



GBA

V-034/90

FACHABTEILUNG

HYDROGEOLOGIE

Projekt :

Nachweis des tatsächlichen unterirdischen
Fließweges und der Fließzeit durch
goelektrische Kartierung
von eingebrachtem Salztracer

**Geoelektrischer Nachweis
eingebrachter Salztracer**

Bericht :

Jahresendbericht
für den
Zeitraum
Sept. 1990 - März 1991



Logistik :

- Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung
- Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und
konstr. Wasserbau, Univ. für Bodenkultur

Projektleitung :

ORat Dr. Walter KOLLMANN
Univ. Prof. Dr. Wolfgang SEIBERL

Geol. B.-A. Wien



0 000001 141870

Datum :

Wien, am 25.3.1991

ADV-Eingabe		020 Eingabedatum	A 07942 - R		030 Archiv	Inventar NR.	Standort	Ordnungszahl
040 Sprache	GER	060 Auswerter	G	065 Bearbeiter	C	070 Empfänger	LIT	
080 Dok.Type	E	090 Berichtsart	R	091 Projektcode	Ü-034/90	120 M	1552	-E
Kollmann, Walter; Seiberl, Wolfgang; Dumfarth, Stefan; Ferkl, R.; Meyer, Johann Walter; Supper, R.; Shadlau, Siauvush								
130 Verfasser								
Kollmann, Walter (Projektl.); Seiberl, Wolfgang (Projektl.)								
135 Verfasser mit Funktionen								
Geologische Bundesanstalt / FA Hydrogeologie								
140 Körperschaften								
Geoelektrischer Nachweis eingebrachter Salztracer: Jahresendbericht für den Zeitraum Sept.1990 - März 1991								
160 Sachtitel								
170 Sachtitel Übersetzungen								
180 Fassung		190 Maßstab		200 Topographie				
210 Ort Wien								
225 Erstellungsdatum 1991-05-21								
240 45		B1.	250 Illustr. 25 Abb.		260 Format 29,5 cm			
Nachweis des tatsächlich unterirdischen Fließweges und der Fließzeit durch geoelektrische Kartierung von eingebrachtem Salztracer								
271 In:Gesamttitle								
290 Gesamttitle								
291 Hochschulschrift								
292 Standortnachweis Bibl.Geol.Bundesanst./Wiss.Archiv Nr. A 07942-R								
293 Weitere Angaben								
300 Sprachen der Zusammenfassung GER								
Bearbeitungsvermerk		BGLÖ		GEOKART		Kopie an Redaktion		
Katalog		Mikrofilm		Vertraulichkeit	3	Exemplare 1		

Murebene; Leibnitzer Feld

Steirisches Becken; Tracerhydrologie; Salztraces; Grundwasser
 Geoelektrik; Verwässerung; Fließweg (hydrolog.); Fließzeit (hydrolog.);
 Markierungsversuch

GEO?, HYD, GEO+

Die Möglichkeiten und Grenzen eines neuartigen Markierungsversuches unter Berücksichtigung möglichst umweltverträglicher Einspeisung und Nachvollziehung der wahren unterirdischen Fließwege werden diskutiert und ausprobiert. Diese tracerhydrologische Methodenentwicklung basiert auf der Tatsache des geoelektrischen Nachweises eingespeister Salze und der Verfolgung dieser im grundwasserabstromigen Bereich entsprechend der natürlichen, durch die Sedimentologie und Gefällsverhältnisse vorgegebenen Dynamik. Zusedimentierte ehemalige Mäanderschlingen im Leibnitzer Feld (Steiermark) und ihre Relevanz für die Anströmung von Brunnenfassungen und deren Schutzgebiet konnten dabei kartiert werden.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Zusammenfassung	1
1. Einleitung (W. KOLLMANN)	2
1.1. Grundsätzliches	2
1.2. Stand des Wissens	3
1.3. Vorgeschlagene Versuchsgebiete	3
2. Einspeisung (R. FERKL, J.W. MEYER, W. KOLLMANN, S. SHADLAU)	7
2.1. Vorauswahl und Rahmenbedingungen	7
2.2. NaCl-Einspeisung	14
2.2.1. Ersteinspeisung	14
2.2.2. Zweiteinspeisung	14
3. Durchführung der geoelektrischen Messungen (St. DUMFARTH, R. FERKL, J.W. MEYER)	23
4. Messergebnisse (J.W. MEYER)	26
5. Interpretation der Messergebnisse (J.W. MEYER, R. SUPPER)	26
6. Schlußfolgerungen für die weitere Vorgangsweise (J.W. MEYER)	41
6.1. Randbedingungen bei der Einspeisung	41
6.2. Grundsätzliche Vorgaben für die weitere Forschungstätigkeit	42
6.2.1. Messverfahren, Messanordnungen	42
6.2.2. Einspeisemodalitäten	43
6.2.3. Berücksichtigung der Aquiferbedingungen	43
Literatur	45



GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT

A-1031 WIEN, POSTFACH 154 · RASUMOFSKYGASSE 23, TEL: (0222) 72 56 74 - 0/75 59 62 - 64 - 0 · TELEGRAMMADRESSE: GEOLBA WIEN · TELEX NR: 132927

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Möglichkeiten und Grenzen eines neuartigen Markierungsversuches unter Berücksichtigung möglichst umweltverträglicher Einspeisung und Nachvollziehung der wahren unterirdischen Fließwege werden diskutiert und ausprobiert. Diese tracerhydrologische Methodenentwicklung basiert auf der Tatsache des geoelektrischen Nachweises eingespeister Salze und der Verfolgung dieser im grundwasserabstromigen Bereich entsprechend der natürlichen, durch die Sedimentologie und Gefällsverhältnisse vorgegebenen Dynamik. Zusedimentierte ehemalige Mäanderschlingen im Leibnitzer Feld (Steiermark) und ihre Relevanz für die Anströmung von Brunnenfassungen und deren Schutzgebiet konnten dabei kartiert werden.

1. Einleitung (W. KOLLMANN)

1.1. Grundsätzliches

Mit vorliegendem Jahresendbericht für das erste Bearbeitungsjahr können für das Teilprojekt 10 des Gesamtprogramms "Schutz von Grundwässern in Tal- und Beckenlandschaften" unter Federführung von Ass.Prof.Univ.Doiz.Dipl.Ing.Dr.H.P.NACHTNEBEL (Univ. für Bodenkultur) die ersten tracerhydrologischen und geoelektrischen Ergebnisse vorgestellt werden.

Einerseits erfolgt Eintrag von Schadstoffen in Grundwasserleiter punktförmig durch Unfälle abrupt auf Verkehrswegen oder im allgemeinen unbemerkt und permanent in Siedlungs- und Gewerbe-/Industriegebieten, andererseits flächenhaft und latent durch unsachgemäße landwirtschaftliche Bewirtschaftung und wilde Deponien.

Das Auffinden von Verursachern und die Ansiedlung zukünftig möglicher Emittenten sollte unter Berücksichtigung der davon unterstromigen Grundwasserfließrichtungen erfolgen. Dabei werden Interessenskonflikte auf den absolut notwendigen Grundwasserschutz nur dann abzustimmen und wasserrechtlich durchzubringen sein, wenn die genaue Kenntnis über tatsächliche Fließwege und -zeiten vorliegt. Durch die damit mögliche Optimierung von Wasserschutzgebieten können einerseits der Flächenanspruch, andererseits die geforderten Entschädigungszahlungen - insbesondere in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten wie dem Leibnitzer Feld - minimiert werden.

Als Kombination zu den konventionellen Tracerverfahren, die in Porengrundwasserleitern lediglich punktförmige und direkte (Luftlinie) Aussagen zulassen, wurde eine Methode entwickelt, den tatsächlichen Fließweg über den geoelektrischen Nachweis von künstlich eingebrachtem Salztracer zu verfolgen. Mittels geoelektrischer Kartierung, die teufenspezifisch perfektioniert und letztlich automatisiert per Datensammler an einem erweiterbaren Sondennetz ablaufen könnte, läßt sich dann der wahre unterirdische Fließweg und die Fließzeit ganz einfach ohne Flurschäden und Bohraufschlüsse und zwar nur von der Erdoberfläche aus messen. Dabei können natürlich auch sich ändernde Geschwindigkeiten und Richtungen (Mäanderdynamik) aufgezeichnet werden. Damit wird nach erfolgter Kontamination das latente Gefährdungspotential und die Reaktionszeit für Gegenmaßnahmen bekannt, wodurch eine eminent umweltrelevante Information für Trinkwasserversorgungsanlagen angeboten werden kann.

1.2. Stand des Wissens

Ein ähnliches von der apparativen Durchführung und Instrumentierung des Versuchsgebietes - nur eine Einspeisbohrung ist erforderlich - faszinierend einfaches geoelektrisches Verfahren wurde bereits in den USA und Schweden im Zuge von Ausbreitungsmessungen der Abströmfahnen von Salinen angewandt. Im Rahmen eines Hearings an der University of Arizona (St.N.DAVIS, Dept. of Hydrology and Water Resources. Tucson, 1990) wurden Anwendungsbeispiele diskutiert und für eine derartige 3-dimensionale und zeitliche hydrogeologische Untersuchung der Begriff "Geotomography" geprägt.

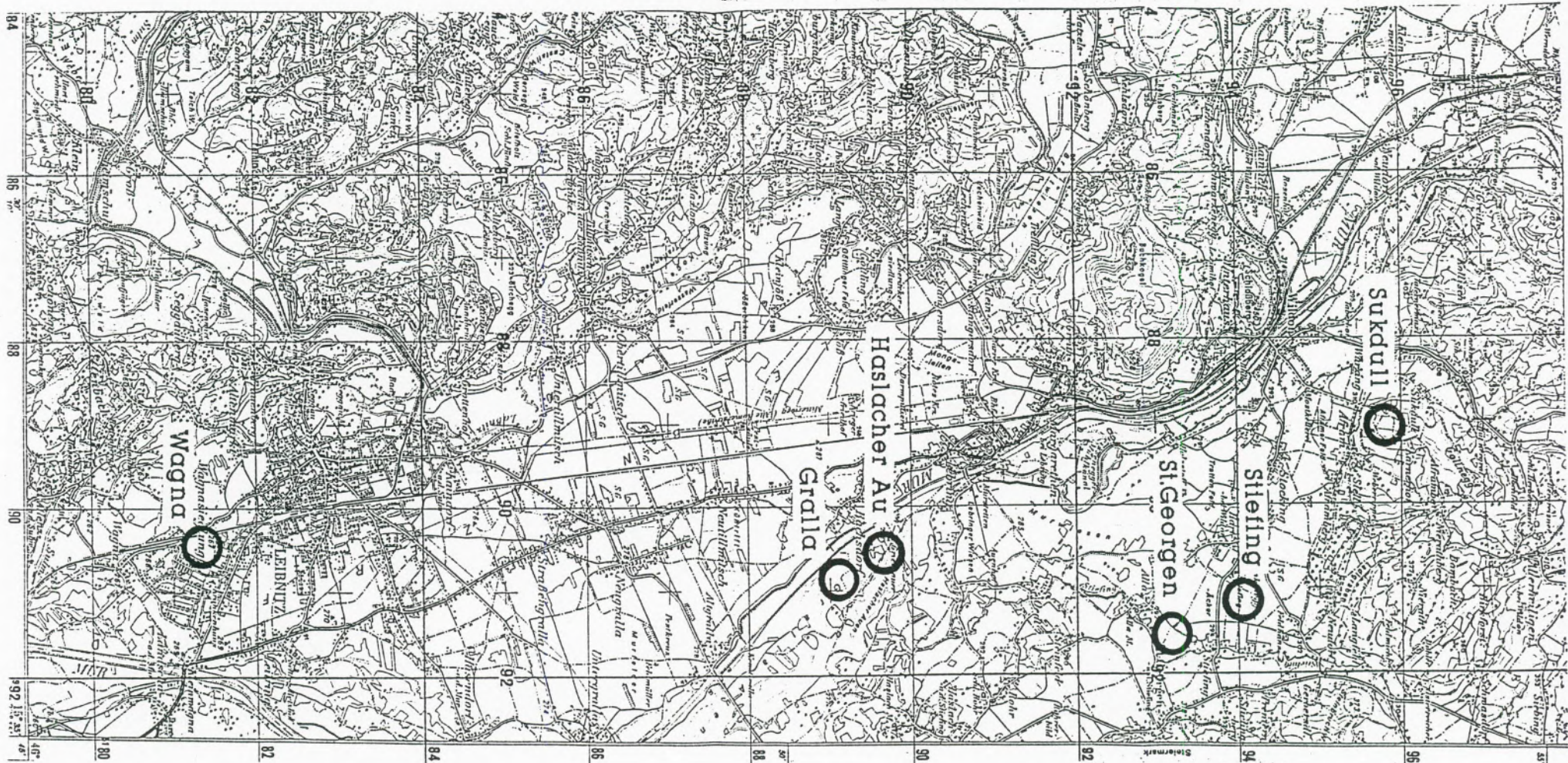
Aufbauend auf diese internationalen Erfahrungen, die seit den 30-er Jahren in den USA begonnen, jedoch nicht weiterentwickelt wurden (geringe Auflösung bei ariden Verhältnissen, Backgroundprobleme und daher Konkurrenzierung durch Farbtracer?), sind bereits im Jahr 1982 im Lafnitztal im Raum Neustift von J.W. MEYER Testmessungen zur Entwicklung einer derartigen Methode im humiden Bereich durchgeführt worden. Eine Auswertung wird nach den Kriterien der o.a. Fragestellung im Leibnitzer Feld nochmals durchgeführt. Dazu ist im Rahmen einer Diplomarbeit, betreut von Univ.Prof. Dr. W. SEIBERL, die immens hohe Anzahl von Meßdaten derart aufzubereiten, daß einschlägige Software das abgesteckte Gridding-Feld zur rechnerischen Verarbeitung in einem 3-dimensionalen Blockmodell im Sinne einer Schadstoffausbreitungssimulation angewendet werden kann (z.B. FEMWATER und FEMWASTE Hydrologische- und Schadstofftransportmodelle des FZS).

In einem geologisch anderen Testgebiet im burgenländischen Anteil des Leithagebirges mit Kluft- bzw. Karstaquiferen, anstatt Porengrundwasserleitern wie im ersten Testfall, sind ebenfalls erste Erfahrungen gesammelt worden. Da der kombinierte Tracerversuch noch nicht abgeschlossen ist und Hinweise bestehen, daß gleichzeitig massive landwirtschaftliche Immissionen stattfanden, wird diese Methode neben dem eingespeisten Steinsalz auch die eluierten Düngersalze (Kalksalpeter) miterfaßt haben.

1.3. Vorgeschlagene Versuchsgebiete

Voruntersuchungen im Leibnitzer Feld durch das Institut für Geothermie und Hydrogeologie (IGH Joanneum Research) und die vorhandene Instrumentierung im Einzugsgebiet der WV- und KW-Anlagen führten zum Vorschlag folgender Testgebiete für geophysikalisch kontrollierte Tracerversuche (Abb. 1). Diese Vorschläge und deren Reihung wurden nach Prioritäten der Wasserwirtschaft in dieser Problemregion, insbesondere der derzeitigen und zukünftigen Trinkwasserversorgung mit Exponenten dieser Entscheidungsträger (z.B. WWR der Stmk. Landesregierung OBR Dr. H. ZETINIGG, Leibnitzer Feld WV Ges.m.b.H. Dir. Ing. ULTES) diskutiert und folgende Entscheidung getroffen (W. KOLLMANN in: H.P. NACHTNEBEL et al., 1990):

Geoelektrischer Nachweis eingebrachter Salztracer



Geologische Bundesanstalt
Fachabteilung Hydrogeologie

Projekt: ÖAW-HB 70 34/90 Geoelektrische Salztracer

Vorschlag für Untersuchungsgebiete
im Leibnitzer Feld / Stmk.

Autoren: W. Kottmann Datum: Sept. 1990 Maßstab: 1:50.000 Beilage Nr. 1

- HFB B VI St. Georgen/St.
- Beobachtungssonde N 3 Stiefing
- Testkreis KW Gralla
- Neuerschließung von Uferfiltrat Haslacher Au
- Karst Sukdull
- Lysimeter (Infiltrationsgeschwindigkeit) Wagna

Tatsächlich konnten wegen der störenden Randbedingungen durch die aus Stahl hergestellten horizontalen Filterrohrstränge des HFB keine ungestörten geoelektrischen Meßergebnisse erwartet werden. Aus diesem Grund wurden die ersten Messungen an dem Grundwasserbeobachtungsröhr N 3 begonnen (Abb. 2).

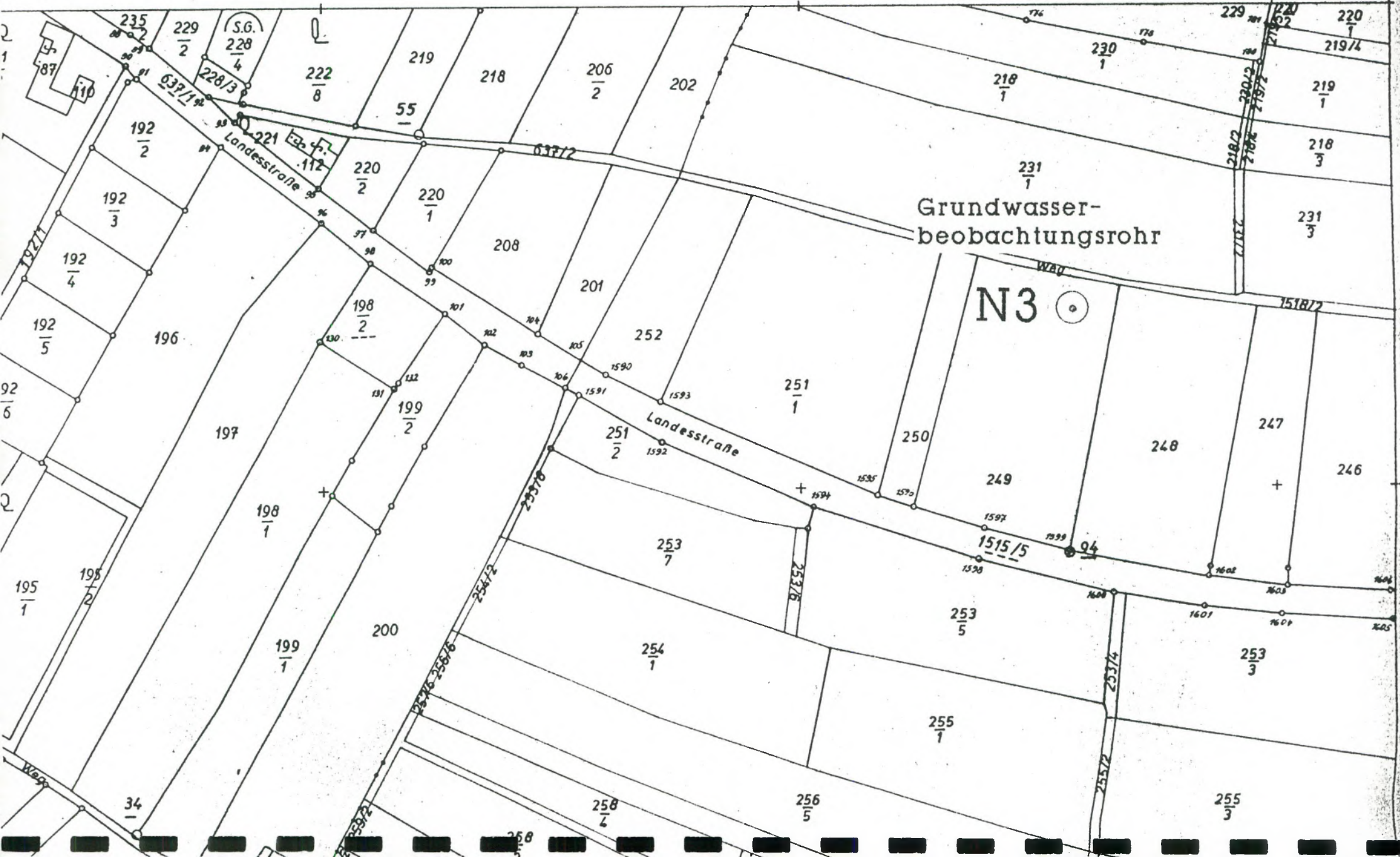
Es wurde dabei berücksichtigt, daß der direkte Nachweis einer Kontamination von konkreten Emittenten zu Betroffenen geführt werden soll. Weiteres Ziel der ersten Markierungsversuche ist es, eine Optimierung der Injektionsmenge (d.h. Minimierung der Salzeingabe und Nachspülung) unter Berücksichtigung möglichst geringer hydraulischer Veränderungen zu erreichen. Die Varianten entweder Momentan- oder kontinuierliche Einspeisung, jedenfalls ohne wesentliche Bildung eines Infiltrationskegels in der gesättigten Zone mit unbeabsichtigter Standrohrspiegelgefälls- und damit Fließgeschwindigkeitserhöhung, sind auf diese Effekte hin in der Praxis zu wählen.

Aufgrund der beiden im Leibnitzer Feld ausgebauten Testkreise wird in Zukunft eine parallel laufende, konventionelle hydrochemische Analytik eingesetzt werden, die ebenfalls zur Minimierung der unbedingt notwendigen Einspeisemenge erforderlich ist.

Nach Abschluß der Tests in der gesättigten Zone besteht die Möglichkeit, im Rahmen der vom IGH gebauten Lysimeter in der ungesättigten Überdeckung des Grundwasserleiters entsprechend einem Infiltrationstest einzuspeisen. Die nachfolgende Geoelektrik könnte nach dem System der Schlumberger Anordnungen mit Vergrößerung der AB-Abstände der Außensonden und fortschreitender vertikaler Eindringtiefe die absickernde Salzfront verfolgen und deren Sickerzeit und -geschwindigkeit messen.

Hart, St. Georgen an der Stiefing,
Stocking, Gerichtsbezirk Wildon
Steiermark

58 760 00



2. EINSPEISUNG

(R. FERKL, J.W. MEYER, W. KOLLMANN, S. SHADLAU)

2.1. Vorauswahl und Rahmenbedingungen

Nach Vorauswahl geeigneter Sonden unter Berücksichtigung eines detaillierteren Kenntnisstandes über die jeweiligen hydrogeologischen Rahmenbedingungen wurde die Sonde N 3 im Bereich von St. Georgen a.d. Stiefing für einen NaCl-Einspeiseversuch ausgewählt.

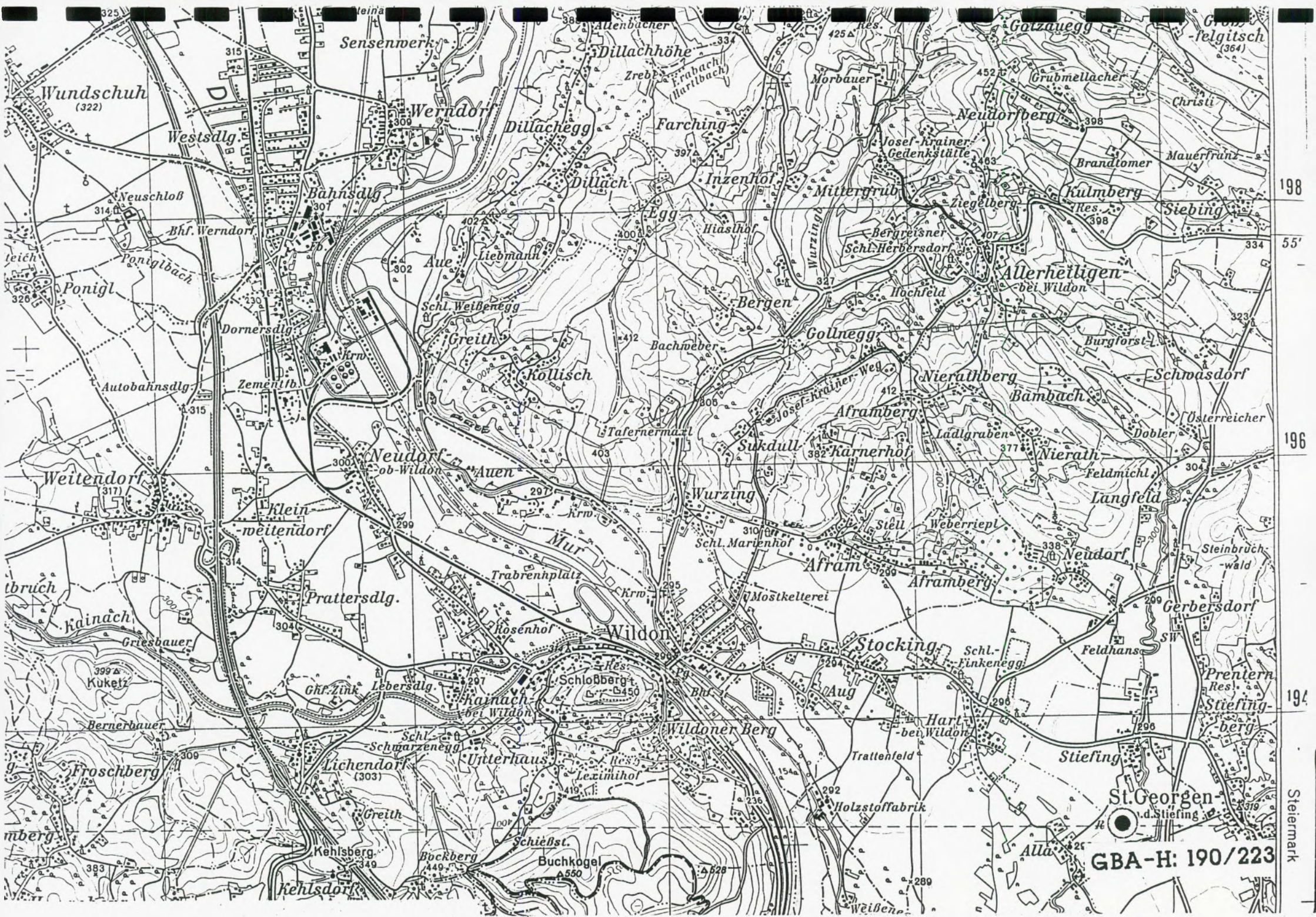
Der vorerst in Betracht gezogene Horizontalfilterbrunnen B IV wurde deswegen nicht benutzt, da die metallischen Horizontalfilterrohrtouren möglicherweise bis wahrscheinlich eine von vornherein nicht im Detail abschätzbaren Meßwertbeeinflussung mit sich bringen können.

Darüberhinaus wurde festgelegt, den Einspeiseversuch und die geoelektrischen Messungen vorerst ohne begleitende Pumpmaßnahmen vorzunehmen.

Im gegenständlichen Nahbereich um die Sonde N 3 sind aufgrund von Voruntersuchungen folgende Rahmenbedingungen bekannt bzw. werden auf Basis der bekannten Daten weiter angeschätzt:

K _r -Wert des Grundwasserleiters:	ca.	5 x 10 ⁻³	m/s
Mächtigkeit der Grundwassersäule:	ca.	5	m
Nutzbares Porenvolumen:	ca.	20	%
Abstandsgeschwindigkeit:	ca.	5	m/d
Grundwasserspiegel unter GOK	ca.	6,5-7,0	m
Dachkante des Grundwasserstauers	ca.	11	m

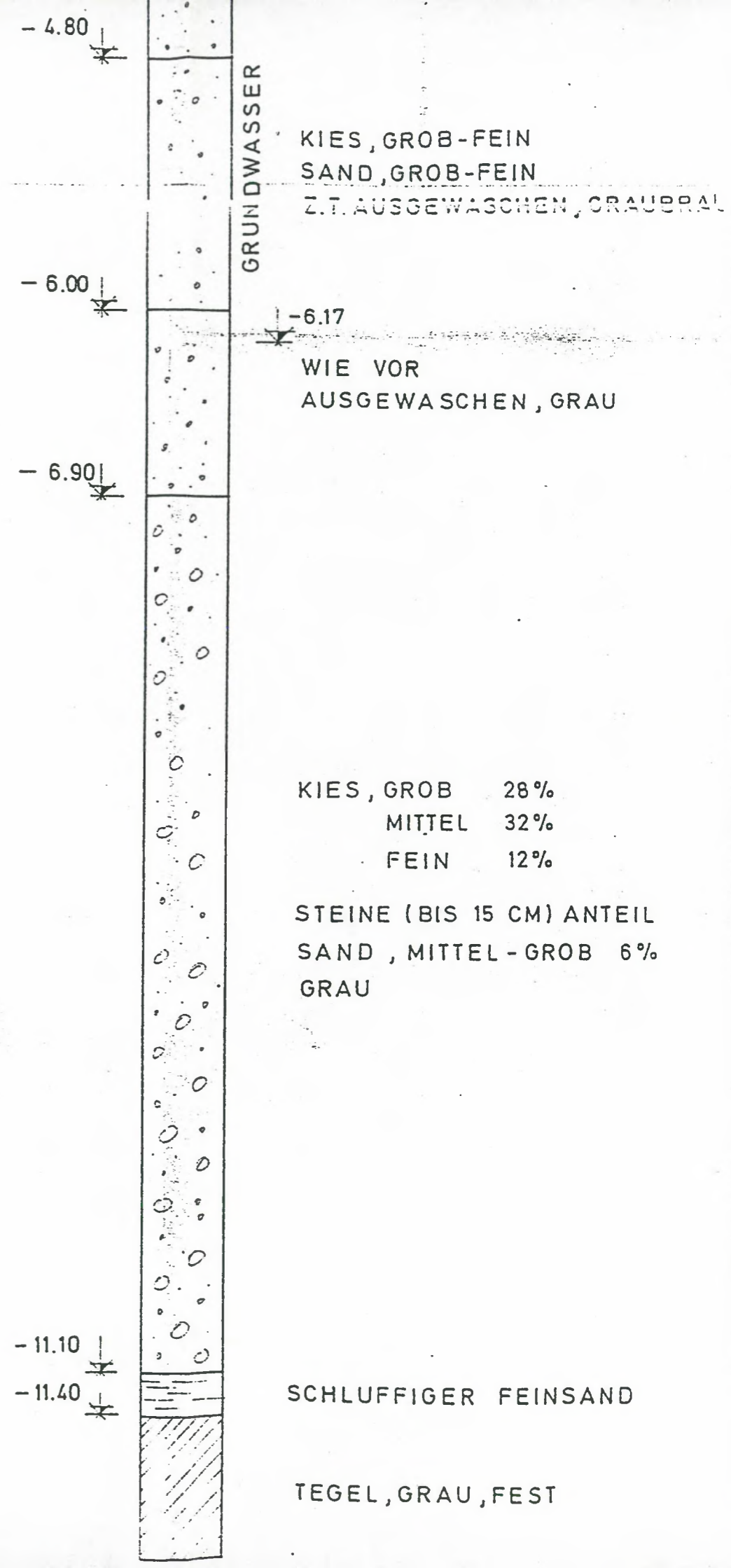
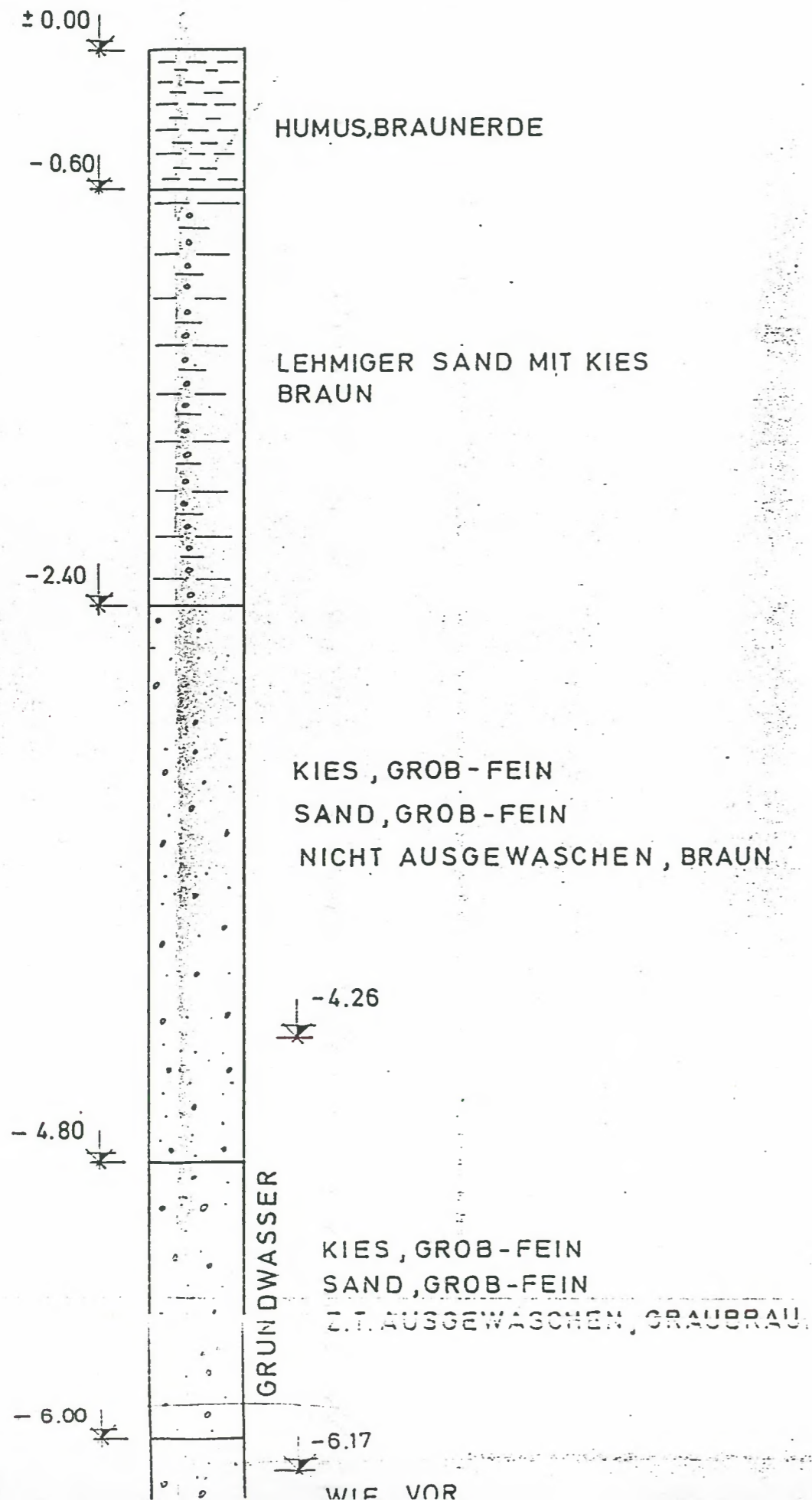
Die exakten Daten der Grundwasserbeobachtungssonde liegen bzw. lagen nicht vor. Es ist/war bekannt, daß die Sonde mit einem 1 bis 1,5 m tiefen Sumpf ausgeführt ist. Die Spezifika des Filterrohres (Filterfläche in % und Filterschlitzweite sowie Körnung des Kiesmantels) sind/waren nicht bekannt.



GBA-H: 190/223

Steiermark

BOHRPROFIL VI M=1:25



GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT
FACHABTEILUNG GEOCHEMIE

A-1031 Wien, Rasumofskygasse 23; Tel: (0222) 72 56 74-75DW
Telex-NR. 132927

.....
Wien, am 5. Dezember 1990

UNTERSUCHUNGSBERICHT:

Nr.: CH-22/90

über Oberflächenwässer.....
.....
.....

EINSENDER: Dr. W. Kollmann....

Datum des Einganges: 21.9.1990.....

Datum der Erledigung: 5.11.1990.....

PROJEKT: ÖAW-Projekt HÖ Ü 34-90.....
.....

UNTERSUCHUNGSPROGRAMM: Chemische Vollanalysen von 3 Wasser-..
proben.....
.....
.....
.....

PROBENAHEME: Dr. W. Kollmann

am: 8. 1990

Wird die Probenahme nicht von Mitarbeitern der Fachabteilung Geochemie durchgeführt oder überwacht, beziehen sich die Untersuchungsergebnisse nur auf die eingesandten Proben. Es kann keine Gewähr für eine ordnungsgemäße, kontaminationsfreie Probenahme übernommen werden. Veröffentlichungen, auch auszugsweise, bedürfen der Zustimmung der Geologischen Bundesanstalt.

Der Bericht umfaßt 4 Seiten.

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT
 Fachabteilung Geochemie

Datum : 90/12/05

ANALYSENERGEBNIS

Analysennummer : CH-22/90
 Probennummer : H 190/222
 Temperatur (Luft) : /
 Temperatur (Wasser) : 11.1
 pH-Wert (Gelaende) : /
 pH-Wert (Labor) : 7.95
 Leitfaehigkeit (Gelaende) : 889
 Leitfaehigkeit (Labor) : 889

KATIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Calcium	153.500	7.660	74.958
Magnesium	25.500	2.098	20.530
Natrium	9.600	0.418	4.090
Kalium	1.700	0.043	0.421
Summe :	190.300	10.219	100%

ANIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Hydr.karb.	440.000	7.211	71.044
Chlorid	25.000	0.705	6.946
Fluorid	0.130	0.007	0.069
Nitrat	80.000	1.290	12.709
Sulfat	45.000	0.937	9.232
Summe :	590.130	10.150	100%

Verhaeltnis Kat/An : 1.007
 Gesamtmineralisation : 780.43 mg/l

Wassertyp : Ca - Mg - HCO₃

Anmerkung : N3 Stiefing

ANALYSENERGEBNIS

Analysennummer : CH-22/90
Probennummer : H 165/11
Temperatur (Luft) : /
Temperatur (Wasser) : /
pH-Wert (Gelaende) : /
pH-Wert (Labor) : 8.30
Leitfaehigkeit (Gelaende) : /
Leitfaehigkeit (Labor) : 674

KATIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Calcium	90.000	4.491	64.020
Magnesium	16.200	1.333	19.002
Natrium	26.200	1.140	16.251
Kalium	2.000	0.051	0.727
Summe :	134.400	7.015	100%

ANIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Hydr.karb.	202.500	3.319	47.286
Chlorid	58.500	1.650	23.508
Fluorid	0.130	0.007	0.100
Nitrat	75.000	1.210	17.239
Sulfat	40.000	0.833	11.868
Summe :	376.130	7.019	100%

Verhaeltnis Kat/An : .999
Gesamtmineralisation : 510.53 mg/l

Wassertyp : Ca - HCO₃ - Cl

Anmerkung : Hoedl Empersdorf 30

ANALYSENERGEBNIS

Analysennummer : CH-22/90
Probennummer : 183/78
Temperatur (Luft) : /
Temperatur (Wasser) : 7.4
pH-Wert (Gelaende) : /
pH-Wert (Labor) : 8.10
Leitfaehigkeit (Gelaende) : 162
Leitfaehigkeit (Labor) : 190

KATIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Calcium	25.000	1.248	56.267
Magnesium	11.000	0.905	40.803
Natrium	0.990	0.043	1.939
Kalium	0.850	0.022	0.992
Summe :	37.840	2.218	100%

ANIONEN

Stoff	mg/l	mval	mval %
Hydr.karb.	119.000	1.950	88.516
Chlorid	1.000	0.028	1.271
Fluorid	0.090	0.005	0.227
Nitrat	6.500	0.105	4.766
Sulfat	5.500	0.115	5.220
Summe :	132.090	2.203	100%

Verhaeltnis Kat/An : 1.007
Gesamtmineralisation : 169.93 mg/l

Wassertyp : Ca - Mg - HCO 3

Anmerkung : Qu. des Kierntner Hofes

2.2. NaCl-Einspeisung

Die Einspeisung von Kochsalz erfolgt in zwei Schritten, da der Ersteinspeiseversuch im Hinblick auf die Leitfähigkeits-erhöhung des Grundwassers im Nahbereich um die Sonde, nach den ersten Messungen zu urteilen, zu wenig bzw. kaum wirksam war.

2.2.1. Ersteinspeisung (2. Oktober 1990, Beginn 15.50 h)

Im Rahmen des Ersteinspeiseversuchs wurden insgesamt 50 kg NaCl mit 250 l H₂O verdünnt.

Die Einbringung erfolgte durch Einschütten in die Sonde und zwar 5 mal rund 50 l innerhalb jeweils einer knappen Minute mit einem Trichter. Der gesamte Einspeisevorgang dauerte rund 20 Minuten.

Der Grundwasserspiegel vor und nach dieser Einspeisung änderte sich lediglich im cm-Bereich, was auf eine rasche und wirksame Aufnahme der Einspeiselösung im Grundwasserkörper schließen läßt.

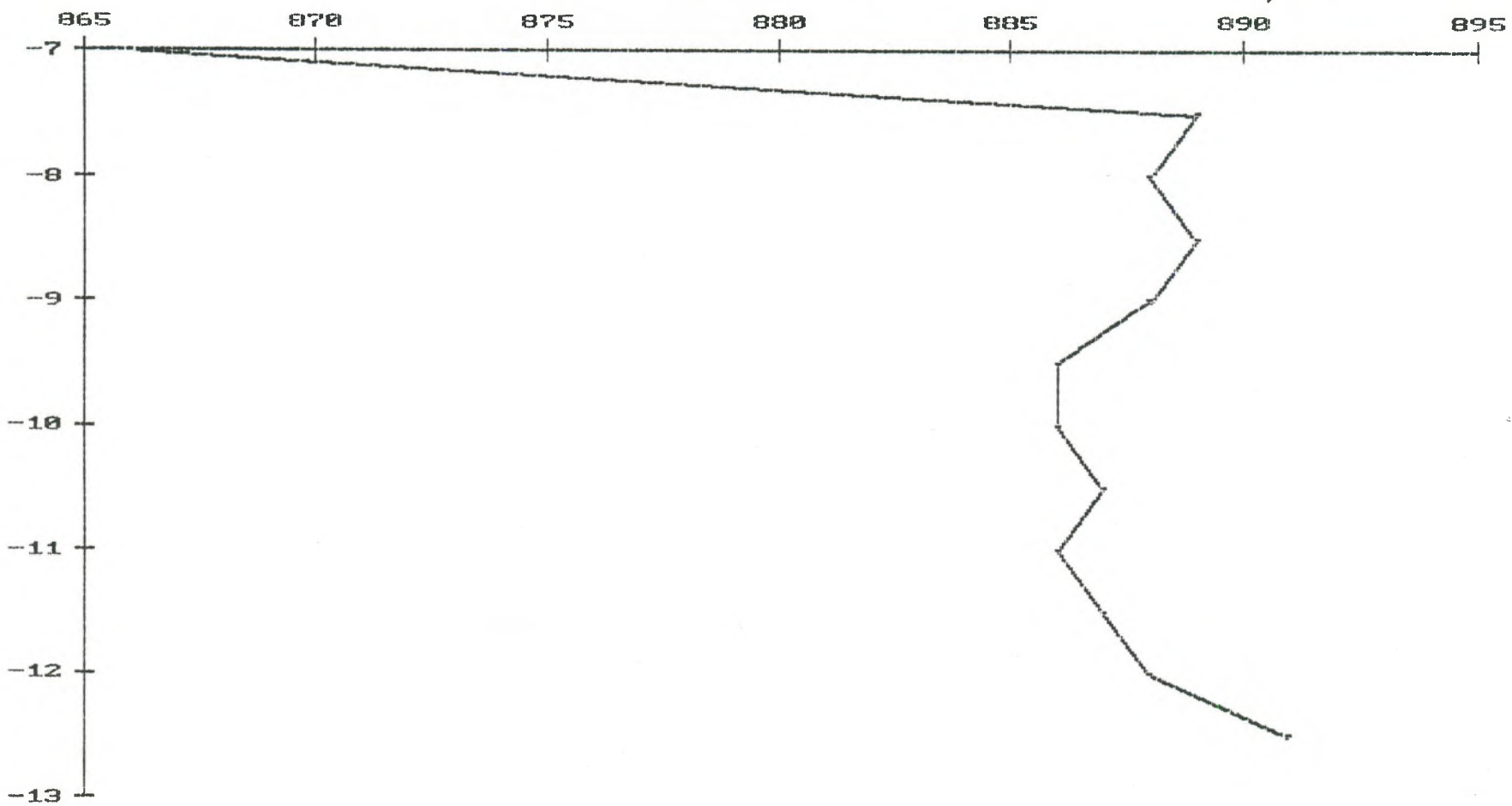
2.2.2. Zweiteinspeisung (3. Oktober 1990, Beginn 10.00 h)

Geoelektrische Messungen im Anschluß an die Ersteinspeisung am selben Tag sowie am nächsten Morgen, erbrachten im Vergleich zu den Blindmessungen vor der Ersteinspeisung praktisch keine Widerstands- bzw. Leitfähigkeitsänderungen. Aus diesem Grund wurde die Einspeisemenge als zu gering erachtet und ein zweiter Einspeiseversuch beschlossen.

Ein nach der Ersteinspeisung in der Sonde gemessenes Leitfähigkeitsprofil zeigte außerdem eine sehr hohe Kochsalzkonzentration durch aus der Lösung abgesetztes Salz im Bereich des Sondensumpfes an, was einen wesentlichen Nachteil im Hinblick auf die möglichst wirkungsvolle Durchmischung mit aktiv anströmendem Grundwasser bedeutet.

Sonde N3 Stiefing
2.10.1990
12.15 Uhr

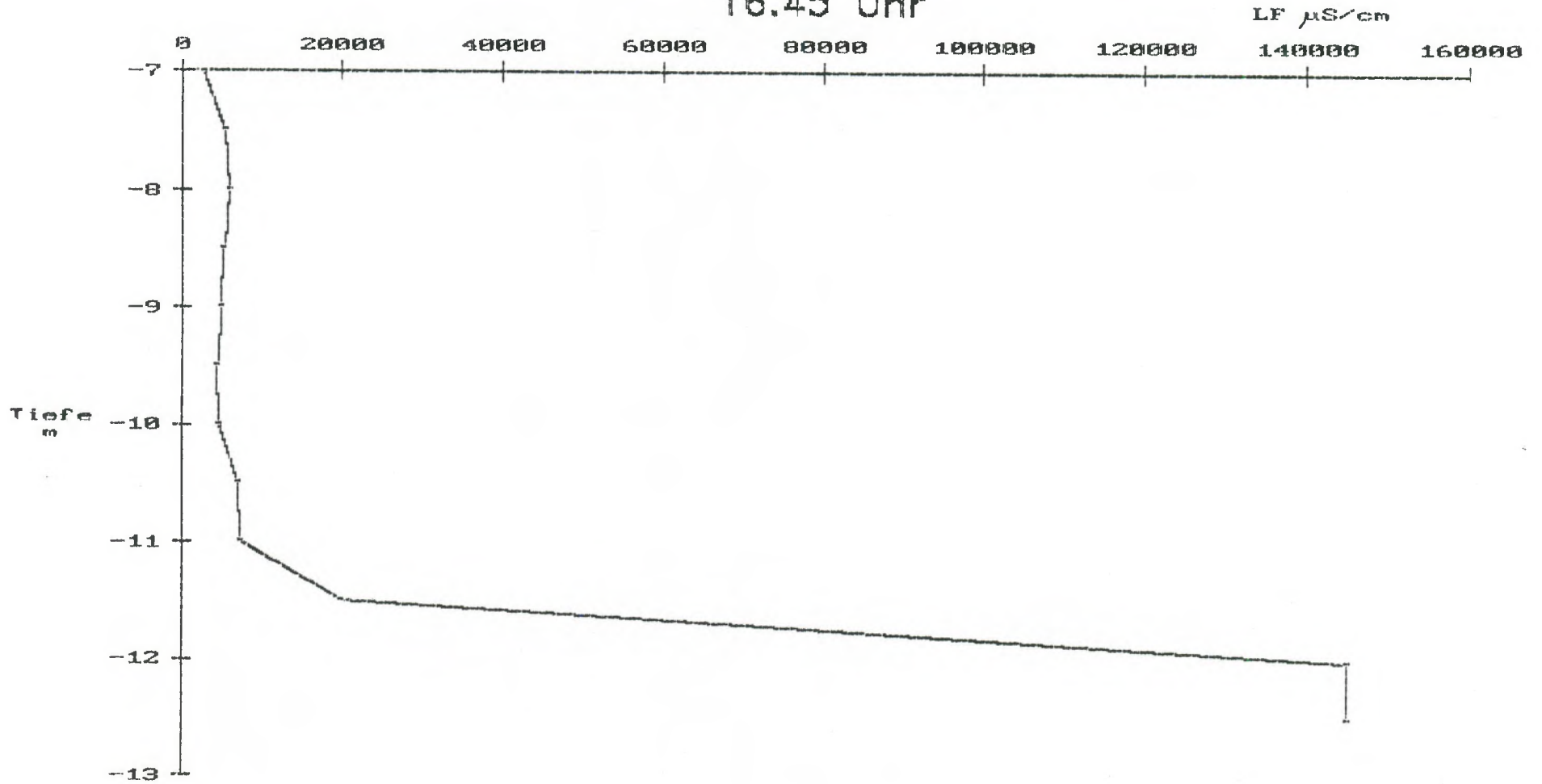
LF $\mu\text{S}/\text{cm}$



-15-

Tiefe
m

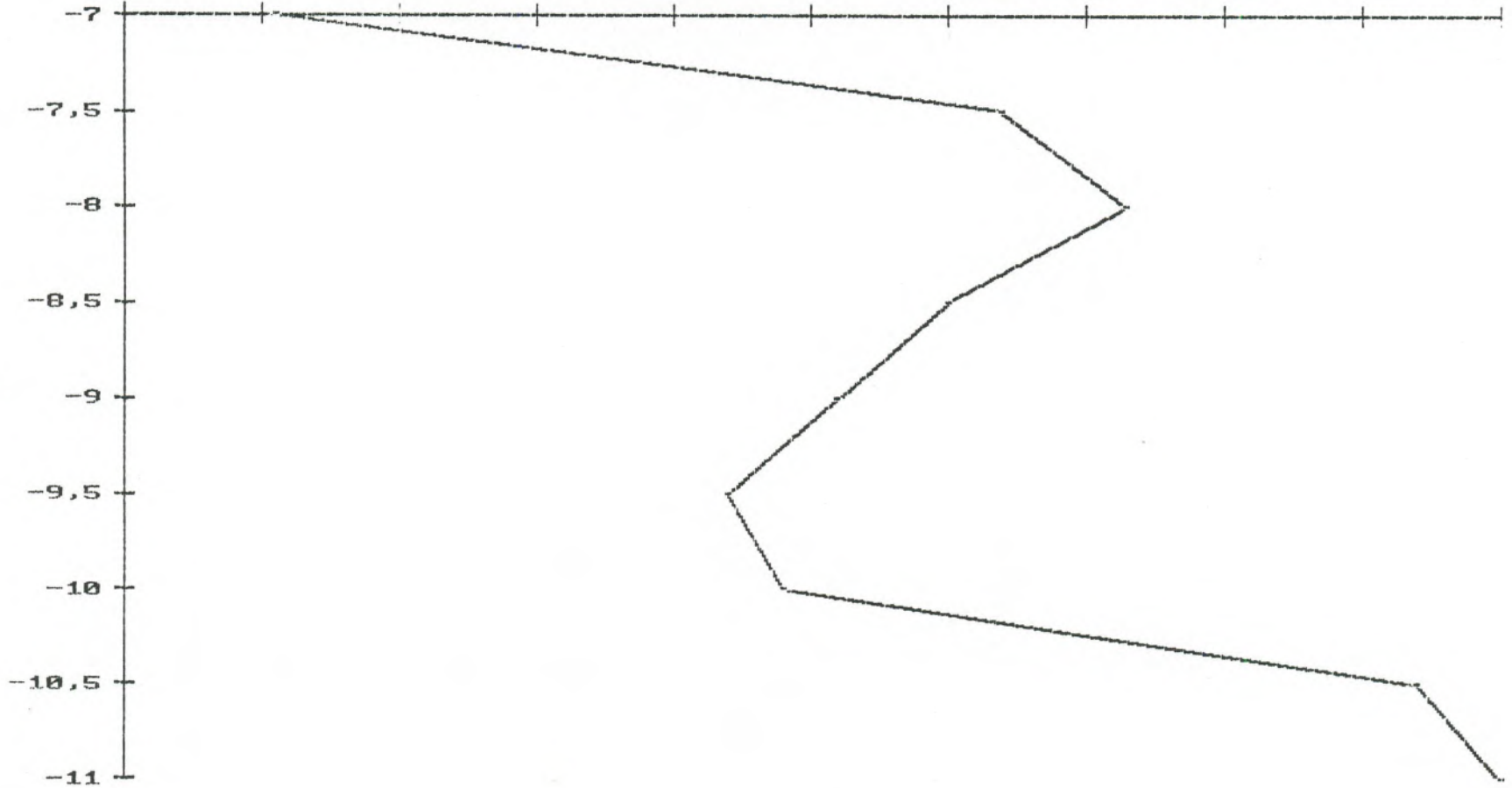
Sonde N3 Stiefing
2.10.1990
16.45 Uhr



Sonde N3 Stiefing
2.10.1990
16.45 Uhr

LF $\mu\text{S/cm}$

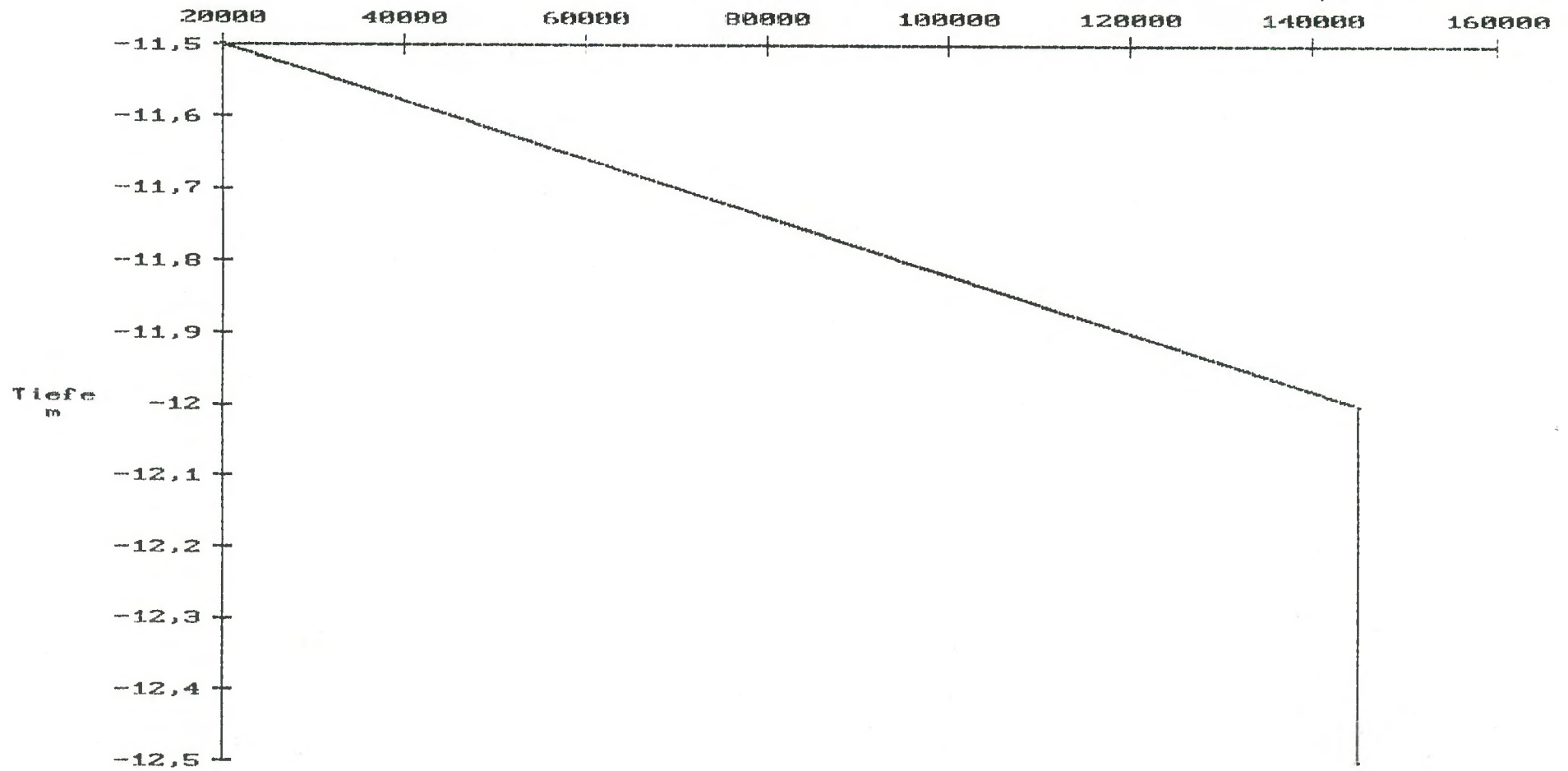
2200 2700 3200 3700 4200 4700 5200 5700 6200 6700 7200



Tiefe
m

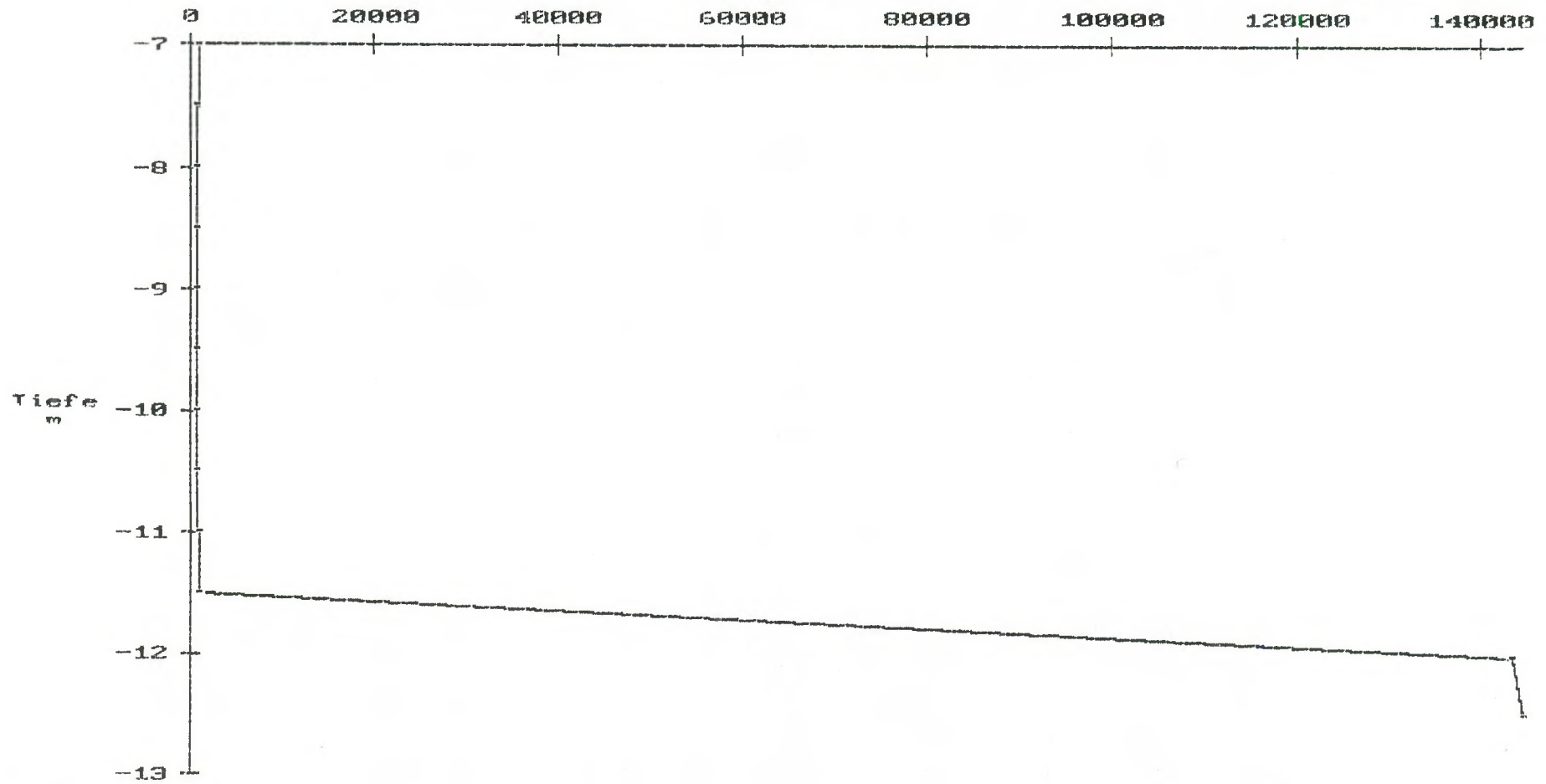
Sonde N3 Stiefing
2.10.1990
16.45 Uhr

LF $\mu\text{S}/\text{cm}$



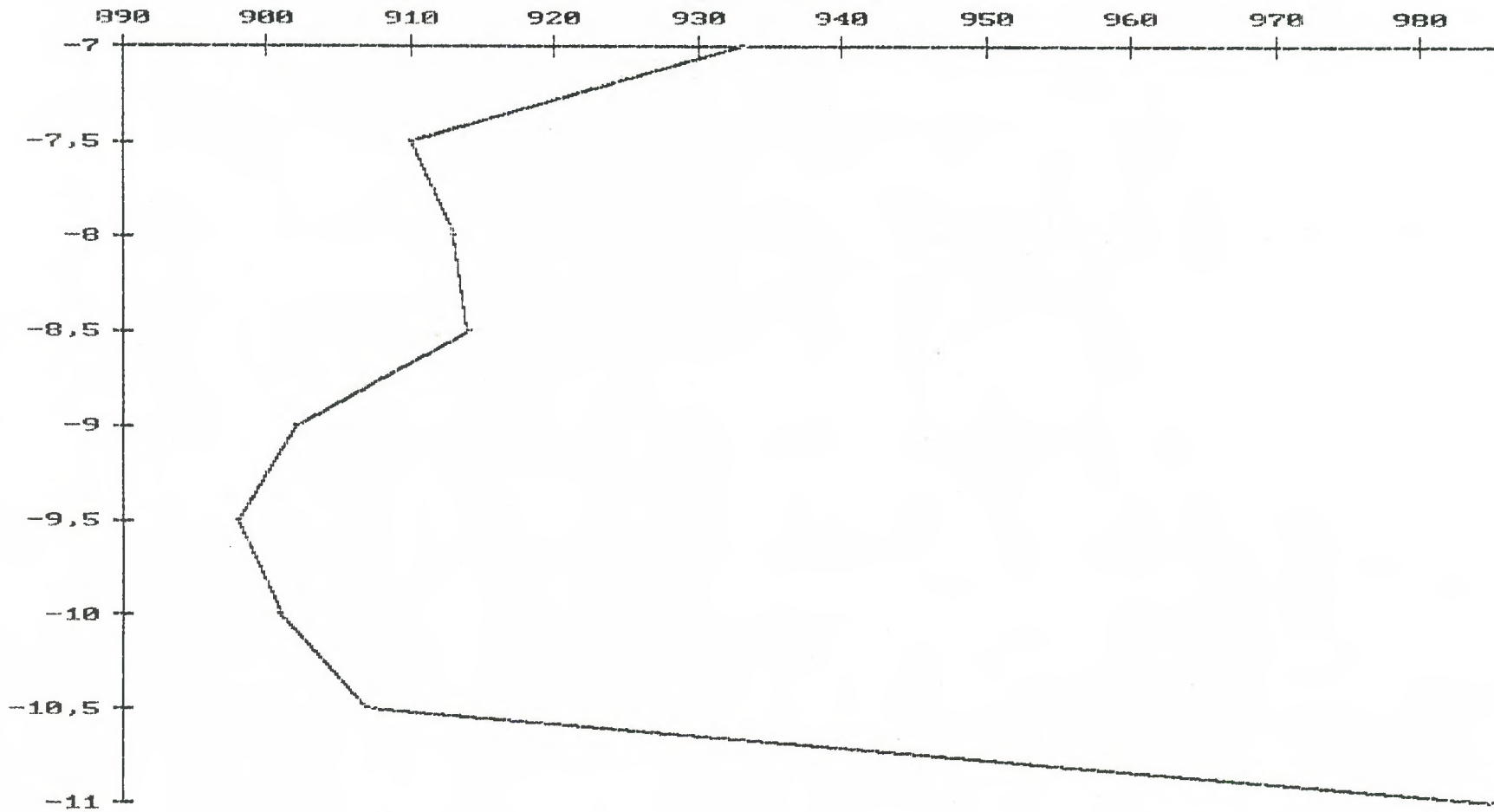
Sonde N3 Stiefing
3.10.1990
9.30 Uhr

LF $\mu\text{S/cm}$



Sonde N3 Stiefing
3.10.1990
9.30 Uhr

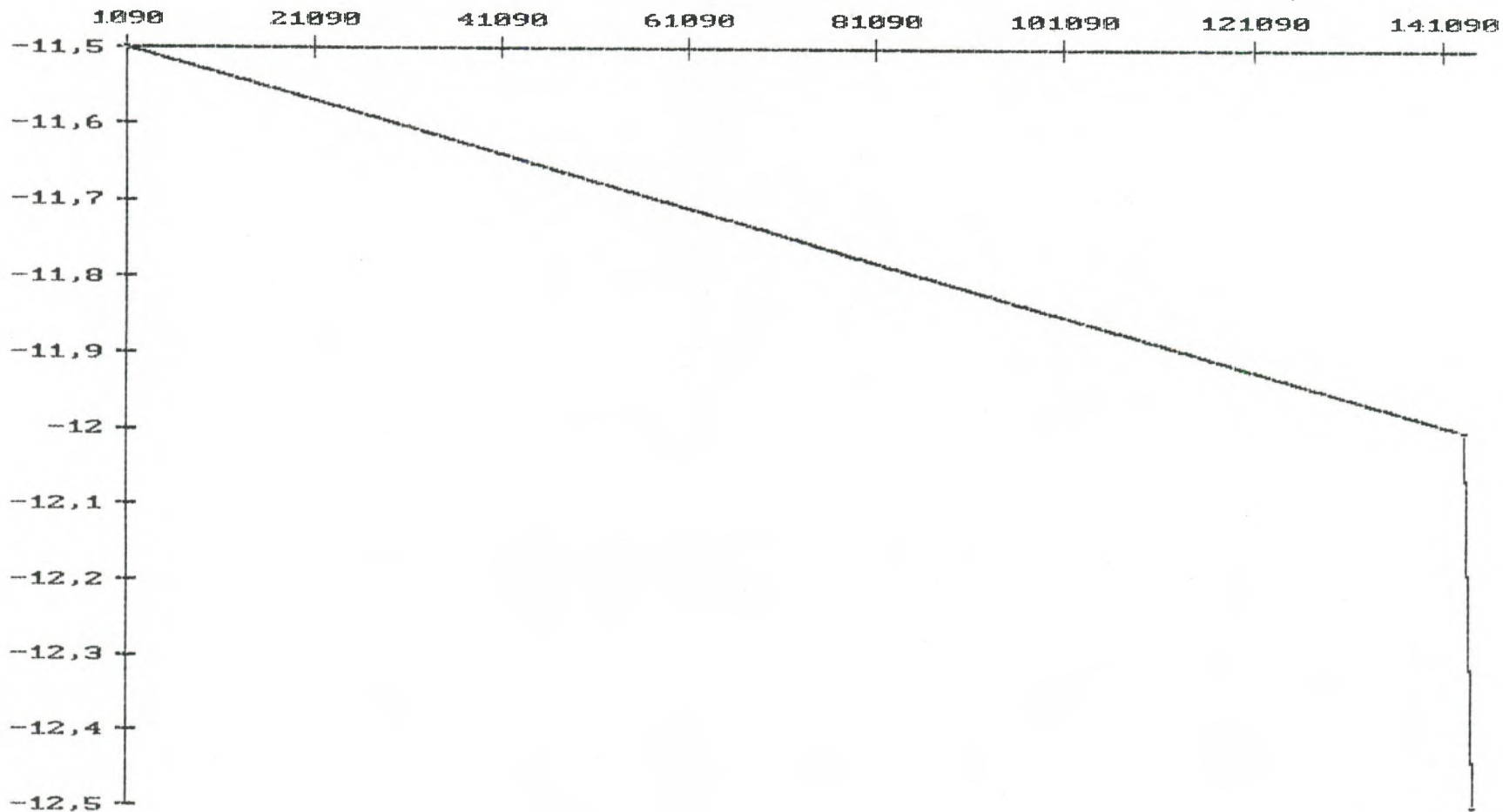
LF $\mu\text{S}/\text{cm}$



Tiefe
m

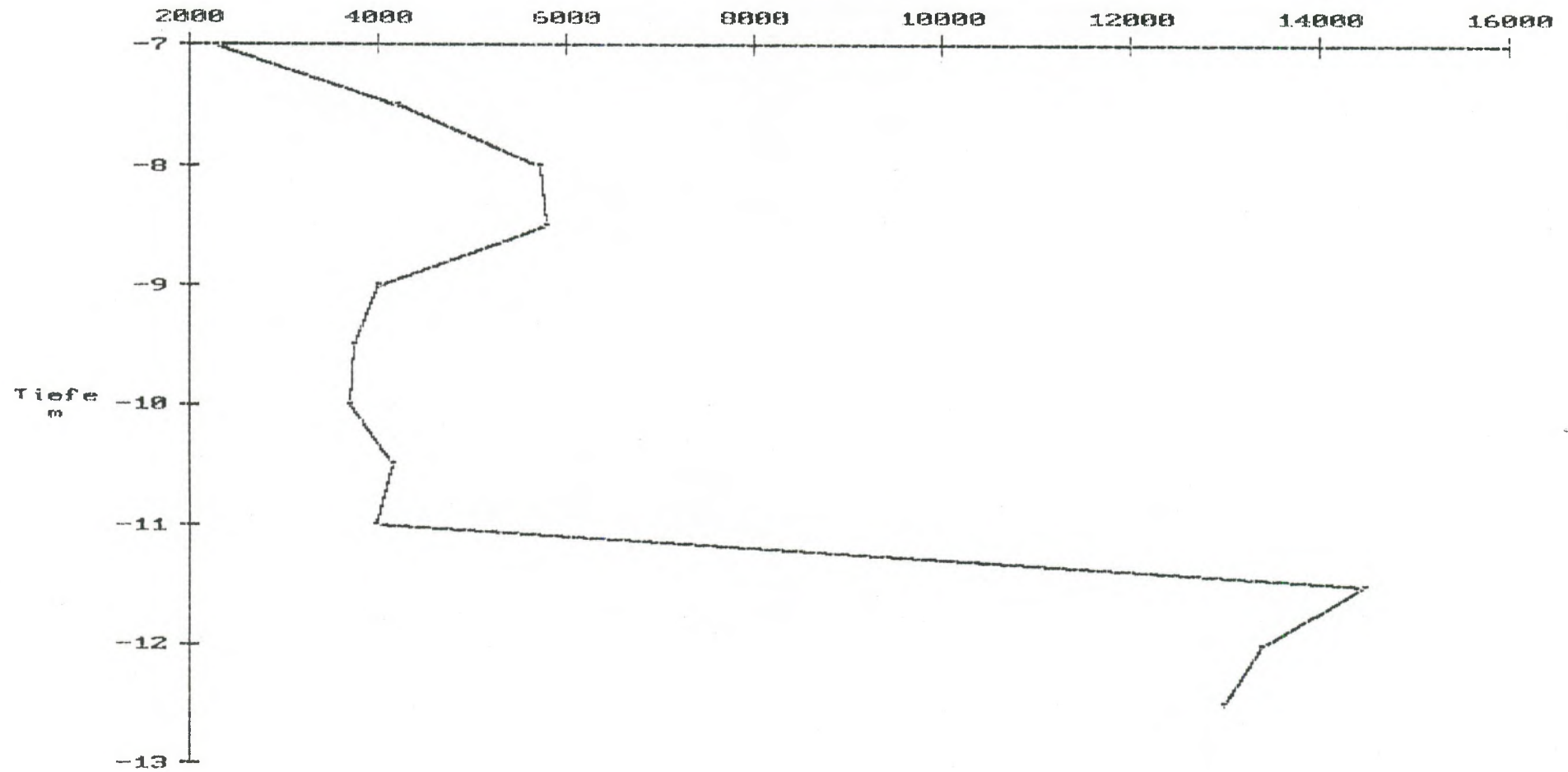
Sonde N3 Stiefing
3.10.1990
9.30 Uhr

LF $\mu\text{S/cm}$



Sonde N3 Stiefing
3.10.1990
11.00 Uhr

LF $\mu\text{S/cm}$



Der zweite Einspeiseversuch erfolgte mit 150 kg NaCl, verdünnt mit 750 l H₂O, wobei unmittelbar nach Einbringung der Lösung 1000 l H₂O nachgespült wurden.

Um den Durchmischungseffekt möglichst zu erhöhen, wurden die 1000 l Nachspülung mittels eines Feuerwehrschauches direkt in den SONDENSUMPF gepumpt. Das hier ebenfalls gemessene Leitfähigkeitsprofil zeigte einen deutlich besseren Durchmischungsgrad. Wie beim Ersteinspeiseversuch zeigten sich keine wesentlichen Grundwasserspiegeländerungen vor (6,98 m unter ROK) und unmittelbar nach der Einspeisung (6,96 m unter ROK). Der Einspeisevorgang inklusive Nachspülen nahm rund 1 Stunde in Anspruch.

3. DURCHFÜHRUNG DER GEOELEKTRISCHEN MESSUNGEN

(St. DUMFARTH, R. FERKL, J.W. MEYER)

Der geoelektrische Nachweis der sich mit dem Grundwasser fortbewegenden Salzwolke, wurde mittels Gleichstrommessungen und zwar mit der Messanordnung nach WENNER versucht.

Es kam eine Geoelektrische Gleichstrommapparatur der Type GGA 30, Bodenseewerk Überlingen, BRD zum Einsatz.

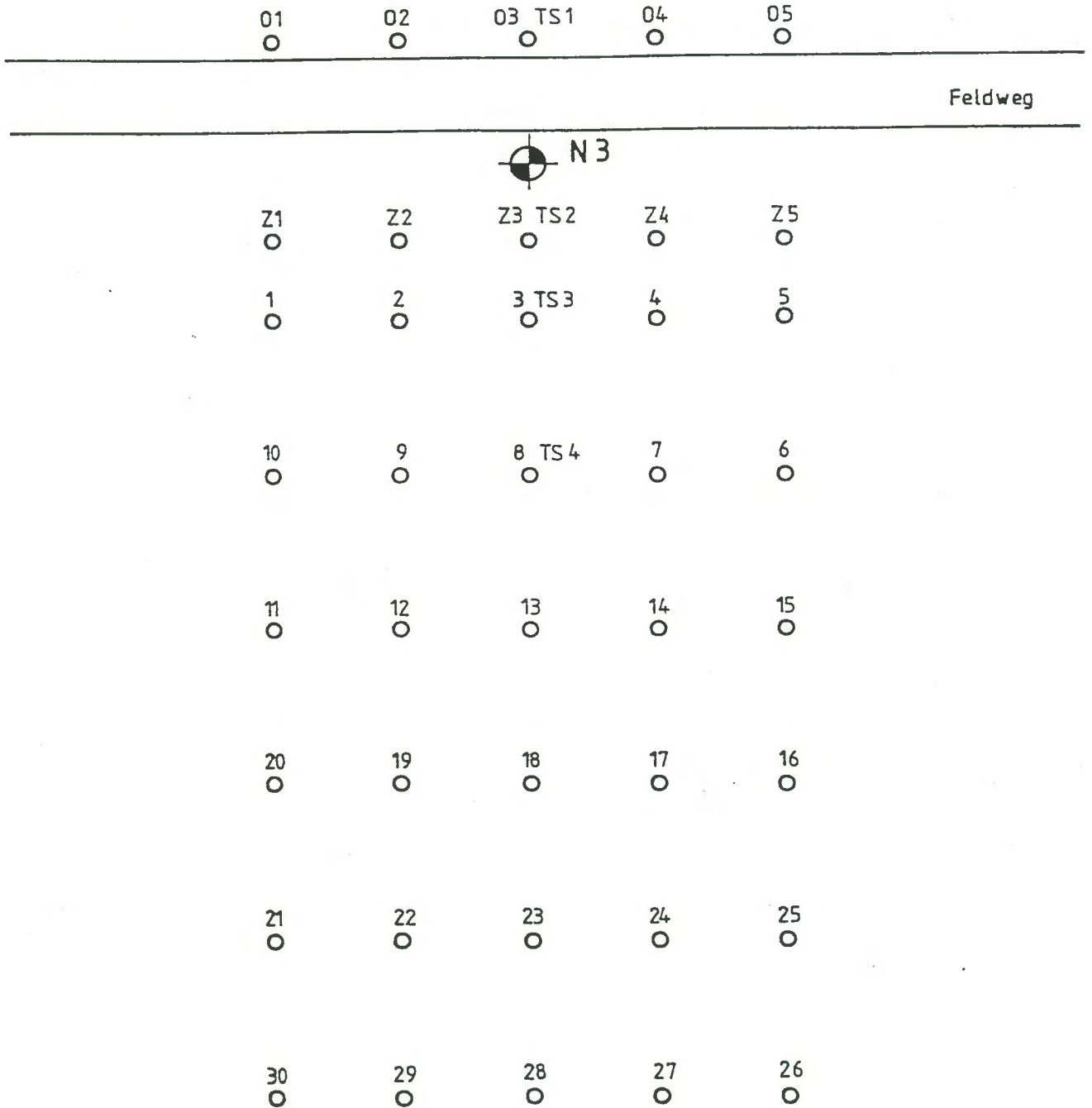
Zufolge der hydrogeologischen Rahmenbedingungen, insbesondere der Tiefenlage des Grundwasserkörpers wurde mit einer Eindringtiefe von rund 8 m gemessen, um etwa in die Teufenmitte des Grundwasserkörpers zu kommen. Dabei muß die Beeinflussung des jeweiligen Messwerts durch hangenden Bodenschichten über dieser maximalen Eindringtiefe berücksichtigt werden.

Vor der Einspeisung wurde ein Messraster von 7 x 5 Referenzpunkten ausgepflockt (vgl. Lageplan). Die Messpunkte hatten einen profilinternen (E-W-gerichteten) Abstand von 4 m sowie einen abstromwärts (N-S) gerichteten Abstand von 5 m.

Im Nachhinein wurde noch ein Zwischenprofil zwischen Einspeiseprobe und dem ersten abstromseitigen Profil gelegt.



MESSRASTER
WENNER Anordnung



M.: 1:200

Darüberhinaus wurden an- und abstromseitig insgesamt 4 Tiefsondierungspunkte vorgesehen, um in eventu den Einfluß der Salzwolke auf die vertikale Widerstandsverteilung bis zum Stauer an Hand der zeitlich sich verändernden Sondierungskurven zu sehen.

In Abhängigkeit von der Zeit wurden folgende Messerien mit der WENNER-Anordnung durchgeführt:

1. Blindmesserie vor Ersteinspeiseversuch, 2.10., 13.00 Uhr
2. Testmesserie nach Ersteinspeiseversuch, 2.10., 16.30 Uhr
 $t_1 = - 0,5 \text{ h}$
(keine vollständige Messerie, es wurden die Referenzpunkte im Nahbereich an- und abstromseitig der Sonde N 3 gemessen)
3. Testmesserie nach Ersteinspeiseversuch, 2.10., 17.00 Uhr
 $t_2 = - 1,0 \text{ h}$
(keine vollständige Messerie, es wurden die Referenzpunkte im Nahbereich an- und abstromseitig der Sonde N 3 gemessen)
4. Testmesserie nach Ersteinspeiseversuch, 3.10., 8.00 Uhr
 $t_3 = - 16 \text{ h}$
(ab dieser Serie Miteinbeziehung der Zwischenpunkte Z1 bis Z5)

Serie 2 bis 4 sind auch als Blindmessungen vor dem Zweiteinspeiseversuch zu verstehen.

5. Testmesserie nach Zweiteinspeiseversuch, 3.10., 14.00 Uhr
 $t_1 = - 4 \text{ h}$
6. Testmesserie nach Zweiteinspeiseversuch, 4.10., 8.00 Uhr
 $t_2 = - 22 \text{ h}$
7. Testmesserie nach Zweiteinspeiseversuch, 4.10., 12.00 Uhr
 $t_3 = - 26 \text{ h}$
8. Testmesserie nach Zweiteinspeiseversuch, 4.10., 16.00 Uhr
 $t_4 = - 30 \text{ h}$
9. Testmesserie nach Zweiteinspeiseversuch, 5.10., 8.00 Uhr
 $t_5 = - 46 \text{ h}$

4. MESSERGEBNISSE
(J.W. MEYER)

Die mit den Kartierungsmessungen nach WENNER erzielten Ergebnisse sind in insgesamt 7 Plots (Plot 1 bis 7) zwei- und dreidimensional dargestellt.

Die ermittelte Widerstandsbandbreite für den Grundwasserleiter kann zwischen rund 210 und knapp 300 Ohmmeter angegeben werden.

Die nach der Salzeinspeisung festgestellten Widerstandsunterschiede betragen im Mittel um 6 Ohmmeter, das Maximum liegt bei 12 Ohmmeter.

5. INTERPRETATION DER MESSERGEBNISSE
(J.W. MEYER, R. SUPPER)

Betrachtet man die beiden Blindmessungen vom 2. und 3. 10. 90, so zeigt sich, daß die Widerstände trotz einer Salzeinspeisung während der Zeitdifferenz von rund 16 Stunden annähernd gleich geblieben sind.

Die maximalen Differenzen betragen +/- 2 Ohmmeter mit Ausnahme der am Messpunkt 29 gemessenen Werte, welche um +6 Ohmmeter abweichen.

Diese Konstanz bzw. sehr enge Bandbreite des natürlichen Backgrounds bewirkt, daß im gegenständlichen Fall die Messungen nach der Salzeinspeisung trotz relativ geringer Widerstandsabminderungen ein bedingt aussagekräftiges Ergebnis liefern.

Vorweggenommen sei, daß die hier festgestellte, extrem enge Bandbreite der Blindmessungen im Allgemeinfall nicht zutreffen muß und es daher möglich sein kann, daß die beabsichtigten Messeffekte vom natürlichen Background überlagert werden.

Deshalb sollte die Background-Bandbreite durch eine Reihe zeitlich verschiedener Blindmessungen vor jedem derartigen Einspeiseversuch festgestellt werden.

Nach Durchsicht der Plots 3 bis 7, welche die Messerien nach der 2. Salzeinspeisung betreffen, fallen keine deutlichen Änderungen in der Widerstandsverteilung auf.

Eine Ausnahme bildet der Messpunkt 29, wo eine zeitabhängige Änderung von 20 Ohmmeter ermittelt wurde, welche eventuell durch eine Veränderung im Nahbereich der relevanten Elektroden verursacht sein kann.

Um den Einfluss der Salzeinspeisung besser vor Augen zu führen, wurden Differenzenplots angefertigt (Plot Nr. 8 bis 13). Dabei wurden von der Blindmessung am 3.10. die Werte der jeweiligen Folgemessungen abgezogen. Daraus folgt, daß eine Abnahme des Widerstandes nach der Einspeisung sich im Differenzenplot als relatives Widerstandsplus zeigt. Damit fällt eine Erhöhung der Salzkonzentration mit dem Widerstandsplus im Differenzenplot zusammen.

Der erste Differenzenplot (Plot Nr. 9) weist auf eine anfangs rasche und unregelmäßige Salzwolkenbewegung in Richtung Messpunkt 6/7 bzw. in Richtung Z1/Z2 hin. Die Messungen, 22 und 26 Stunden nach der Zweiteinspeisung (Plot Nr. 10, 11) zeigen Verschiebungen dieser Widerstandsmaxima in der Dimension von wenigen Metern.

Eindeutig und wiederholt ergibt sich bei den Messerien ab 30 Stunden (Plots Nr. 12, 13) nach der Zweiteinspeisung ein sehr deutliches Widerstandsminimum im Anstrombereich (Messpunkte 01 bis 05), was mit einem Zustrom an frischem Grundwasser interpretiert werden kann.

Zudem ergibt sich eine Abflachung der vorher festgestellten einzeln herausragenden Widerstandsmaxima, was den Hinweis auf den fortgeschrittenen Verdünnungseffekt im gesamten Messraster gibt.

Weitere detaillierte Interpretation sind in diesem Versuchsstadium (noch) nicht zulässig, da Randbedingungen, wie auch der in der Nacht vom 4. zum 5. 10. stattgefundenen und am 5. 10. noch andauernde starke Niederschlag, Messwerteeinflüsse haben können.

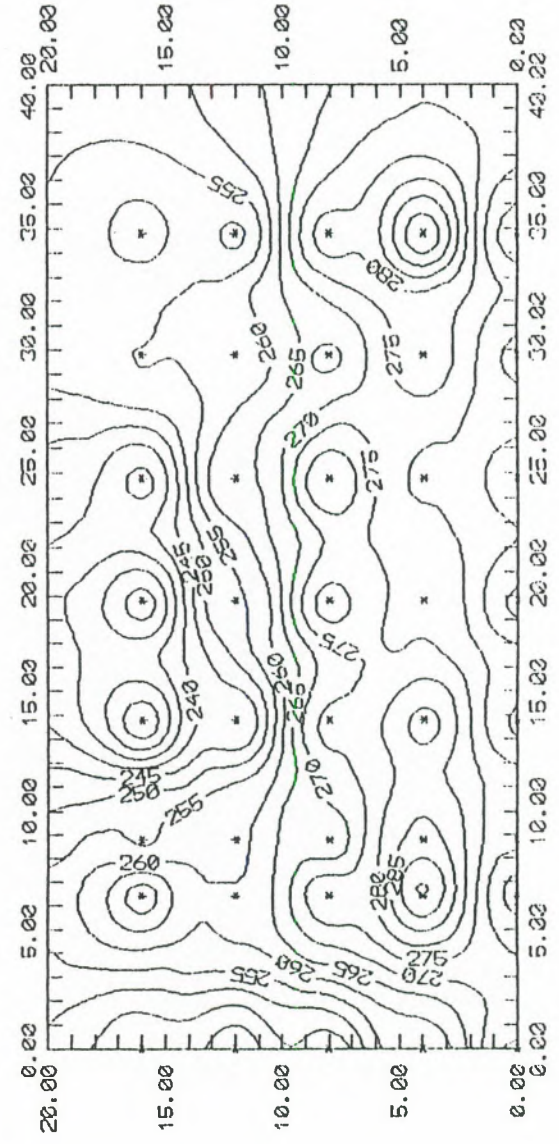
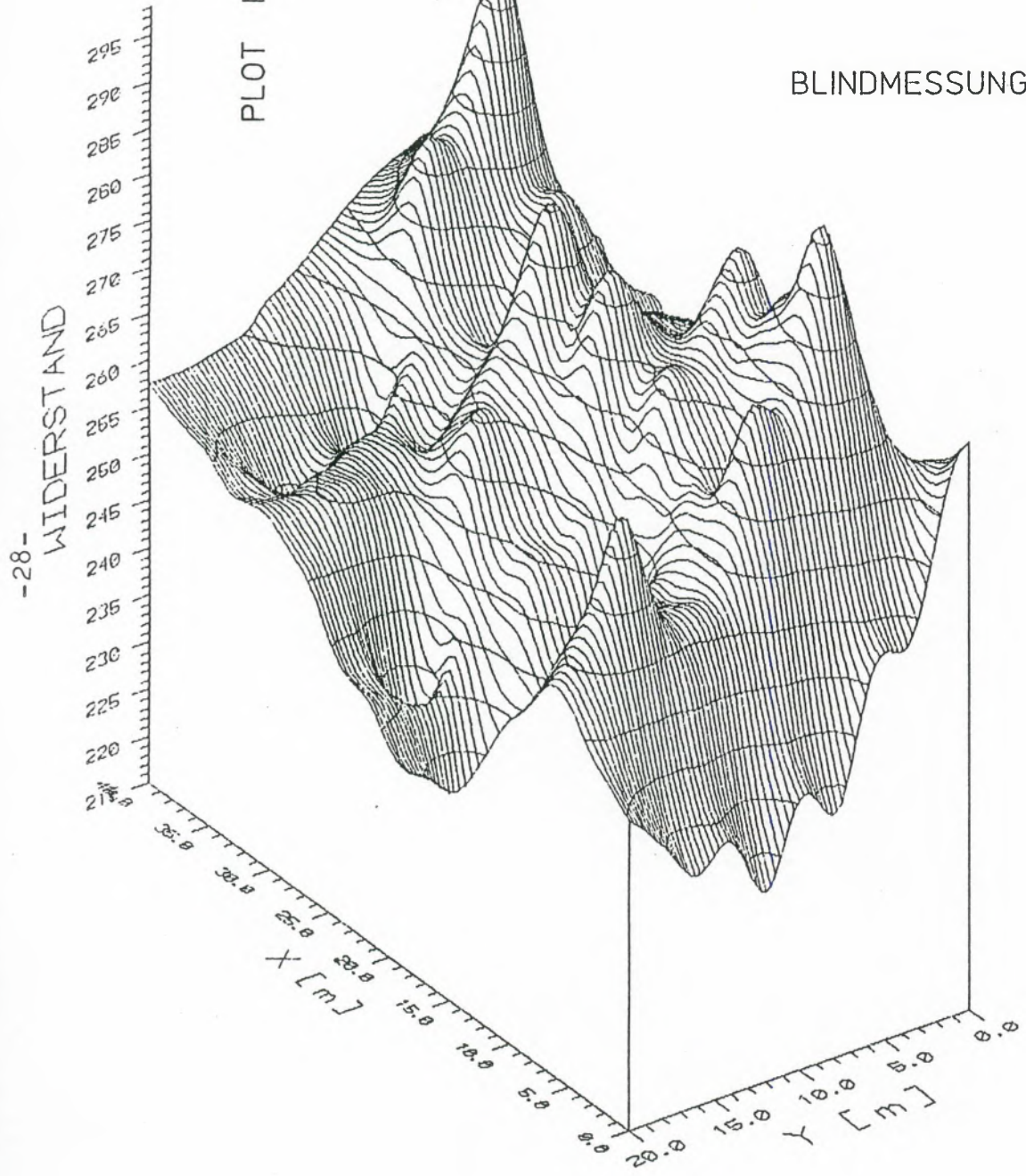
Die Sondierungskurven der zusätzlich gemessenen Tiefensondierungen zeigen keine eindeutige Interpretierbarkeit der Messdaten.

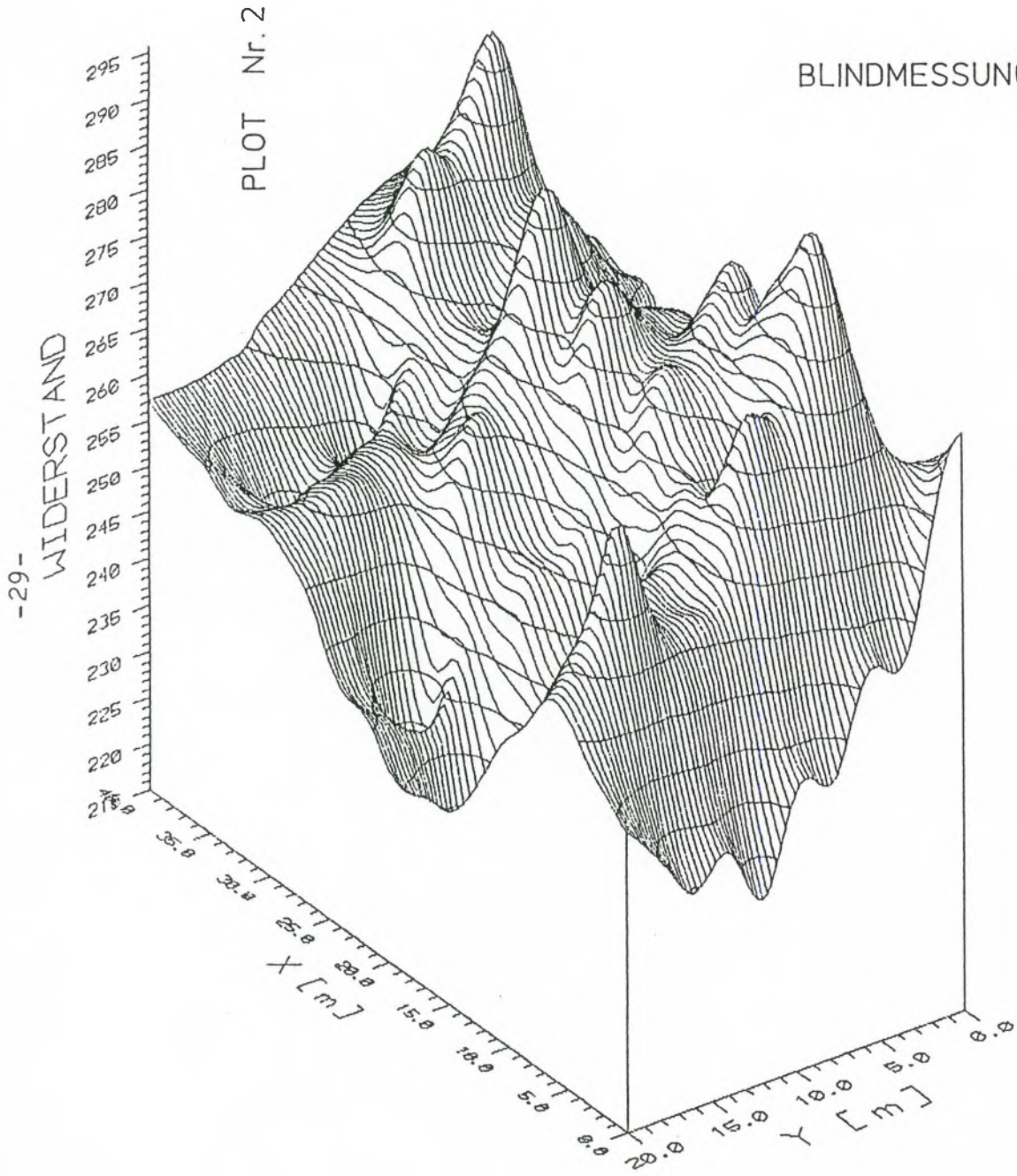
Festgestellt wurde eine durchgehende Periodizität von schichtspezifischen Widerständen in Abhängigkeit von der Zeit und der Messlokation. Diese periodischen Schwankungen sind aller Voraussicht nach auf magnetotellurische Einflüsse zurückzuführen.

Da diese Schwankungen in der Bandbreite der theoretisch durch die Salzeinspeisung zu erwartenden Messeffekte liegen können, ergibt sich daraus eine grundsätzlich unzuverlässige Interpretierbarkeit.

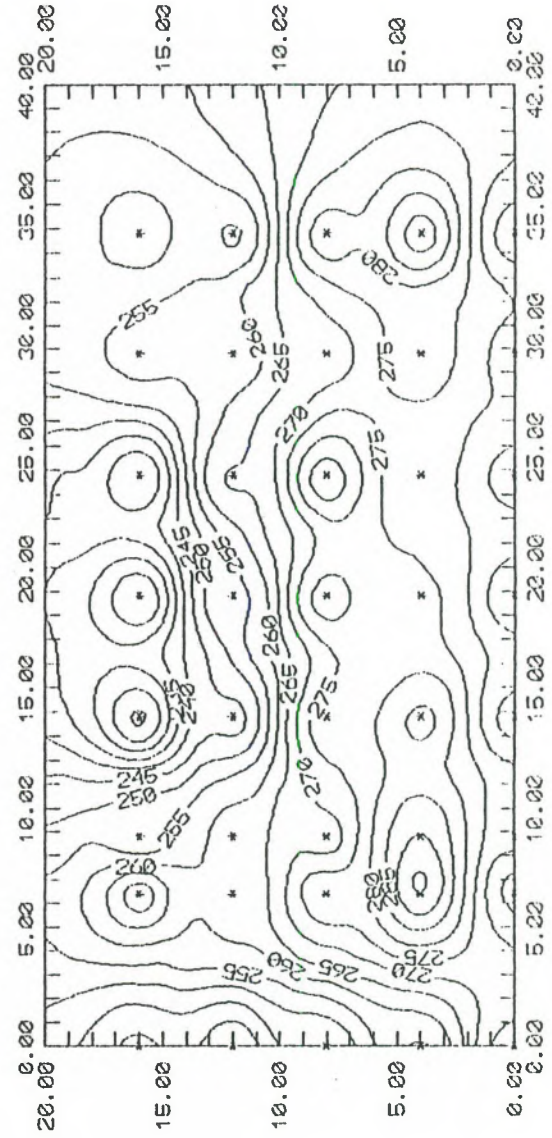
PLOT Nr.1

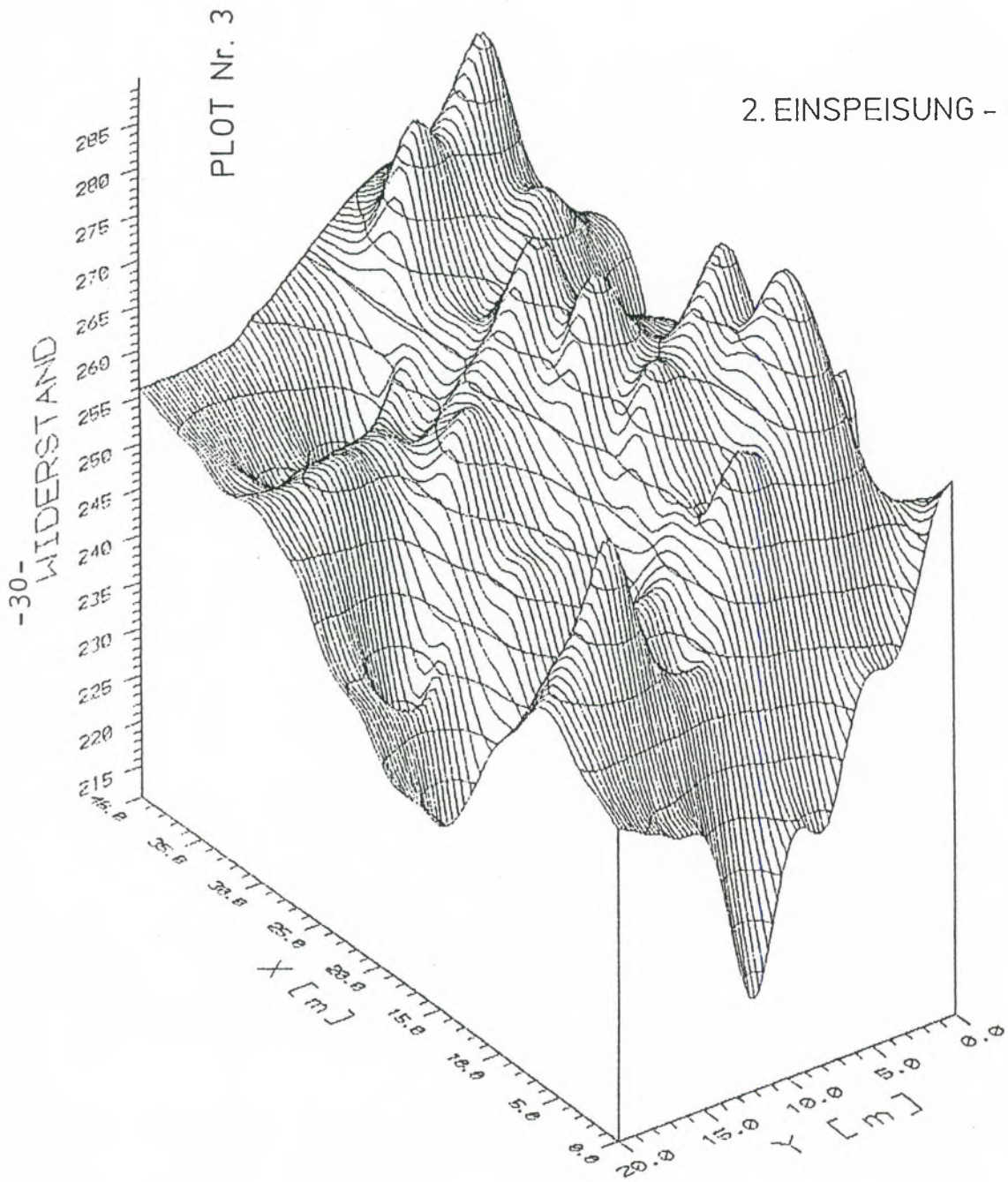
BLINDMESSUNG am 2.10.91, 13.00 Uhr



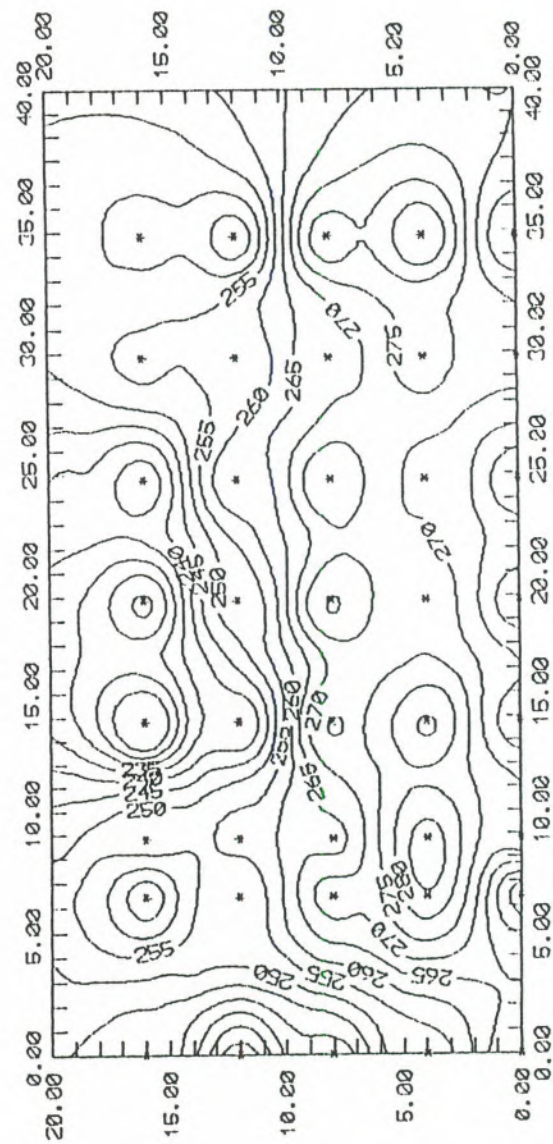


BLINDMESSUNG am 3.10.91, 8.00 Uhr





2. EINSPEISUNG - 4 Std (3. 10. 91)



-31-

WIDERSTAND

PLOT Nr 4

2. EINSPEISUNG - 22 Std (4. 10. 91)

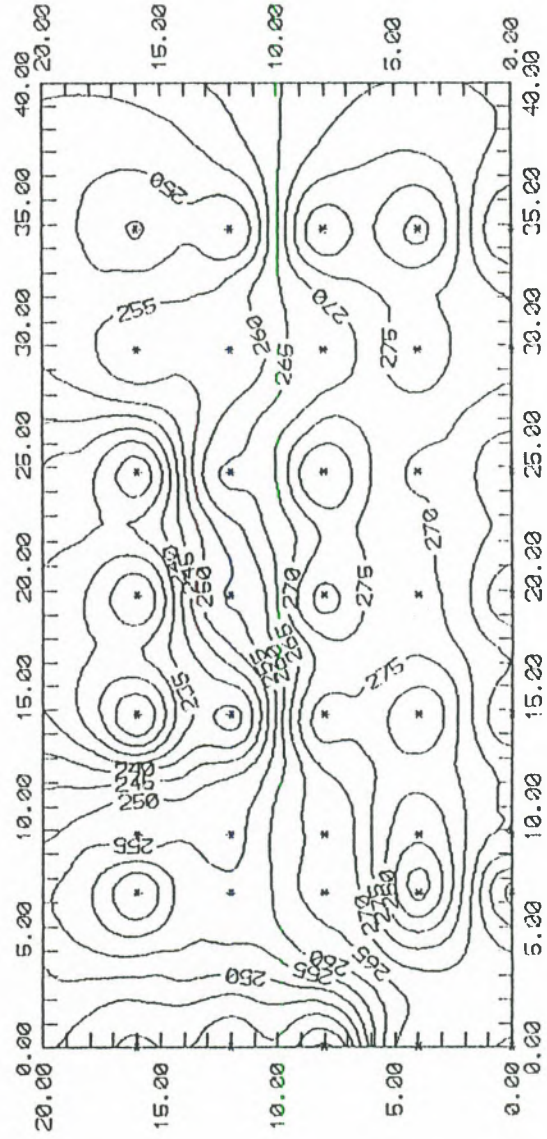
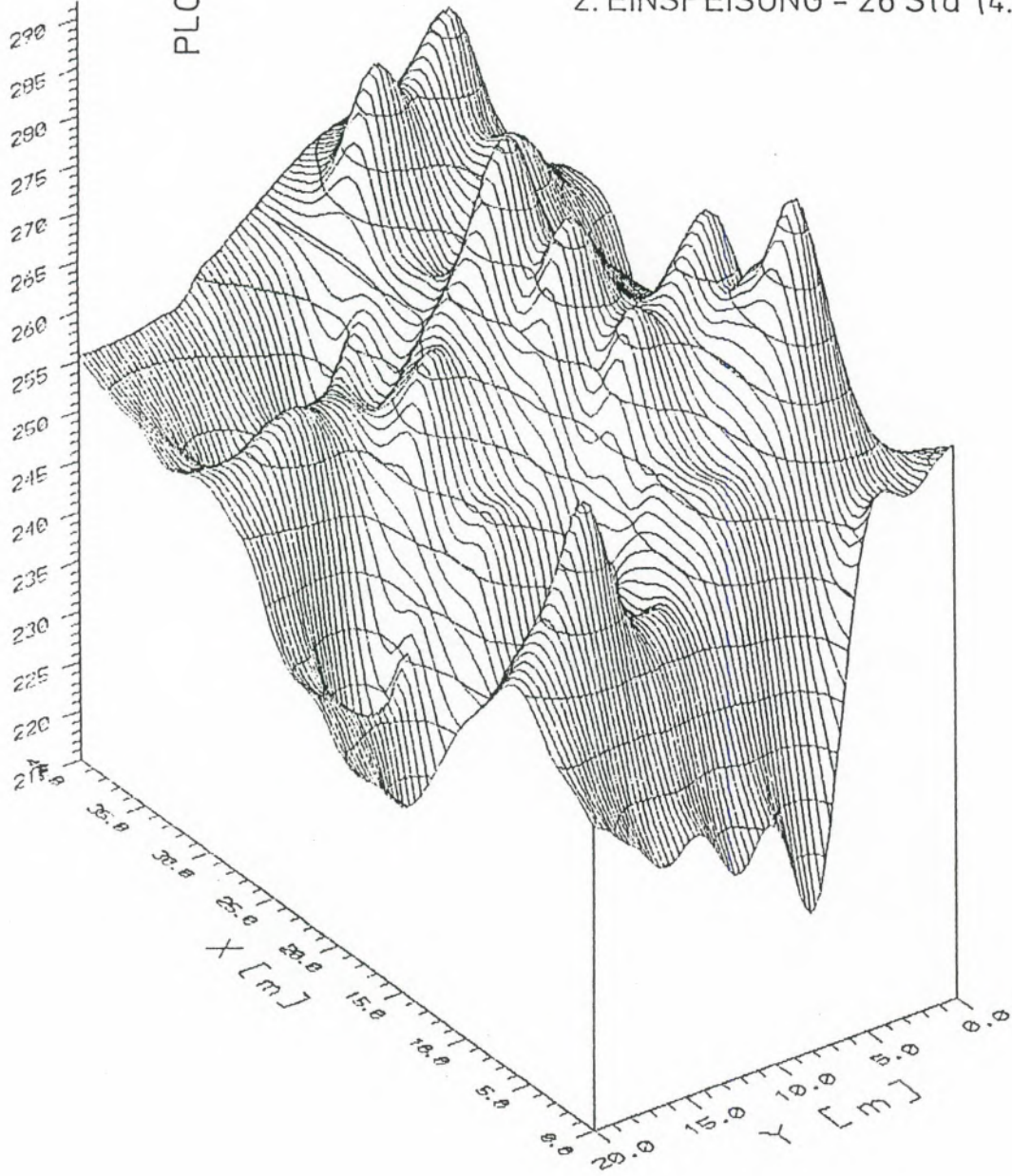
A 3D surface plot showing the distribution of resistance (Widerstand) over a rectangular area. The vertical axis represents resistance, ranging from 215 to 290. The horizontal axes represent X and Y coordinates in meters, both ranging from 0.0 to 35.0. The surface exhibits a complex, wavy topography with several distinct peaks and valleys, indicating localized areas of high and low resistance.

A 2D contour plot of the same data as the 3D plot. The horizontal axes are X [m] (0.00 to 40.00) and Y [m] (0.00 to 40.00). The plot shows contour lines representing constant resistance values, with labels such as 255, 260, 265, 270, 275, 280, and 285. The contours are roughly rectangular and arranged in a grid-like pattern, with some irregularities. Small asterisks (*) are scattered across the plot, likely marking specific data points or locations of interest.

WIDERSTAND

PLOT Nr. 5

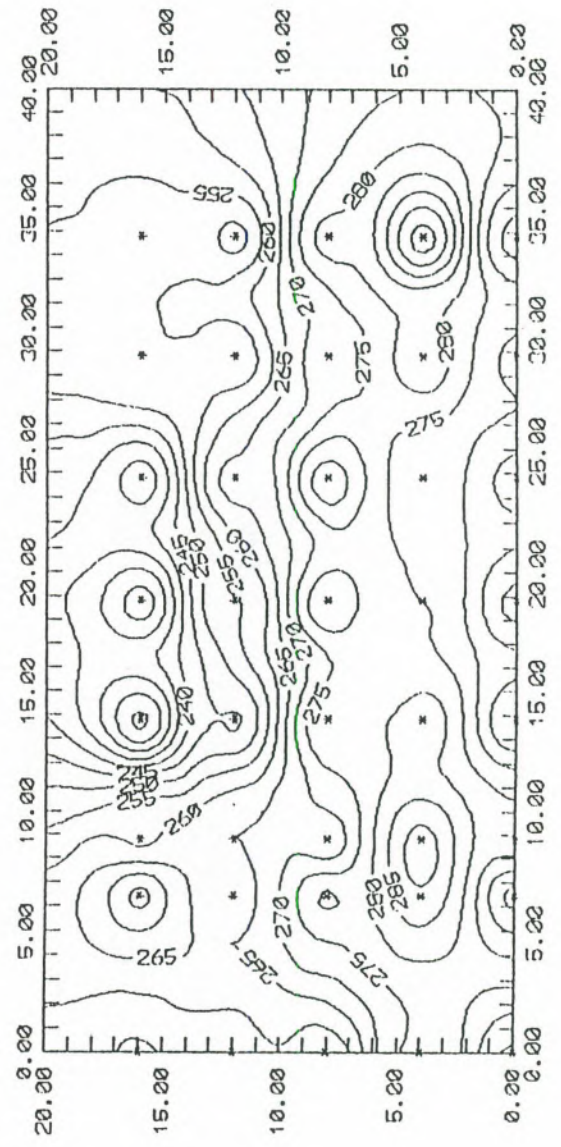
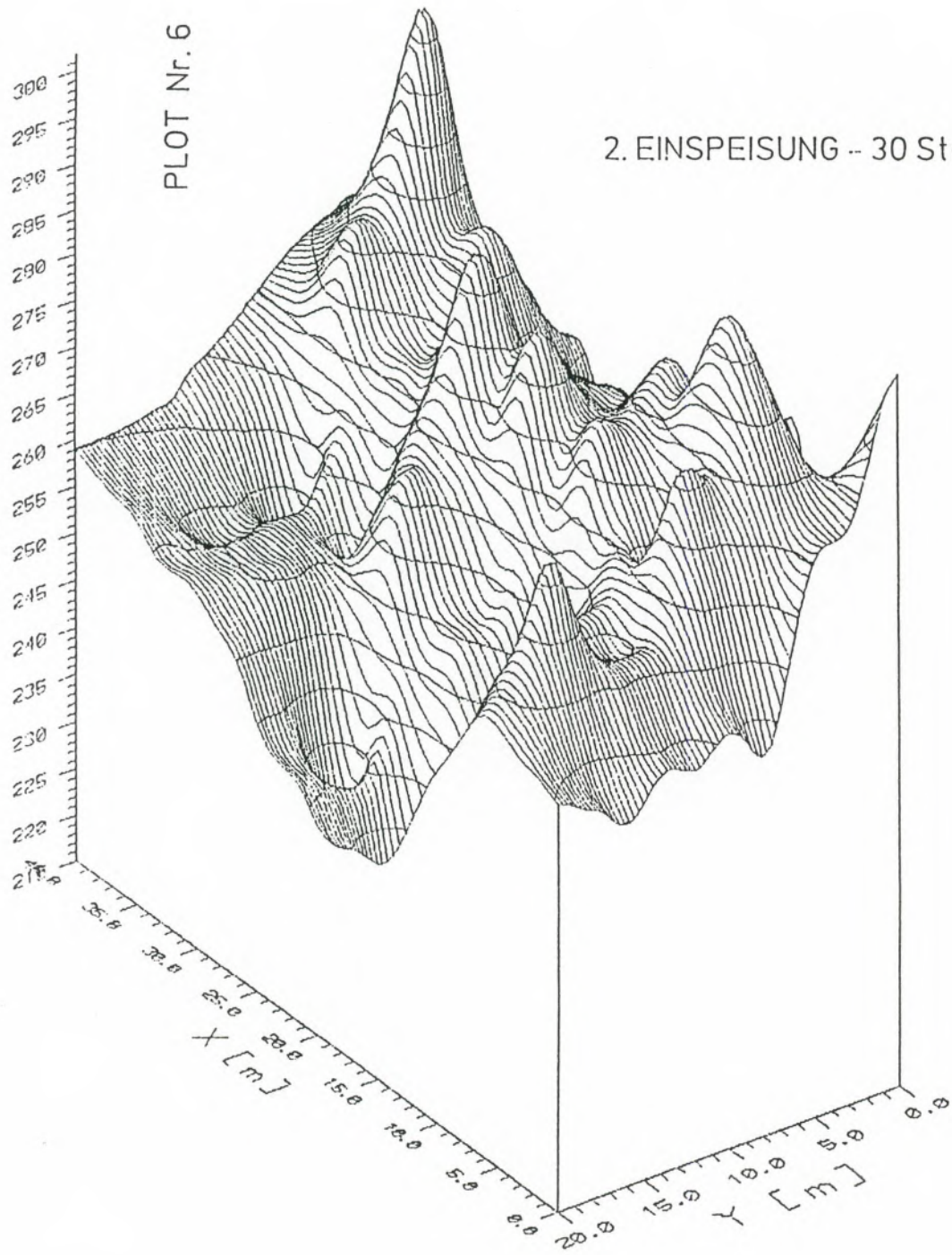
2. EINSPEISUNG - 26 Std (4. 10. 91)



WIDERSTAND

PLOT Nr. 6

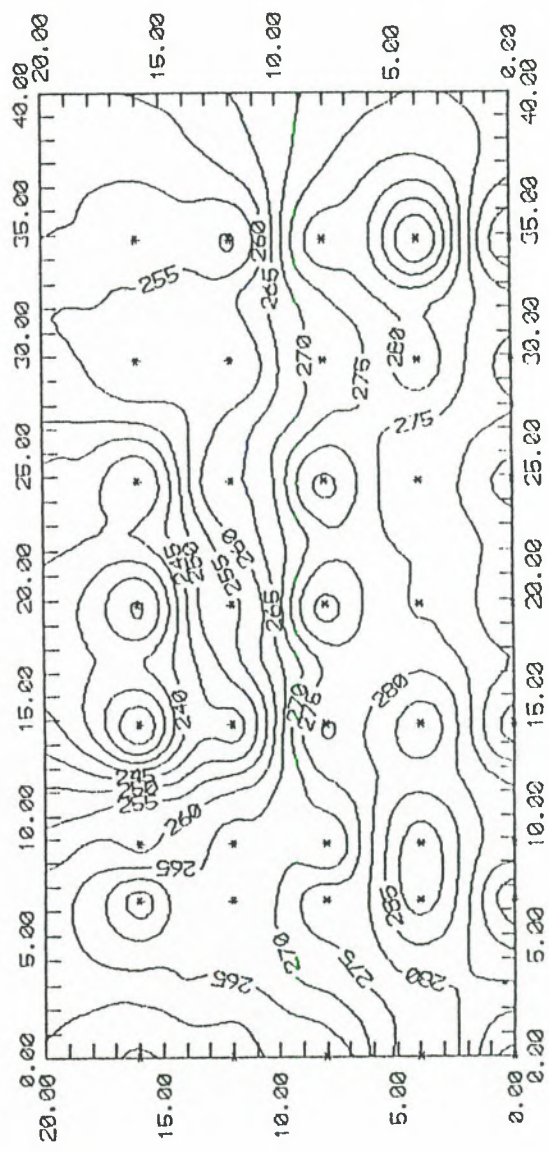
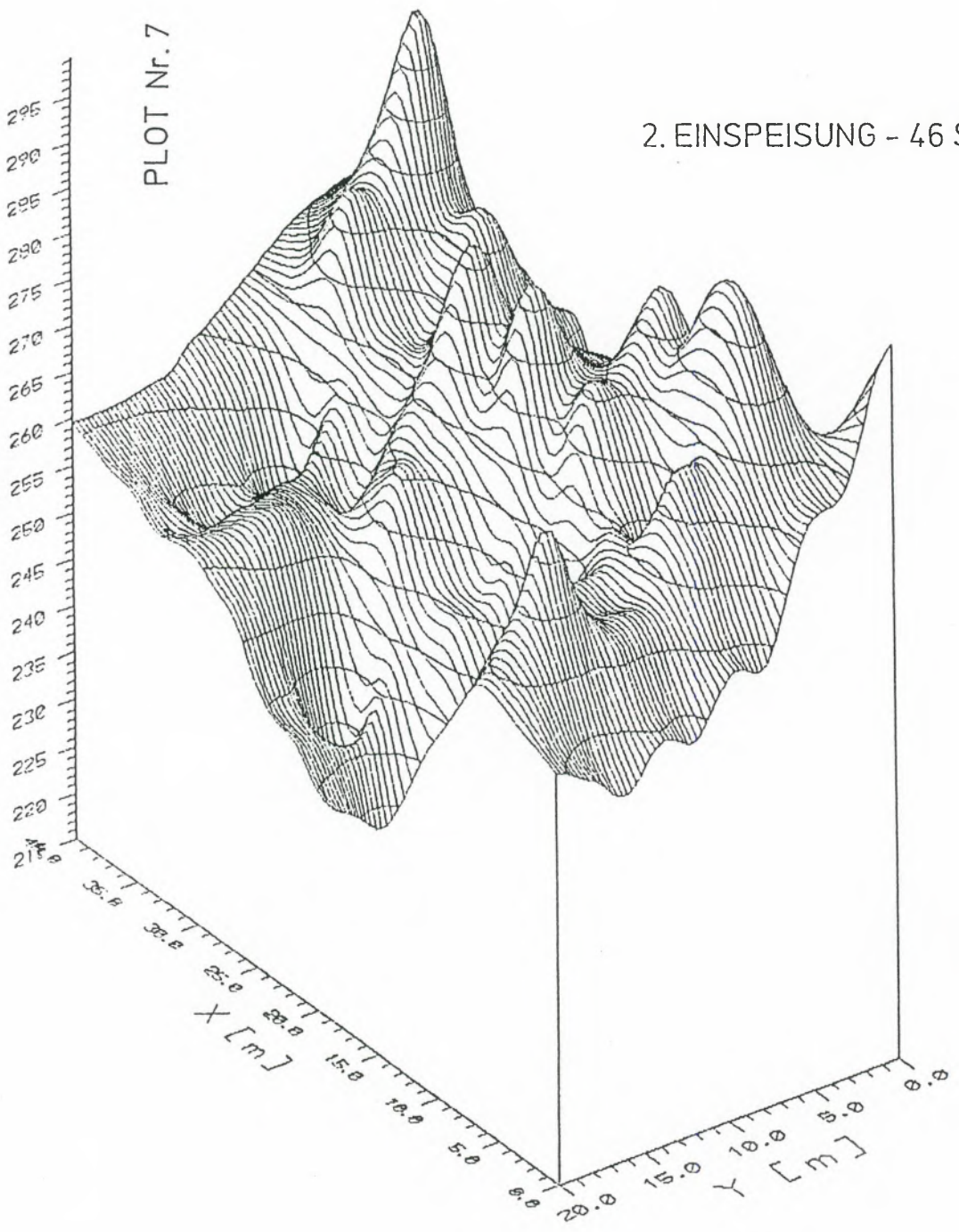
2. EINSPEISUNG - 30 Std (4. 10. 91)



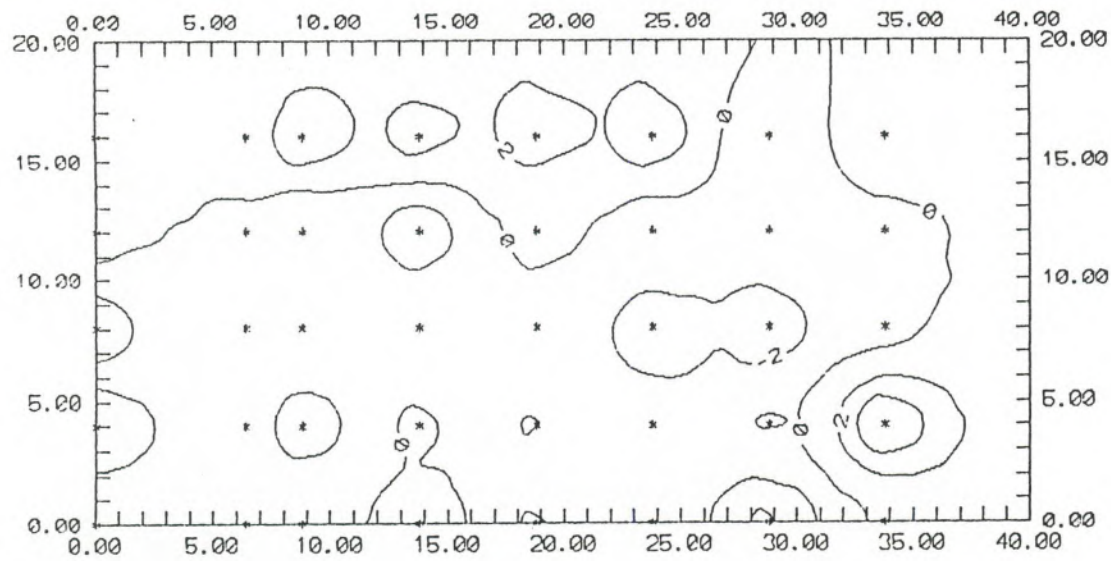
WIDERSTAND

PLOT Nr. 7

2. EINSPEISUNG - 46 Std (5. 10. 91)



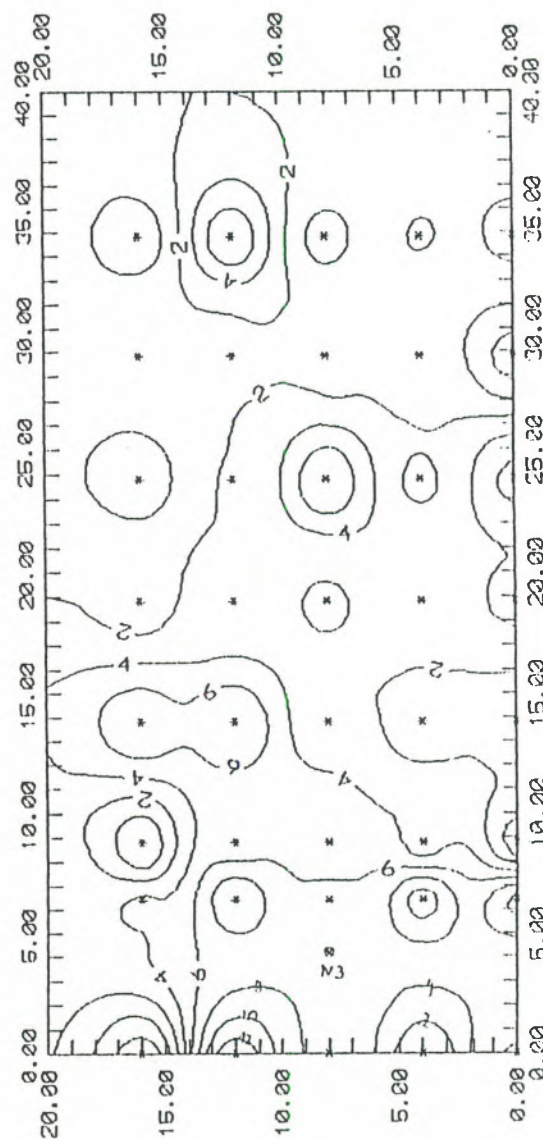
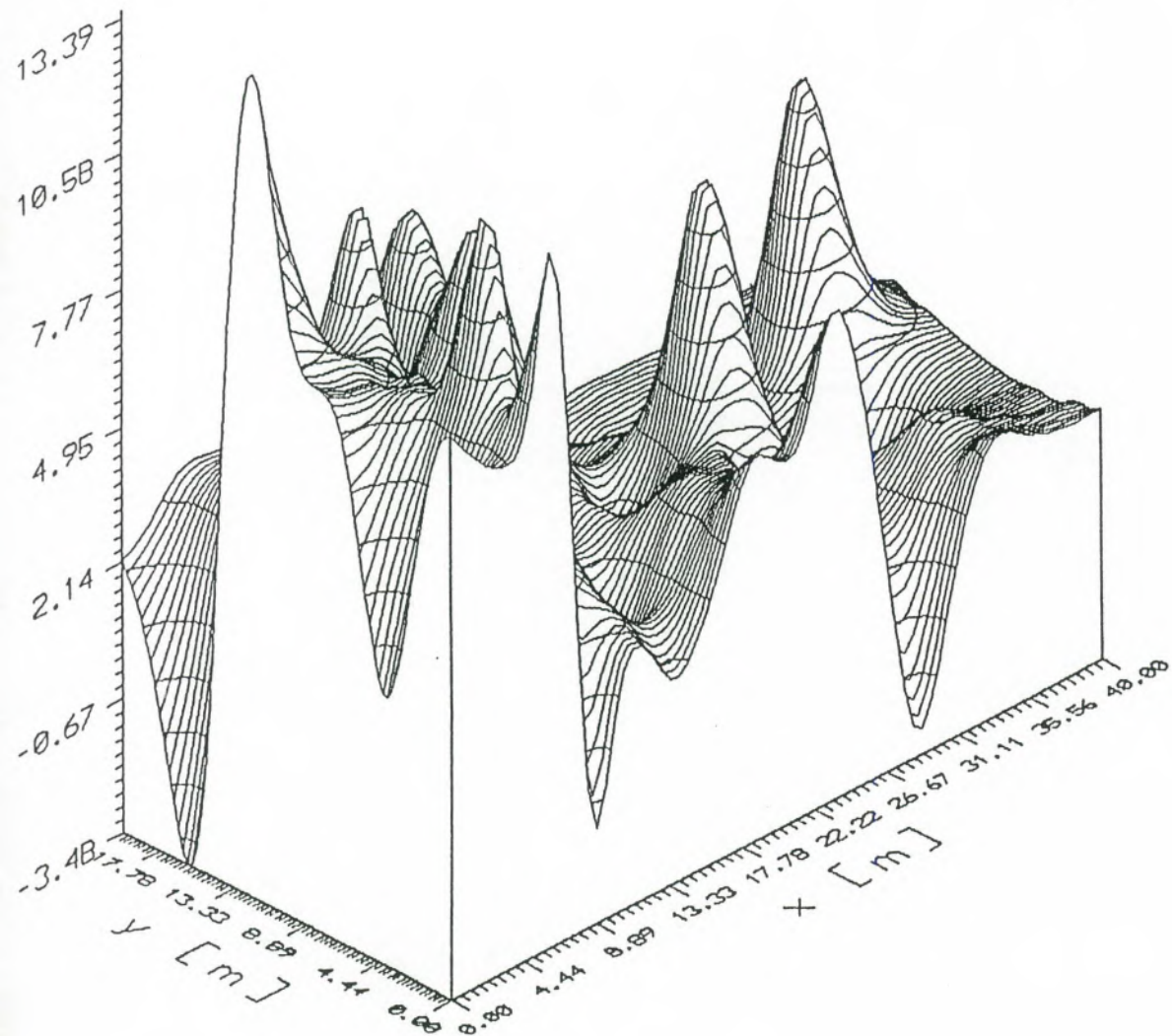
DIFFERENZ BLINDMESSUNG vom 2.10. zum 3.10.91



DIFFERENZENPLOT
BLINDMESSUNG - 4 Std nach Zweiteinspeisung

PLOT Nr. 9

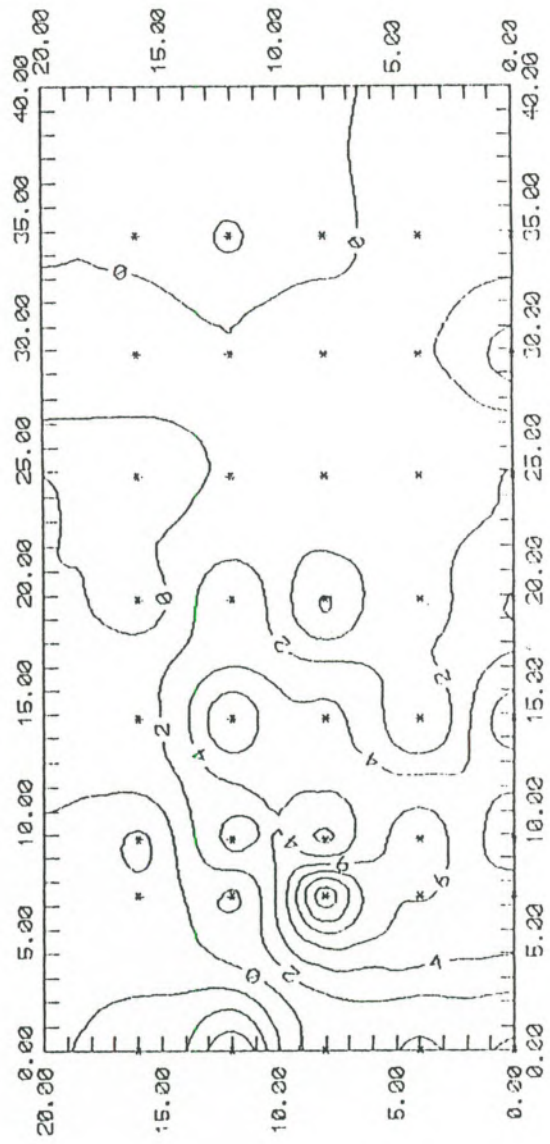
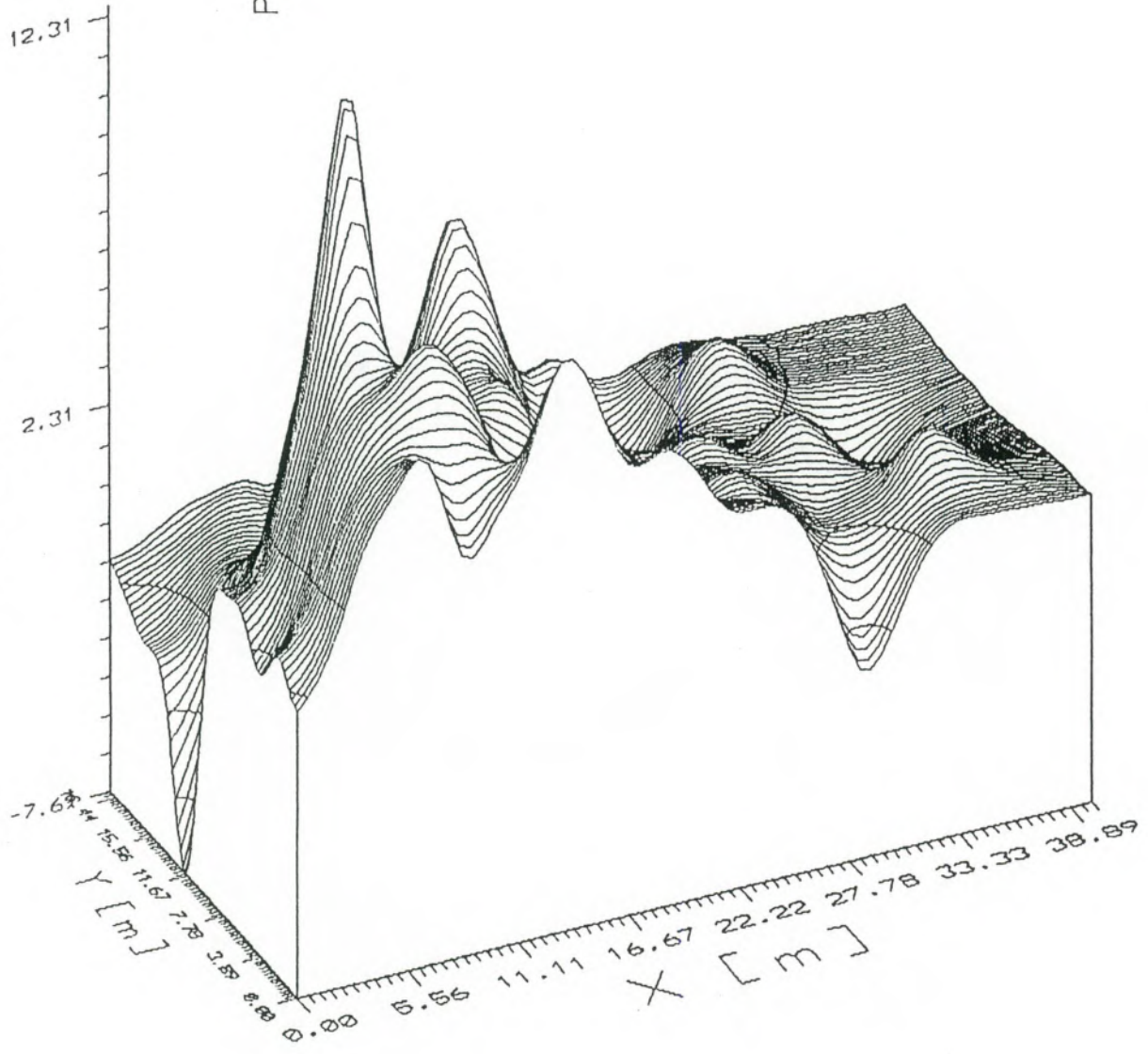
-36-



WIDERSTAND

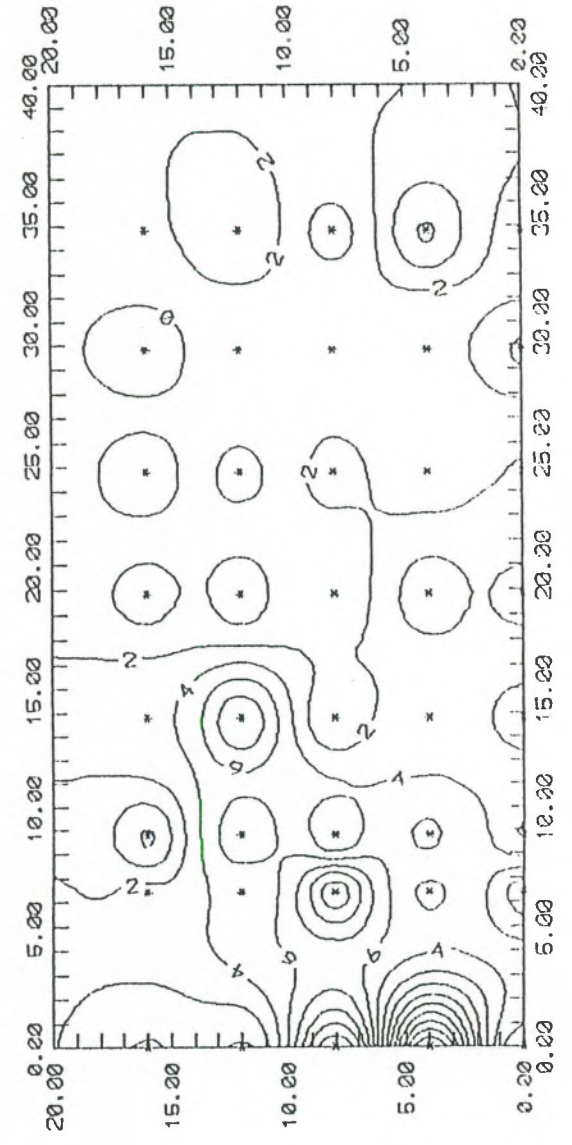
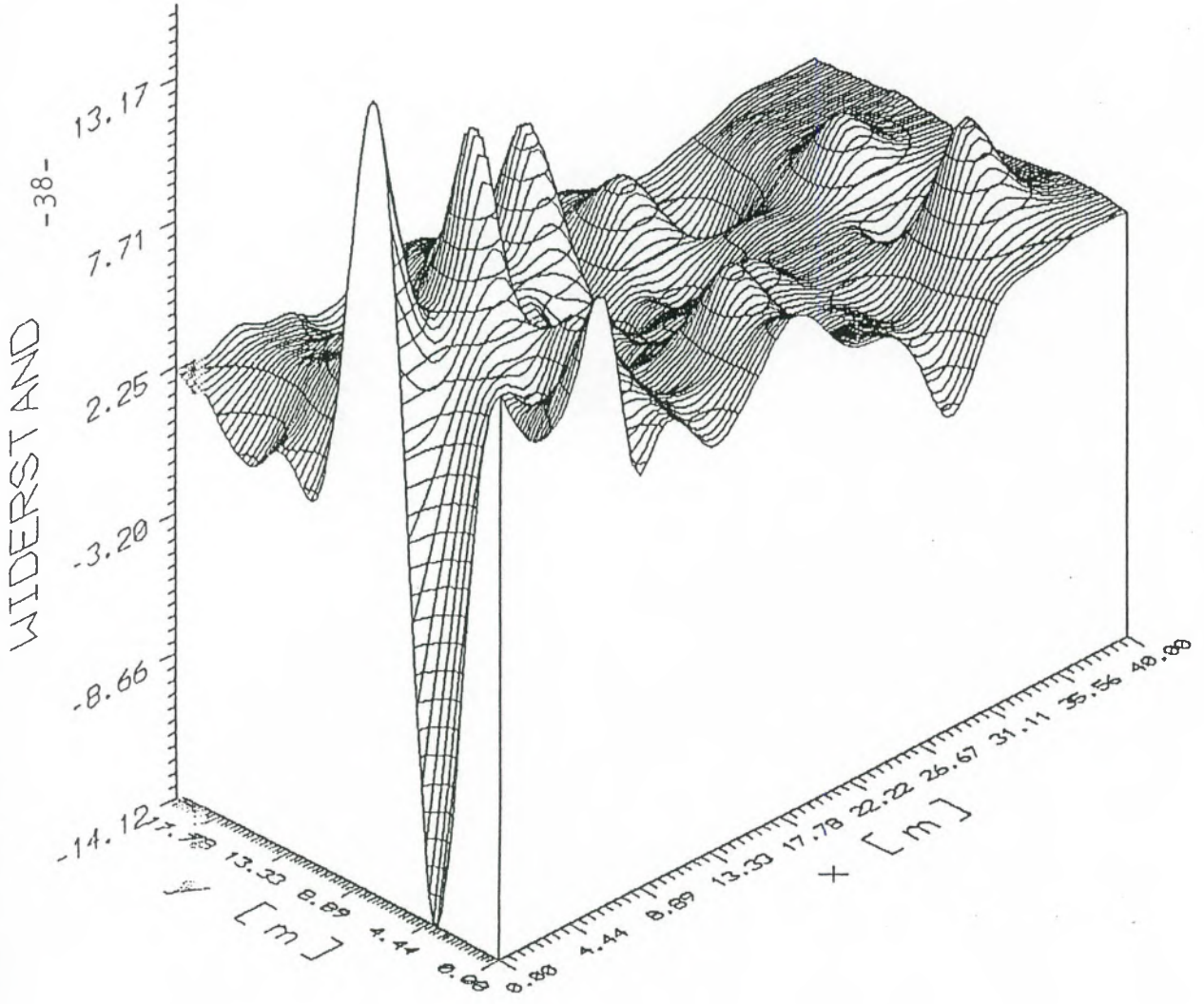
PLOT Nr.10

DIFFERENZENPLOT
BLINDMESSUNG - 22 Std nach Zweiteinspeisung



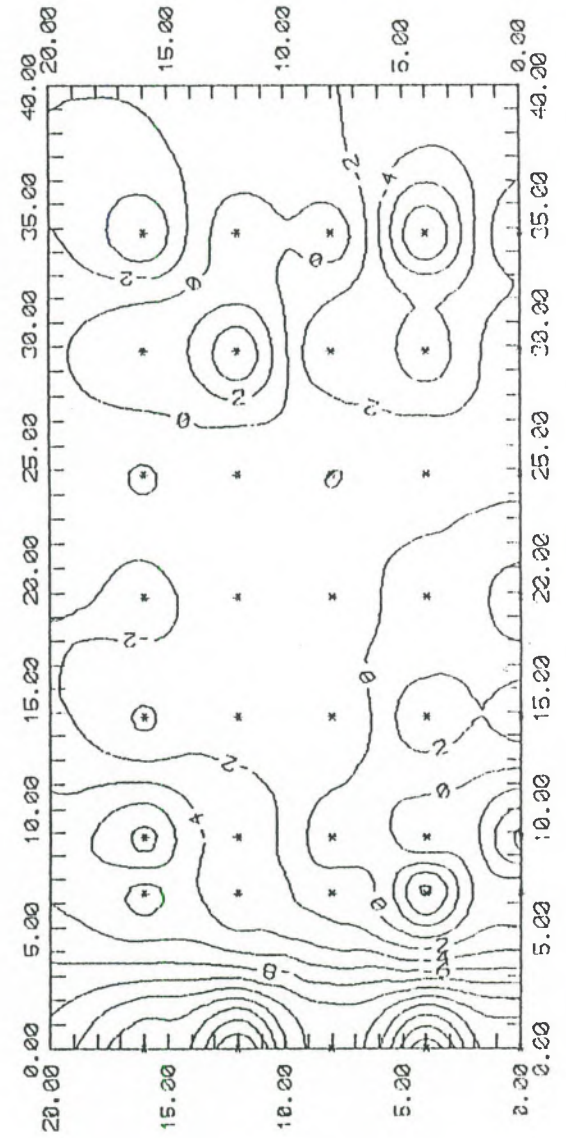
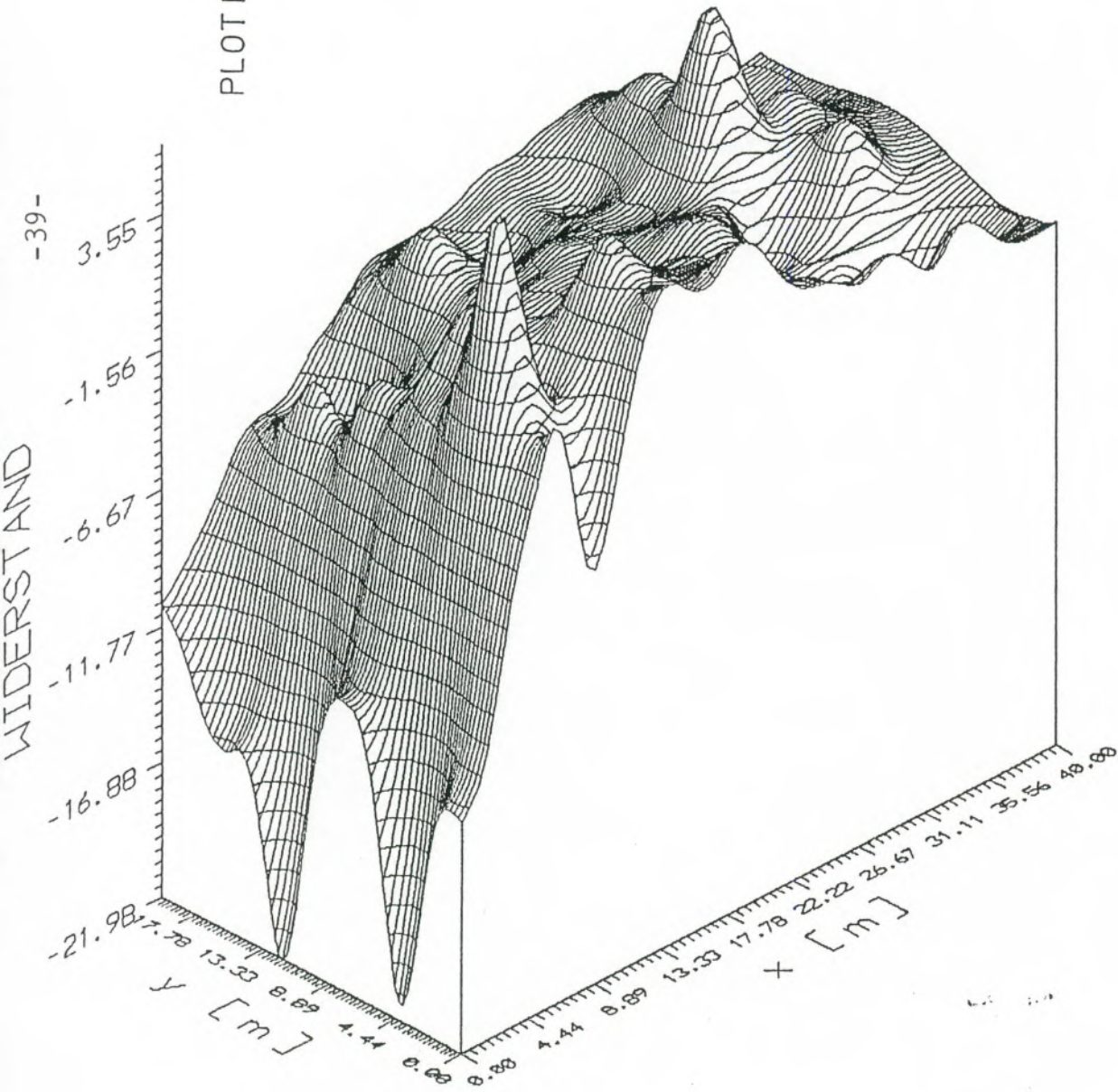
PLOT Nr. 11

DIFFERENZENPLOT BLINDMESSUNG - 26 Std nach Zweiteinspeisung



DIFFERENZENPLOT
BLINDMESSUNG - 30 Std nach Zweiteinspeisung

PLOT Nr. 12

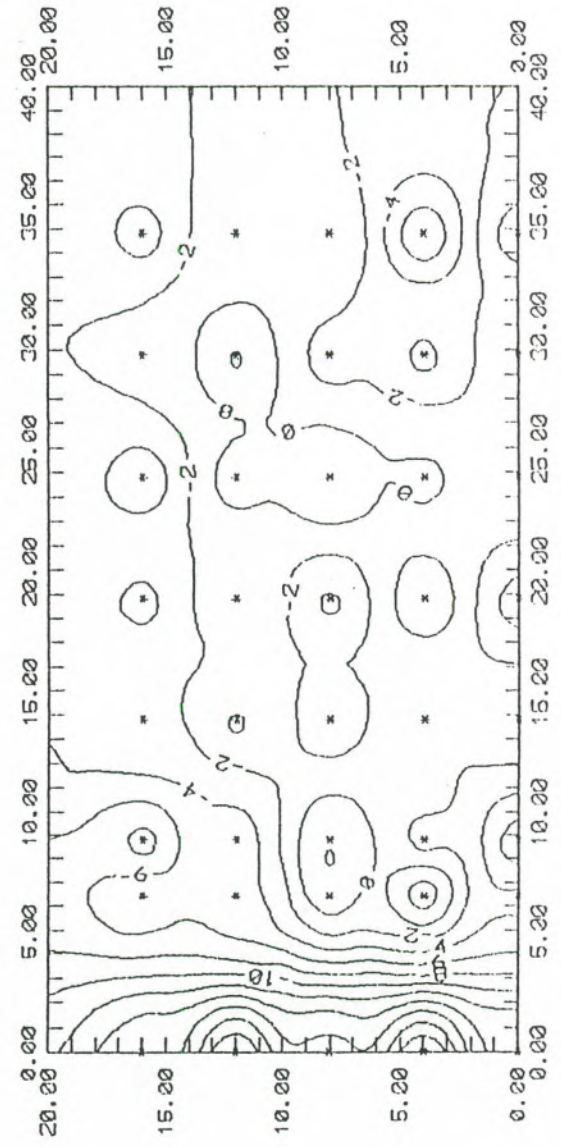
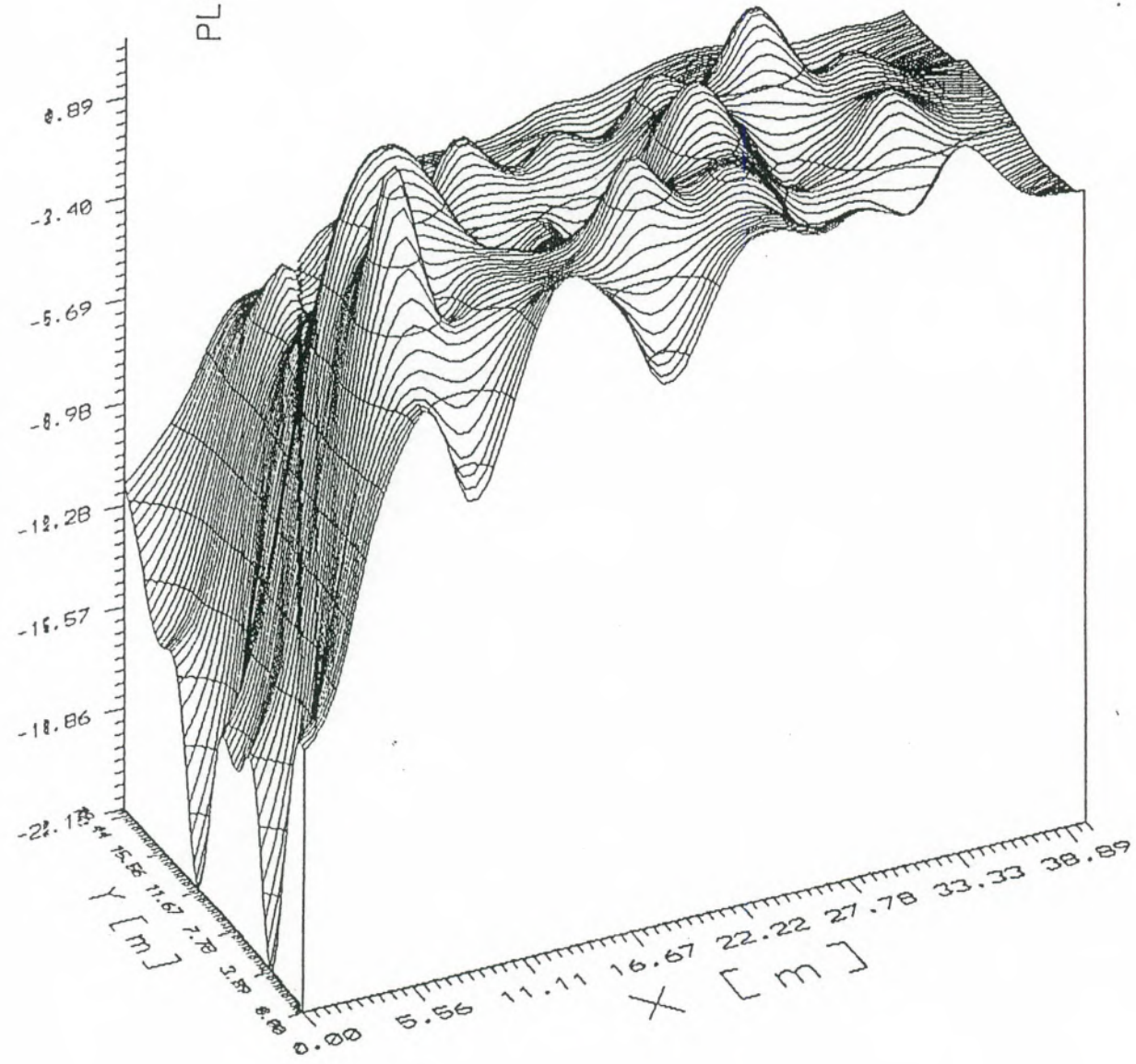


DIFFERENZENPLOT
BLINDMESSUNG - 46 Std nach Zweiteinspeisung

-40-

WIDERSTAND

PLOT Nr. 13



Die Gleichstromsondierungen wurden zu internen Testzwecken unternommen, um einen etwaigen signifikanten Messwerteinfluß zu prüfen.

Alleine aus dem Messaufwand sind sie nicht oder nur bedingt geeignet, dem Erfordernis entsprechende rasche Messerien mit größeren Messpunktaufwand durchzuführen.

6. SCHLUßFOLGERUNGEN FÜR DIE WEITERE VORGANGSWEISE

(J.W. MEYER)

6.1. Randbedingungen bei der Einspeisung

Für die Bemessung der Tracermenge (Kochsalzlösung) sollte im Teststadium bzw. bei den weiter anzustrengenden Versuchen im Hinblick auf eine beabsichtigte, routinemäßige Anwendbarkeit der Methode möglichst die Grundwasserabstrommenge im untersuchten Abstromquerschnitt angeschätzt werden können, um zumindest größenordnungsmäßig den Verdünnungsgrad bestimmen zu können.

Während oder unmittelbar nach Einbringung der Salzlösung sollte möglichst mit internem Durchpumpen der Sonde eine wirkungsvolle Durchmischung des Tracers mit dem Grundwasser bzw. dem frisch anströmenden Grundwasser erzielt werden.

Als begleitende Prüfung der Durchmischung hat sich die Kontrolle durch ein Leitfähigkeitsprofil, etwa alle 0,5 m vom Grundwasserspiegel bis zum jeweils Sondentiefsten als rasch und praktikabel herausgestellt. Man kann auch während des Durchmischens/Durchpumpens derartige Leitfähigkeitsmessungen durchführen.

Je nach Durchlässigkeit des Grundwasserleiters sollte die Einspeisrate (l/sec) abgestimmt werden. So wurde im gegenständlichen Fall festgestellt, daß eine Einbringungsrate von knapp 1 l/sec kaum Auswirkungen auf den zuvor gemessenen Sondenwasserspiegel hat. Dies wird bei Grundwasserleitern in der Durchlässigkeitsgrößenordnung von $a \times 10^{-3}$ bis $a \times 10^{-4}$ m/sec auch kaum Auswirkungen haben.

Bei geringdurchlässigeren Sedimenten wird es bei einer derartig raschen Einspeisung zu einer Aufhöhung des Sondenwasserspiegels und damit zu einer Erhöhung des lokalen hydraulischen Gefälles kommen, was die Abstandsgeschwindigkeiten naturgemäß verfälschen wird. Daher sollten bei geringeren Durchlässigkeiten auch deutlich geringere Einspeisraten überlegt werden.

6.2. Grundsätzliche Vorgaben für die weitere Forschungstätigkeit

Abgesehen von den unter Pkt. 6.1. genannten, zu berücksichtigenden Randbedingungen, sollten grundsätzlich weitere Versuchsanordnungen im Hinblick auf Messverfahren, Einspeisemodalitäten und Aquiferbedingungen überlegt, diskutiert und in Abstimmung mit den vorhandenen Budgetmitteln realisiert werden. Letztlich muß auch die von vornherein abschätzbare Grundwasserströmungsgeschwindigkeit (eig.: Abstandsgeschwindigkeit) als wesentlicher Zeitfaktor für die Versuchsdauer berücksichtigt werden.

6.2.1. Messverfahren, Messanordnungen

Eine wesentliche Vorgabe an das einzusetzende Verfahren besteht in der unbedingten Anforderung an eine relativ rasche Durchführung einer größeren Messpunktanzahl.

Aus diesem Grund ist auch in technischer Erweiterung der derzeitig betriebenen Messungen an eine über längere Zeit (Tage, vielleicht 1 bis 2 Wochen) computergesteuerte Messwerterfassung gedacht.

Es ist leicht erklärbar, daß der gegenständliche, realisierte methodische Ansatz vorerst lediglich für Grundwasserbewegungen angewandt werden kann, welche relativ rasch, etwa in der Dimension von m/d vor sich gehen. Langsamere Grundwasserbewegungen implizieren sehr lang andauernde Messversuche. Längere Messeinsätze im Routinestadium werden allerdings wirtschaftlich nur dann tragbar sein, wenn eine vollautomatisch gesteuerte Messeinheit zur Verfügung steht und auch im Hinblick auf die auftragsspezifische Dringlichkeit (beispielsweise bei Kontaminationsfällen) eine automatisierte Vorort-Auswertung möglich ist.

Eine derartige Vorort-Auswertung könnte auch die sicher dienliche, sofortige Rückkopplung zur Einspeiseproblematik schaffen, um etwa - nach Kenntnis der erzielten Messeffekte - Einspeismengen dosieren bzw. gegebenenfalls verändern zu können.

Abgesehen von der Automatisierung des Messverfahrens soll im jetzigen Stadium jedoch die grundsätzliche Anwendbarkeit verschiedener Anordnungen und Verfahren diskutiert werden.

Im Rahmen weiterer Messversuche soll die Aussagekraft und Anwendbarkeit von

- a) Elektromagnetischen Induktionsmessungen
- b) Kartierungsmessungen nach WENNER (Gleichstrommessungen)
- c) Kartierungsmessungen nach der mise-a-la-masse-Methode (Gleichstrommessungen)

geprüft werden.

6.2.2. Einspeisemodalitäten

Beim gegenständlichen Einspeiseversuch wurde die Salzlösung im Wege einer Grundwasserbeobachtungssonde in den Grundwasserleiter eingebracht.

Für die weitere Versuchstätigkeit stellt sich die Grundsatfrage, ob eine zeitlich gesehen punktuelle Einspeisung oder aber eine laufende Tracereinspeisung im Einzelfall zielführend sein kann.

In einem weiteren Schritt sollen Einspeiseversuche in der ungesättigten Zone, etwa im Wege eines Baggerschlitzes, der nur knapp unter die Mutterboden- bzw. Humusaufgabe reicht, versucht werden. Dieser Vorgangsweise wird aller Voraussicht nach bei hohen Grundwasserspiegellagen sowie gut durchlässigen Sanden und Kiesen in der ungesättigten Zone, nicht zuletzt aus Kostengründen, der Vorzug zu geben sein.

6.2.3. Berücksichtigung der Aquiferbedingungen

Ein Teilziel weiterer Einspeiseversuche soll auch die Erarbeitung einer quantitativen Beziehung zwischen Einspeismenge und den Hauptparametern des Grundwasserleiters, etwa im Wege von Modellrechnungen bzw. grober Abschätzung des Grundwasserabstrompotentials, sein.

Diese Vorarbeiten zur routinemäßigen Anwendung sollen Eichbeziehungen schaffen, aus welchen Vorabschätzungen der Einspeismengen und Einspeisart getroffen werden können. Im Zuge der projektsspezifischen Versuche sollten daher derartige Testgebiete ausgewählt werden, wo die grundlegenden Aquiferparameter weitgehend und mit einiger Aussagezuverlässigkeit bekannt sind.

Weiters sollen damit auch die Anwendbarkeitsgrenzen dieser Methode im Hinblick auf die Tiefenlage des Grundwassleiters sowie die Abstandsgeschwindigkeit bzw. die Durchlässigkeit des Aquifers ausgelotet werden.

Wien, 1991 04 03

GZ 89/90

L i t e r a t u r
=====

(Auszug)

BUHLE, M.B., BRUECKMANN, J.E.: Electrical earth resistivity surveying in Illinois.-Ill. State Geol. Surv. Circ. (376), 51 p., Champaign, Il. 1964.

KOLLMANN, W.: Erfahrungen bei Salzmarkierungsversuchen und deren Auswertung unter Berücksichtigung von Ionenaustauschvorgängen. - Steir. Beitr. z. Hydrogeol., (31), 143 - 150, Graz 1979.

MILITZER, H. & WEBER, F.: Angewandte Geophysik. Bd. 2. Geoelektrik, Geothermik, Radiometrie und Aerogeophysik. - Springer Verlag Wien-New York 1985.

REED, Ph.C., CARTWRIGHT, K., OSBY, D.: Electrical earth resistivity surveys near brine holding ponds in Illinois. - Environmental Geol. Notes (95), 30p., Champaign, Il. Apr. 1981.