDORFER, L.J. (1973): Untersuchungen über den Quecksilbergehalt in österreichischen Oberflächengewässern. – *Österr. Abwasserrundschau*, **17**, Folge 4, 53–60, Wien.
- EBNER, F. & GAMS, H. (1989): Schwermetalluntersuchungen in der Donau und den wesentlichen Nebenflüssen für den Zeitraum 1984 bis 1987. – *Wasser und Abwasser*, **33**, 69–140.
- FACHSEMINAR BAGGERGUT (1984): – 403 S., Strom- und Hafenausbau Hamburg.
- FÖRSTNER, U. & CALMANO, W. (1982): Bindungsformen von Schwermetallen in Bagger Schlamm. – *Vom Wasser*, **59**, 83–92.
- FUCHTBAUER, H., (1959): Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. – *Erdöl u. Kohle*, **12**, 605–613.
- GEOCHEMISCHER ATLAS DER REPUBLIK ÖSTERREICH. – Wien (Geol. B.-A.) 1990.
- GRUBER, O., (1978): Gewässerkunde und Hydrographie im Bundesstrombauamt. – *Österr. Wasserwirtsch.*, **30**, 198–203, Wien.
- KAPPEL, F., RANK, D., FLECK, L. & GASSER, H. (1985): Übersichtuntersuchungen an Feinsedimenten aus den Stauräumen des österreichischen Donauabschnittes, I.
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1987): Sedimentologie und Mineralogie des Donaustraumes Aschach. – 26. Arbeitstagung, Intern. Arbeitsgem. Donauforsch., 142–146, Passau.
- KRALIK, M. & SAGER, M. (1986a): Schwermetalle in Donau- und Donaukanalsedimenten in und östlich von Wien. – *Österr. Wasserwirtschaft*, **38**, 8–14, Wien.
- KRALIK, M. & SAGER, M. (1986b): Umweltindikator „Schwermetalle“: Gesamtgehalte und Mobilität in österreichischen Donausedimenten. – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, **79**, 77–90, Wien.
- KRALIK, M., AUGUSTIN-GYURITS, K., DOLEZEL, P., KAPPEL, F., MÜLLER, N. & SAGER, M. (1990): Schwebstoff- und Schwermetalltransport der Donau am Einlaufbauwerk der „Neuen Donau“ Wien/Österreich. – 28. Arbeitstagung d. Intern. Arbeitsgem. Donauforsch., Varna/Bulgarien.
- MERKT, J. & STREIF, H. (1970): Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente. – *Geol. Jb.*, **88**, 137–148, Hannover.
- MICHLER, G., HORN, P. & TODT, W. (1987): Bleisotopenanalysen zur Bestimmung der Herkunft von Bleiakкумуляtionen im Münchener Raum. – 26. Arbeitstagung Intern. Arbeitsgem. Donauforschung, 38–44, Passau.
- MÜLLER, G. (1981): Die Schwermetallbelastung der Sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: Eine Bestandsaufnahme. – *Chemiker-Ztg.*, **105**, 157–164.
- MÜLLER, G. (1991): Ergebnisse der Untersuchung der Neckar-Sedimente in den letzten 20 Jahren – Chronologie der Schwermetall-Belastung. – In: G. MÜLLER (Hrsg.): 3. Neckar-Umwelt-Symposium, 7.–8. Okt. 1991. – *Heidelberger Geowiss. Abh.*, **48**, 1–15.
- MÜLLER, G. & FÖRSTNER, U. (1968): Sedimenttransport im Mündungsgebiet des Alpenrheins. – *Geol. Rdsch.*, **58**, 229–259.
- MÜLLER, G. & WIMMER, W. (1987): Schwermetallgehalte in Sedimenten oberösterreichischer Fließgewässer. – *Amtlicher Oberösterreichischer Wassergüteatlas*, **14**, 385 S.
- MÜLLER, H.W., SCHWAIGHOFER, B., NACHTNEBEL, H.P. & SUMMER, W. (1989): Vergleich sedimentologischer und geochemischer Untersuchungen im Stauraum Altenwörth und in der Fließstrecke von Greifenstein bis Hainburg. – *Österr. Wasserwirtschaft*, **41**, 186–195, Wien.
- MÜLLER, N. (1984): Routineverfahren zur Serienanalytik geologischen Materials mittels XRF. – *X-Ray Spectrometry*, **13**, 142–145.
- NEUMANN-MAHLKAU, P. & NIEHAUS, H.T. (1984): Anthropogenic effects on sedimentary facies in Lake Baldeney, West Germany. – *Environmental Geol.*, **5**, 169–176.
- OBERLEITNER, P. & SCHILLER, G. (1983): Wasserkraftausbau in Österreich. – *Österr. Wasserwirtsch.*, **35**, 98–103.
- OBERÖSTERREICHISCHE KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (1990): – *Landesgesetzblatt f. OÖ*, 8. Stück, 28. Feb.
- OTTESSEN, R.T., BOGEN, J., BOLVIKEN, B. & VOLDEN, T., (1989): Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. – *J. Geochem. Exploration*, **32**, 257–277.

- PAETZEL, M. & SCHRADER, (1992): Heavy metal accumulation in Skagerrak sediments over the last 200 years. – Kurzfass. Tag. Dt. Geol. Ver., Stuttgart.
- PARTL, R. (1975): Zahlenmäßige Analyse von Stauraumverlandungen. – Die Talsperren Österreichs, **22**, 87–107.
- POSTMA, H., (1967): Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. – In: LAUFF, G.H. (Hrg.): Estuaries. – Publ. Amer. Assoc. Adv. Sci., **83**, 158–179.
- PRAZAN, H. (1990): Über Schwebstoffablagerungen in den Stauräumen der Donaukraftwerke in Österreich. – Österr. Wasserwirtsch., **42**, 73–84, Wien.
- RANK, D., (1987): Die Radioaktivität der Donausedimente. – Wasser und Abwasser, **31**, 111–136.
- RANK, D., MARINGER, F.J., KAPPEL, F. & AUGUSTIN-GYURITS, K. (1985): Übersichtsuntersuchung an Feinsedimenten aus den Stauräumen des österreichischen Donauabschnittes, III, Gammaskopmetrische Untersuchungen. – 25. Arbeitstagung d. Intern. Arbeitsgem. Donauforschung, 108–112, Bratislava.
- RANK, D., KRÁLIK, M., AUGUSTIN-GYURITS, K., MARINGER, F.J., RANJER, V. & KURCZ, I. (1987): Investigation of Sedimenttransport in the Austrian Part of the Danube by using Environmental Isotopes. – Proc. Intern. Sympos. Isotope Techniques in Water Resources Development, 637–646, IAEA Wien.
- REINECK, H.E. & SINGH, I.B. (1980): Depositional Sedimentary Environments. – 548 S., Springer, Berlin.
- SALOMONS, F. & FÖRSTNER, U., (1983): On the selectivity of various extractants used in sequential leaching techniques for particulate metal speciation. – Proc. Intern. Conf. Heavy Metals in the Environment, 1074–1077, Heidelberg.
- SAGER, M., BELOCKY, R. & PUSKO, R., (1990): Zur Ermittlung der Bindungsformen von Haupt- und Spurenelementen in Sedimenten durch Sequentielle Löseverfahren. – Acta hydrochim. hydrobiol., **18**, 123–139.
- SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. (1984). – Metals in the hydrocycle. – 349 p., Springer.
- SMITH, W.O., VETTERS, C.P. & CUMMINGS, G.B. (1960): Comprehensive Survey of Sedimentation in Lake Mead 1948–1949. – USGS Prof. Paper, **295**, 254 p.
- STATTEGGER, K., (1986): Die Beziehungen zwischen Sediment und Hinterland: Mathematisch-statistische Modelle aus Schwermetallanalysen rezenter fluviatiler und fossiler Sedimente. – Jb. Geol. B.-A., **128**, 449–512.
- STEIN, U. (1981): Lagerstätten der Steine, Erden und Industrie Minerale (Vademecum). – Verlag Chemie, Weinheim.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. – Bull. Geol. Soc. Am., **72**, 175–192.