

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Kappelen/Werdthof

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Geotest, Zollikofen/Bern



**Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)**

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Kappelen/Werdthof

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Geotest, Zollikofen/Bern



**Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)**

Herausgeber:
Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Leitung: Dr. G. della Valle (WEA)
Bearbeitung: Geotest, Zollikofen/Bern
Mitarbeit: Dr. H. R. Keusen
Kartographie: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Reprographie, Fotosatz: Diaset AG, Hinterkappelen/Bern
Druck: Ruchti Satz u. Druck, Bern
Ausgabe 1986
Kaufpreis: Fr. 20.–

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

Seite

1. EINLEITUNG	5
2. ZIELSETZUNG DER UNTERSUCHUNG	5
3. VERWENDETE UNTERLAGEN	6
4. AUSGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN	6
5. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK	7
6. REGIONALE HYDROCHEMISCHE VERHÄLTNISSE	7
7. SCHICHTAUFBAU IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ	7
8. DIE GRUNDWASSERHYDRAULISCHEN VERHÄLTNISSE IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ	11
8.1. Die Abflussverhältnisse des Grundwassers	11
8.2. Durchlässigkeit und Transmissivität	11
8.3. Zusammenstellung der wichtigsten hydrogeologischen und hydraulischen Kenndaten des Gebietes Werdthof- Tannholz	19
8.4. Verfügbare Grundwassermengen im Gebiet Kappelen-Werdthof	19
9. DIE GRUNDWASSERQUALITÄT IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ	20
9.1. Bewertungsgrundlagen	20
9.2. Die Schwankungen des Grundwasserchemismus	20
9.3. Der Grundwasserchemismus im Raume Werdthof-Tannholz	31
9.4. Die Grundwasserqualität in den Versuchsbrunnen I, II und III	32
9.5. Die Grundwassertemperaturen	32

	Seite
10. FOLGERUNGEN	35
11. DAS GRUNDWASSERSCHUTZAREAL	36

FIGUREN-VERZEICHNIS

Fig. 1	Grundwasser-Ganglinien während der Pumpversuche in den Brunnen I, II und III	9
Fig. 2	Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen I (587/213.17)	13
Fig. 3	Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen II (587/213.18)	15
Fig. 4	Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen III (588/213.30)	17
Fig. 5	Schwankungen der Nitratkonzentration	21
Fig. 6	Schwankungen der Chloridkonzentration	23
Fig. 7	Schwankungen der Sauerstoffgehalte	25
Fig. 8	Schwankungen von Nitrit und Ammonium	27
Fig. 9	Schwankungen von Mangan und Eisen	29
Fig. 10	Grundwassertemperatur im Tiefenprofil einiger ausgewählter Messstellen	33

ANHANG-VERZEICHNIS

Anhang 1	Geoelektrische Sondierungen
Anhang 2	Messstellennetz Ruhegrundwasser-Spiegel Isohypsen Niederwasserstand
Anhang 3	Hydrochemie Nitrat (NO_3), Nitrit (NO_2), Ammonium (NH_4) Gesamthärte

- Anhang 4 Hydrochemie
Sauerstoffgehalt (O₂), Eisengehalt (Fe), Mangan (Mn)
- Anhang 5 Grundwasser-Temperaturen vom 1.5. und 12.8.1985
- Anhang 6 Grundwasser-Schutzareal Kappelen/Werdthof
- Anhang 7 Geologisches Profil, Versuchsbrunnen I (587/213.17)
- Anhang 8 Geologisches Profil, Versuchsbrunnen II (587/213.18)
- Anhang 9 Geologisches Profil, Versuchsbrunnen III (587/213.30)
- Anhang 10 Ergebnisse der elektrischen Tiefensondierungen
(Widerstandsprofil)
- Anhang 11 Ergebnisse der elektrischen Tiefensondierungen
(Widerstandsprofil)
- Anhang 12 Messstellennetz (tabellarische Zusammenstellung)

1. EINLEITUNG

Bei der Erstellung des Berichtes "Hydrogeologie Seeland" (WEA 1976) wurden im Gebiet zwischen dem Hagneck- und dem Nidau-Büren-Kanal diejenigen Gebiete ausgeschieden, in welchen grosse, nutzbare Grundwasser-Vorkommen bestehen. In der vorletzten Ausgabe der Gewässerschutzkarte (Blatt Lyss) erscheinen diese Gebiete als Zonen S2, d.h. als provisorische Schutzzonen. Die neue kantonale Gewässerschutz-Verordnung sieht aber vor, dass provisorische Schutzzonen, für welche bis zum 31. Dezember 1987 kein Plan öffentlich aufgelegt ist, dem Gewässerschutzbereich A zugewiesen werden. Damit wird aber die zukünftige Nutzung der erwähnten Grundwasser-Vorkommen in Frage gestellt, es sei denn, man verwandle die provisorischen Schutzzonen in Schutzareale.

Gegenwärtig herrscht im östlichen Seeland kein Wassermangel. Doch der Benzinunfall von Aarberg (Dezember 1983) hat uns bewusst werden lassen, dass die gute Qualität des Grundwassers zum Teil an einem dünnen Faden hängt. Die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser und diejenige des Bodens durch die menschlichen Tätigkeiten, so durch Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft, Strassenbau können miteinander in Konflikt geraten: die in der Schweiz üblichen Schutzzonen gewähren einen genügenden biologischen Schutz des Grundwassers, aber gegen chemische Verunreinigungen sind sie meistens ungenügend. Aus diesen Gründen beschloss der Kanton, im östlichen Seeland wenigstens einen der nutzbaren Grundwasser-Vorkommen durch ein Schutzareal zu schützen. Die vorliegenden Untersuchungen führten zur Ausscheidung eines vom Regierungsrat genehmigten Schutzareals. Damit soll die Wasserversorgung vor allem der Standortgemeinde Kappelen gewährleistet werden, wenn der bestehende Brunnen im Werdtthof durch chemische Verunreinigungen ausfallen sollte. Aber auch weiteren Bevölkerungskreisen stehen die nachgewiesenen Grundwassermengen zur Verfügung, wenn im östlichen Seeland genutzte Grundwasser-Brunnen für längere Zeit ausser Betrieb gesetzt werden müssten.

Wir möchten an dieser Stelle der Regierung und dem Grossen Rat des Kantons Bern danken, die Verständnis für die Belange des Gewässerschutzes zeigten und die für die Untersuchungen notwendigen Kredite bewilligten. Auch den Behörden der Gemeinde Kappelen gebührt unser herzlicher Dank: Ihre verständnisvolle Hilfe ermöglichte und erleichterte unsere Arbeiten sehr.

2. ZIELSETZUNG DER UNTERSUCHUNG

Durch die hydrogeologischen Untersuchungen sollten innerhalb der Gemeinde Kappelen Gebiete erkundet werden, welche sich für eine allfällige später notwendige Verlegung des Pumpwerkes Werdtthof oder allenfalls für andere Wasserversorgungen eignen könnten. Für die Ausscheidung des Grundwasserschutzaareals sollten alle hierfür wichtigen Faktoren, wie

- Grundwasserergiebigkeit
- Grundwasserqualität
- gegenwärtige Nutzung

berücksichtigt werden.

Das bereits in der Gewässerschutzkarte des Kantons Bern ausgeschiedene provisorische und sehr gross bemessene Grundwasserschutzareal sollte durch gezielte Untersuchungen auf eine zweckmässige Grösse redimensioniert werden.

3. VERWENDETE UNTERLAGEN

Für die Untersuchungen wurde das gesamte im WEA zur Verfügung stehende Datenmaterial berücksichtigt. Wir verzichten hier auf eine detaillierte Auflistung aller früheren Untersuchungen und erwähnen nur die wichtigsten Dokumente:

- WEA Bericht "Hydrogeologie Seeland" 1976
- Expertisen und Gegenexpertisen zum Rechtsstreit "Grundwasserverunreinigungen im Seeland und Zuckerfabrik Aarberg".
- Unterlagen über Wasseruntersuchungen des Kantonschemikers
- Hydrochemische Untersuchungen der Gas- und Wasserwerke Biel
- Interne Unterlagen der Geotest (in der Region ausgeführte Gutachten)
- Regionale geologische Literatur

4. AUSGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- a) Studium sämtlicher vorhandener Unterlagen. Auswertung des sehr umfangreichen hydrochemischen Datenmaterials und Vorausscheidung des näher zu untersuchenden Gebietes.
- b) Aufsuchen aller vorhandenen Grundwasserbeobachtungsstellen im Gebiet Werdthof-Tannholz. Nivellement dieser Messstellen. Messen von Grundwassertemperaturen und Untersuchung der hydrochemischen Eigenschaften in total 17 Messstellen im März 1985 (Analysen durch den Kantonschemiker Bern).
- c) Geoelektrische Untersuchungen in Form von grossflächigen Widerstandskartierungen und einzelnen Tiefensondierungen.
- d) Abteufen von drei Rotationskernbohrungen durch die Grund- und Tiefbau AG, Bern in der Zeit vom 29.7. bis 22.8.1985. Ausbau der Bohrungen als Kleinfilterbrunnen.

Rammen von Grundwasserbeobachtungsrohren in der Umgebung der drei Brunnen (Geotest AG).
- e) Ausführen von langdauernden Pumpversuchen (je ca. 3 Wochen) in den Kleinfilterbrunnen (Grund- und Tiefbau AG, Bern und Geotest AG).
Analyse von mehreren, während der Pumpversuche entnommenen Wasserproben (Kantonschemiker Bern).

f) Durchführung von Flowmetermessungen in den Bohrungen durch das Ingenieurbüro Werner, Burgdorf, im Oktober 1985.

Die Untersuchungen erfolgten in engem Kontakt mit dem WEA und den Gemeindebehörden von Kappelen.

5. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Das Gebiet Kappelen liegt innerhalb des grossen Deltas der Aare, welches postglazial vom Mündungsgebiet bei Aarberg in den damaligen "Solothurnersee" geschüttet wurde.

Die Deltablagerungen bestehen vorwiegend aus grobkörnigen Schottern, die an der Basis in Sande und Silte übergehen. Die Unterlage des Deltas bilden meist glaziale Seetone, teilweise auch Moräne.

6. REGIONALE HYDROCHEMISCHE VERHÄLTNISSE

In weiten Teilen des Gemeindegebietes Kappelen ist das Grundwasser stark belastet und erfüllt die Anforderung für eine Trinkwassernutzung nicht. Dies betrifft insbesondere einen ca. 500 - 1'000 m breiten Bereich beidseits der Alten Aare zwischen Aarberg und Lyss, wo starke Sauerstoffzehrung beobachtet wird. Diese manifestiert sich in

- niedrigen Sauerstoff- und Nitratgehalten
- erhöhten Ammoniak- und Nitrit-, Eisen- und Mangangehalten.

Auf die Ursache dieser Verschmutzung gehen wir hier nicht näher ein, wir verweisen auf die umfangreichen Unterlagen zum Streitfall zwischen der Stadt Biel und der Zuckerfabrik Aarberg. Wir müssen aber davon ausgehen, dass die Beeinträchtigung des Grundwassers über längere Zeit, d.h. über Generationen erhalten bleibt.

Eine einigermaßen akzeptable Grundwasserqualität beobachten wir lediglich im unmittelbaren Infiltrationsgebiet des Hagneckkanals, östlich Lindenhof und im Gebiet PW-Kappelen-Tannholz. Erstere beiden Gebiete werden bereits durch öffentliche Wasserversorgungen der Nachbargemeinden genutzt.

Für die Gemeinde Kappelen verbleiben daher lediglich Möglichkeiten für eine Grundwassernutzung im Gebiet Werdthof-Kappelen.

Unsere Untersuchungen im Hinblick auf die Errichtung eines Grundwasserschutzareales konzentrierten sich deshalb auf detaillierte Abklärungen in diesem Gebiet.

7. SCHICHTAUFBAU IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ

Zur Abklärung der Untergrundverhältnisse wurden geoelektrische Sondierungen ausgeführt. Dabei kamen zwei Methoden zum Einsatz:

- a) die geoelektrische Kartierung mit einer Auslage $AB = 60$ m. Die Messwerte entsprechen dabei dem durchschnittlichen Widerstand des Bodens zwischen 0 und ca. 15 m. Es wurden insgesamt 226 Kartierpunkte auf 8 Profilen gemessen. Die Ergebnisse sind in Form einer Widerstandskarte 1:1'000 in Anhang 1 dargestellt.
- b) Die geoelektrische Tiefensondierung (TS). Hier werden die Widerstände des Bodens durchgehend im ganzen Profil gemessen. Die TS liefert ein Profil mit Widerstandswerten und vermittelt damit ein Bild über den Schichtaufbau des Untergrundes. Es wurden insgesamt 16 TS ausgeführt. Die Profile sind im Anhang 10,11 dargestellt.

Die gemessenen Widerstände in den Tiefensondierungen können wie folgt interpretiert werden:

- > 1'000 Ω m Ω trockene Schotterschicht, die in unterschiedlicher Mächtigkeit über dem Grundwasserleiter liegt.
- 200 - 300 Ω m Ω Grundwasserleiter, mehr oder weniger saubere Schotter
- 100 - 170 Ω m Ω Sande, oft an der Basis des Grundwasserleiters
- < 100 Ω m Ω Silte und siltige Sande, selten als Deckschicht, oft unterhalb des Schotter-Sand-Komplexes.

Die Widerstandswerte der Kartierung geben qualitative Anhaltspunkte über die Beschaffenheit des Untergrundes.

Hohe Werte von > 300 Ω m entsprechen hier mächtigeren und durchlässigen Schotterkörpern, Messwerte ≤ 250 Ω m sind eher geringer mächtigen und/oder weniger durchlässigen Böden zuzuordnen.

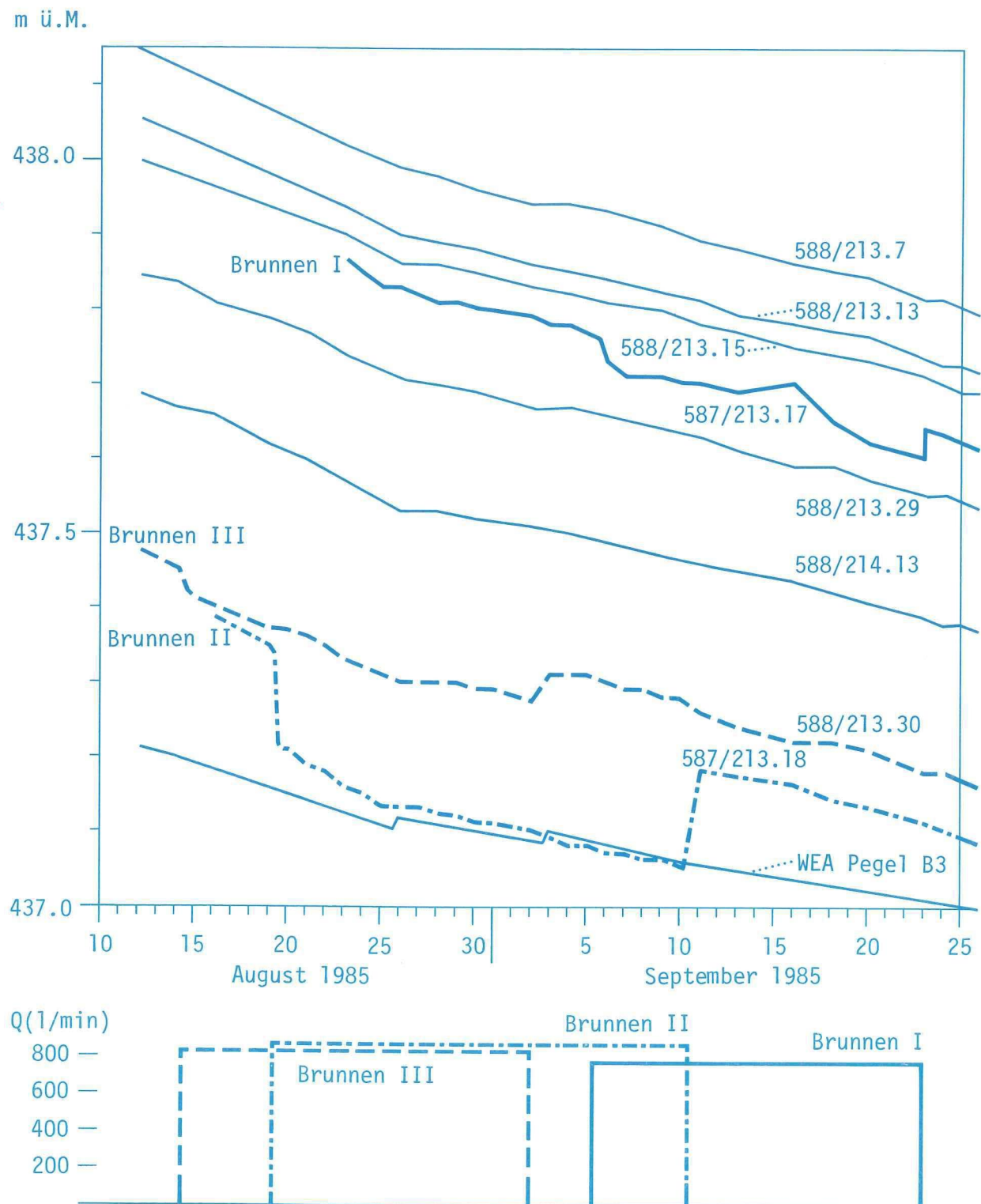
Betrachtet man die Widerstandskarte in Anhang 1 erkennt man stark wechselnde Verhältnisse. Zonen mit hohen und niedrigen Widerständen wechseln in relativ engen Bereichen. Damit wird ein inhomogener, eng strukturierter Untergrund angedeutet, der aus generell süd-nord verlaufenden Zonen unterschiedlicher Grundwassermächtigkeit und/oder Leiterdurchlässigkeit besteht. Dieses Bild steht in Einklang mit den Vorstellungen der Entstehung eines Delta-Schutfächers, wo zeitlich und örtlich stets wechselnde Ablagerungsbedingungen vorherrschen.

Die Ergebnisse der Tiefensondierungen bestätigen dieses Bild weitgehend. Besonders anschaulich in dieser Beziehung ist das Gebiet im Werdthölzli, wo die Grundwasserleitermächtigkeit auf engem Raum zwischen 0 m (TS 4) und 25 m (TS 6) variiert.

Die aufgrund der geoelektrischen Voruntersuchung abgeteuften Bohrungen (Profile in Anhang 10,11) bestätigen die Geoelektrik weitgehend. In der nachfolgenden Tabelle erkennt man zugleich den Zusammenhang zwischen Widerstand $AB - 60$ m und der Grundwasserleitermächtigkeit:

Das hier vorgezeichnete geologische Bild eines inhomogenen, stark gegliederten Grundwasserleiters ist für die Planung von neuen Grundwasserfassungen oder Grundwasseranreicherungen von grosser Bedeutung, da diese Strukturen die

Fig.1 Grundwasser-Ganglinien während der Pumpversuche in den Brunnen I, II und III



Versuchs- brunnen	Widerstand AB = 60 m (Anhang 1)	Grundwasserleitmächtigkeit	
		Prognose aufgrund TS (Anhang 10,11)	in Bohrung angetroffen (Anhang 7 - 9)
I	300 - 400 Ω m	keine TS	33,70 m
II	250 Ω m	22 m (TS 8)	21,80 m
III	250 - 300 Ω m	34 m (TS 12)	31,50 m

Ergiebigkeit, Neubildung wie auch die Qualität des Grundwassers beeinflussen.

8. DIE GRUNDWASSERHYDRAULISCHEN VERHÄLTNISSE IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ

8.1. Die Abflussverhältnisse des Grundwassers

Unsere Untersuchungen fielen in eine Zeit, während welcher der Grundwasserspiegel infolge der ausgeprägten Trockenheit in einem stetigen Absinken begriffen war. Er lag am 31. Oktober 1985 bei B3 und P25 (WEA-Messstellen) nur noch 0,33 m resp. 0,29 m über dem in den letzten 10 - 12 Jahren beobachteten Niedrigstwasserspiegel. Die in Anhang 2 dargestellten Grundwasserisohypsen entsprechen damit einem niedrigen Grundwasserstand. Aufgrund der langjährigen Messungen des WEA's liegt der maximale Wasserspiegel ca. 1,7 m über jenem in unserer Karte dargestellten. Die Fließrichtung des Grundwassers ist im Raum Werdthof generell Süd-Nord, d.h. parallel zu den im vorhergehenden Kapitel beschriebenen geologischen Strukturen. In der Nähe der Alten Aare beobachtet man ein deutliches Umbiegen der Grundwasserisohypsen, was auf eine stärkere Infiltrationstendenz hindeutet. Dass die Alte Aare das Grundwasser in diesem Gebiet alimentiert, ist bekannt; es wird durch das Isohypsenbild wie auch die in den späteren Kapiteln beschriebenen hydrochemischen Befunde bestätigt.

Die für die Konstruktion der Isohypsenkarte verwendeten Messstellen liegen in der Größenordnung von 100 - 250 m auseinander: es ist durchaus denkbar, dass die Abflussverhältnisse wegen der inhomogenen hydrogeologischen Bedingungen kleinräumig vom generellen Bild abweichen.

Das Gefälle des Grundwasserspiegels liegt bei 0,5 - 0,8 ‰.

8.2. Durchlässigkeit und Transmissivität

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit wurden in den 3 abgeteufte KleinfILTERbrunnen langdauernde Pumpversuche (Fig 1) durchgeführt und Flowmeter-Logs gefahren.

In der nachfolgenden Tabelle sind die nach verschiedenen Methoden berechneten hydraulischen Kennziffern zusammengestellt.

Dabei bedeuten:

k = Durchlässigkeitsbeiwert (Profil k-Wert) in m/s

H = Mächtigkeit des Grundwasserleiters

$T = k \cdot H$ = Transmissivität in m^2/s
 S = Speicherkoeffizient (nutzbare Porosität)

Tabelle 1: Transmissivitäten, k-Werte und Speicherkoeffizienten in den Versuchsbrunnen VB I, II und III.

Versuchsbrunnen	Grundwasserleitermächtigkeit H	Transmissivität T berechnet nach (m^2/s)				Mittlerer Profil k-Wert (m/s)	Speicherkoeffizient (nutzbare Porosität)
		Dupuit	Thiem	Theis-Jacob	Flowmeter log		
I	27 m	0,20	0,37	0,32	0,36	0,014	0,12
II	18 m	0,07	0,12	0,17	0,10	0,005	0,12
III	23 m	0,21	0,20	0,13	0,11	0,005	0,12
PW Kappellen (Quelle WEA Bericht Seeland)						0,0045	

Man stellt eine sehr gute Übereinstimmung der verschiedenen Bestimmungsverfahren fest. Auffallend ist die überraschend gute Durchlässigkeit bei VB I: Sie ist hier um den Faktor 3 höher als bei den andern Bohrungen und beim PW-Kappellen.

Unsere Untersuchungen zeigen damit, dass lokal wesentlich höhere Durchlässigkeiten vorkommen können, als man aufgrund der bisherigen Untersuchungen annehmen konnte. Dabei ist keineswegs sicher, dass VB I in dieser Beziehung optimal platziert ist.

Bereichs-k-Werte

Zur Bestimmung der Bereichs-k-Werte wurden durch das Ing. Büro Werner Flowmeter Logs gefahren. Dabei wurden die Vertikalströmungen im Filterrohr ohne pumpen und mit pumpen mit $Q = 130 - 200 \text{ l/min}$ gemessen. Die Untersuchungen ermöglichen die Bestimmung der Zuflussraten und Durchlässigkeiten einzelner Schichten des Grundwasserleiters. Die Ergebnisse sind in Fig. 2 bis 4 dargestellt und können wie folgt kommentiert werden:

- Es wurde in keinem Bohrloch eine natürliche Vertikalströmung festgestellt. Der Ruhedruck ist im Grundwasserleiter über die Vertikale konstant und entspricht der Druckverteilung im Filterrohr bei Ruhezustand (ohne Pumpen).
- Die deutliche horizontale Schichtung des Grundwasserleiters manifestiert sich durch unterschiedliche Bereichs-k-Werte und Zuflussraten innerhalb des Bohrprofils. Die gemessenen Bereichs-k-Werte erreichen Grössen des 5 - 8 Fachen der Profil-k-Werte.
- Die Zuströmung erfolgt nicht über den ganzen Grundwasserleiter, sondern bevorzugt in dessen höheren Bereichen. Bei VB I und VB III beschränkt sich die Zuströmung auf lediglich 2/3 des Grundwasserleiters.

Fig.2 Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen I (587/213.17)

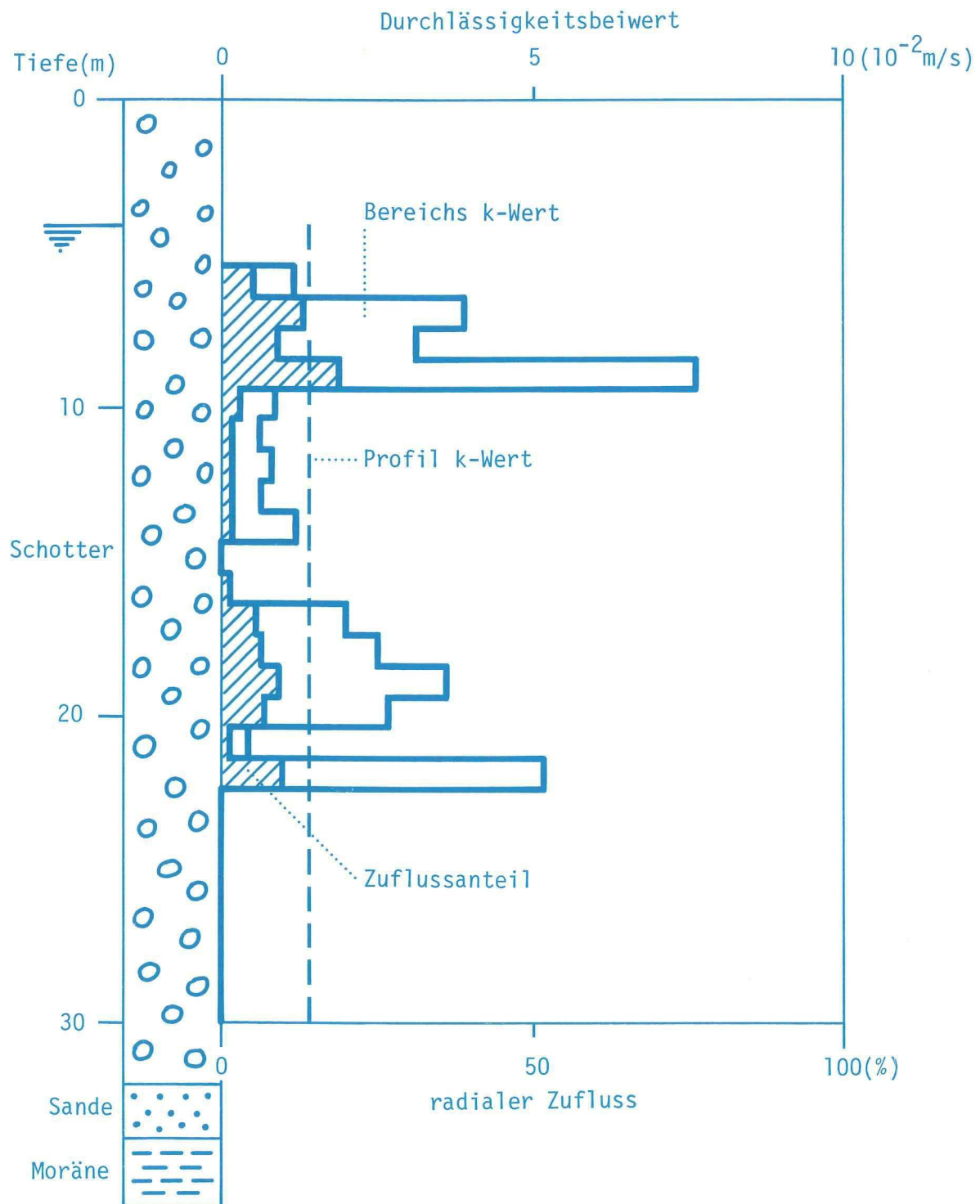


Fig. 3 Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen II (587/213.18)

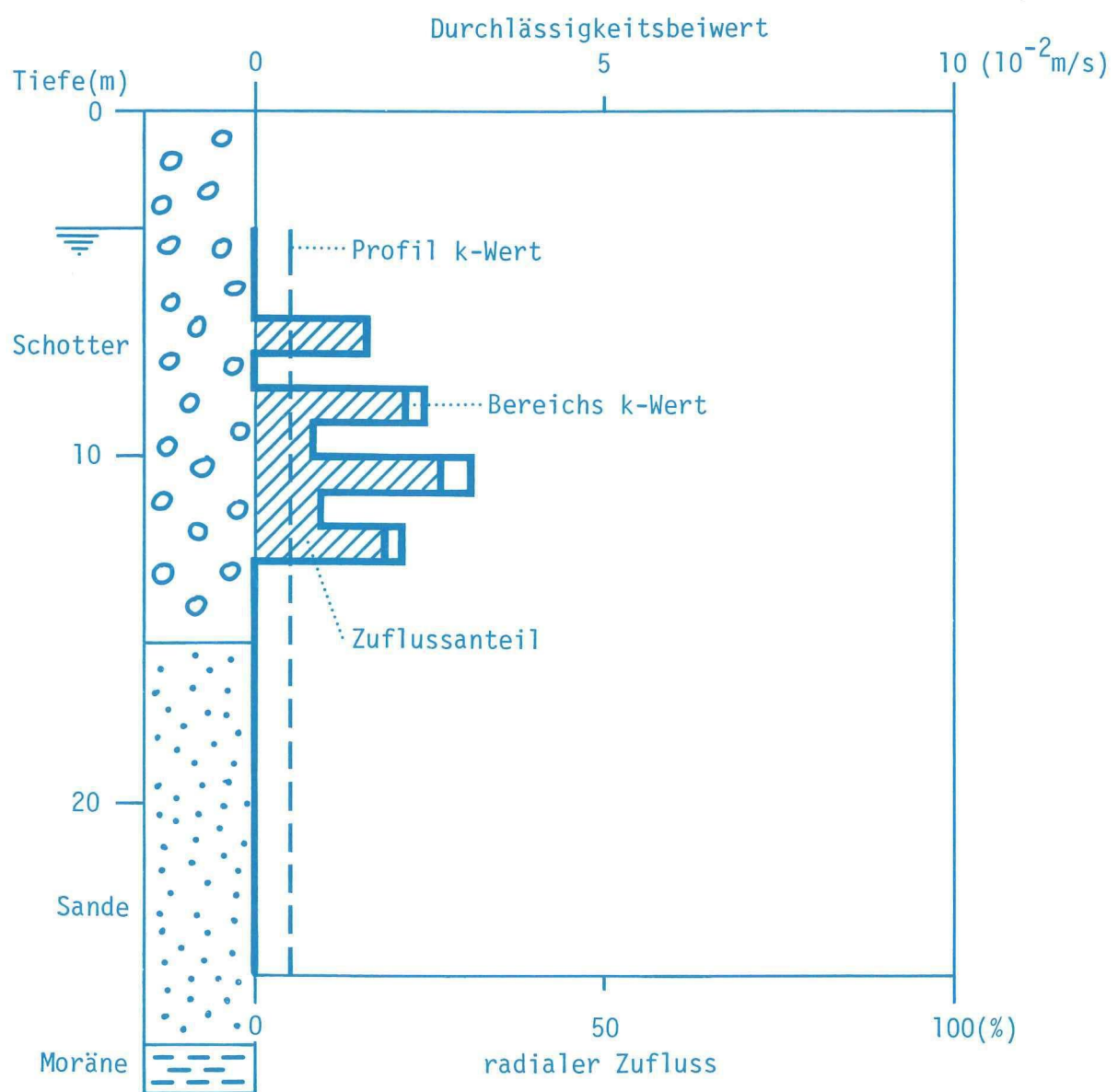
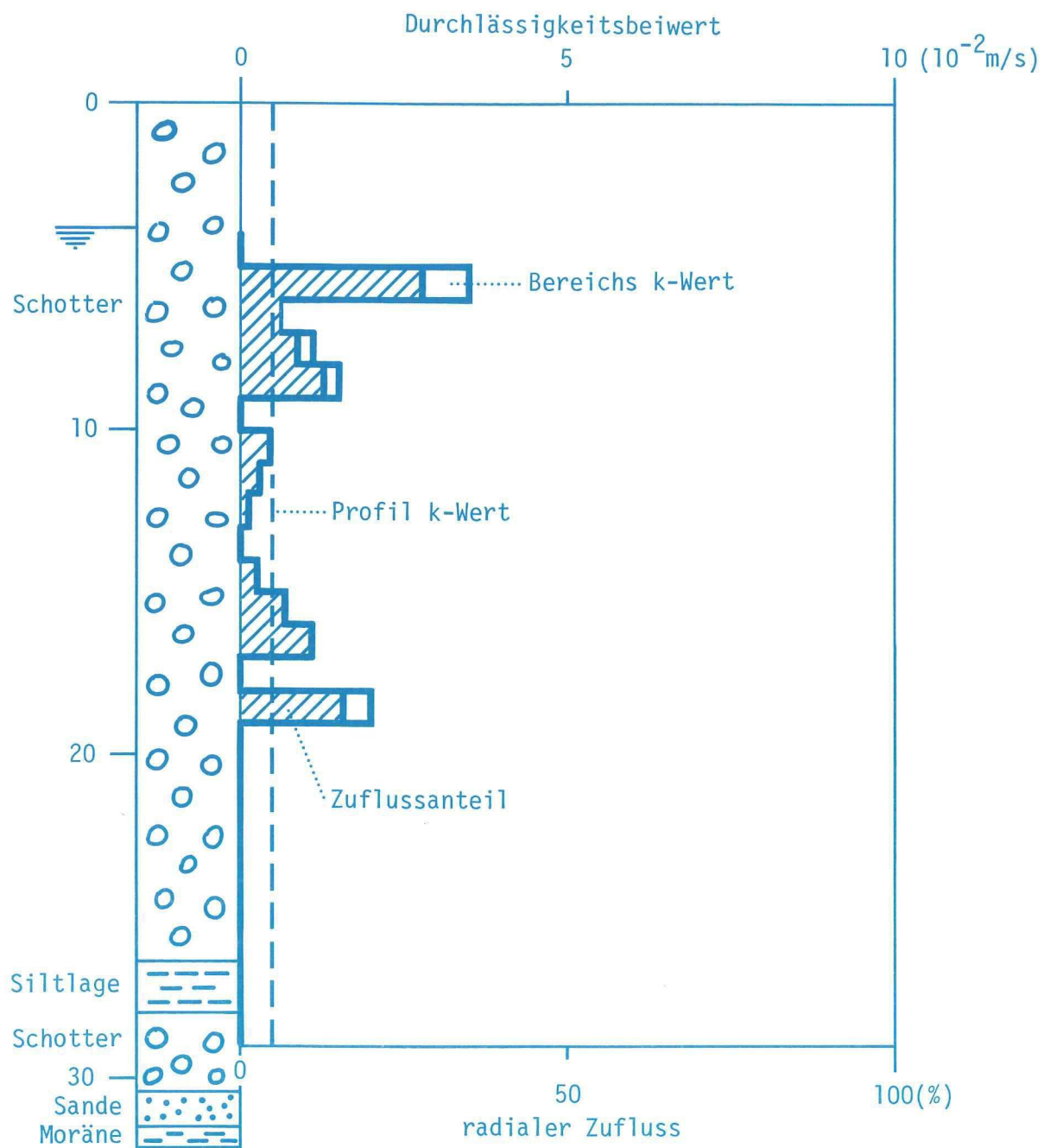


Fig. 4 Flowmeteruntersuchung im Versuchsbrunnen III (588/213.30)



- Innerhalb des durchströmten Grundwasserleiters werden Bereiche beobachtet, in welchen die Zuströmung praktisch 0 ist. Dies ist überraschend, wurden doch im Bohrprofil keine Unterschiede in der Zusammensetzung des Bodens beobachtet.

8.3. Zusammenstellung der wichtigsten hydrogeologischen und hydraulischen Kenndaten des Gebietes Werdthof-Tannholz

Flurabstand:	Bei Niedrigwasser: 3 - 5 m Bei Hochwasser: 1 - 3 m
Deckschicht:	Meist kiesig und gut durchlässig
Grundwasserspiegel:	Gefälle: 0,5 - 0,8 ‰ Schwankungen: ca. 2 m
Transmissivität:	0,10 - 0,35 m ² /s
Profil-k-Wert:	0,005 - 0,014 m/s
Bereichs-k-Wert:	0 - 0,075 m/s
Speicherkoeffizient:	0,12
Fliesgeschwindigkeit des Grundwassers:	2 - 8 m/Tag

8.4. Verfügbare Grundwassermengen im Gebiet Kappelen-Werdthof

Im WEA Bericht Seeland wird die durch den Profilschnitt beim Werdthof fließende Grundwassermenge mit 180 l/s angegeben. Dies betrifft die ganze Talbreite von hier ca. 4,5 km.

Für den uns interessierenden Profil-Abschnitt von 1,5 km Länge ergibt unsere Abschätzung eine Durchflussmenge bei Niederwasser von

$$\underline{75 \text{ l/s}^* \text{ bzw. } 180 \text{ l/s}^{**}}$$

Annahmen:

$$T = 0,10^* - 0,20^{**}$$

$$i = 0,0005^* - 0,0006^{**}$$

Der tiefe Wert erscheint zu pessimistisch, wenn man bedenkt, dass lokal bis mindestens 3 mal höhere Transmissivitäten vorkommen. Während unseren Pumpversuchen wurden während 6 Wochen mindestens 800 l/min, während etwa 3 1/2 Wochen ca. 1'600 l/min Grundwasser gefördert. Gleichzeitig wurden für Bewässerungszwecke im gleichen Gebiet zeitweise grössere Grundwassermengen gepumpt. Diese Eingriffe wirkten sich nur geringfügig auf den Grundwasserhaushalt aus: die Absenkungen betrugen bei den Brunnen wenige cm und waren bei den WEA Schreibpegeln B3 und P25 nicht registrierbar. Die Ganglinien in Fi-

gur 1 Seite 5 zeigen, dass auch näher gelegene Piezometer kaum merklich reagierten.

Wir neigen zur Ansicht, dass die Durchflussmengen im Raum Werdthof wesentlich grösser sein könnten als dies früher angenommen wurde. Möglicherweise wurde bisher der Infiltratanteil des Hagneckkanals unterschätzt.

9. DIE GRUNDWASSERQUALITÄT IM GEBIET WERDTHOF-TANNHOLZ

9.1. Bewertungsgrundlagen

Da von Seite der Grundwasserqualität die grössten Probleme zu erwarten waren, legten wir grosses Gewicht auf eine genaue Abklärung der hydrochemischen Verhältnisse.

Unsere Beurteilung stützt sich auf folgende Untersuchungen:

- Analysen der Gesamtchemie von Wasserproben aus 17 Beobachtungsstellen im März 1985
Ziel: Erfassung der hydrochemischen Unterschiede im Gebiet Werdthof-Tannholz.
- Mehrere Analysen der Gesamtchemie und Bakteriologie während der Pumpversuche (8 Probenahmen).
Ziel: Erfassung der Hydrochemie in den Brunnen und ihre allfällige Veränderung im Laufe der Wasserförderung.
- Beurteilung der systematischen Erhebungen der Gas- und Wasserwerke Biel (seit 1983 vierteljährlich)
Ziel: Erfassung von saisonalen Schwankungen der Hydrochemie. Erfassung von Trends.
- Analysen des Kantonschemikers für PW Kappelen seit 1976.
Ziel: Erfassung von saisonalen Schwankungen der Hydrochemie. Erfassung von Trends.
- Temperaturmessungen in 29 Messstellen. (z.T. Temperaturprofile).
Ziel: Erfassung von Infiltrationszonen. Beurteilung der Durchströmung des Grundwasserleiters.

9.2. Die Schwankungen des Grundwasserchemismus

Eine Verfolgung der Grundwasserchemismen über längere Zeit ergibt interessante Feststellungen:

a) Langfristige Änderungen

Der Grundwasserchemismus scheint im allgemeinen in den letzten 10 Jahren nur geringfügigen Änderungen zu unterliegen. Bei Nitrat ist allerdings eine leicht steigende Tendenz in den letzten 3 Jahren (siehe Figur 5) nicht zu übersehen. 1950 - 1963 lag der mittlere Nitratgehalt bei 22 - 25

Fig.5 Schwankungen der Nitratkonzentration

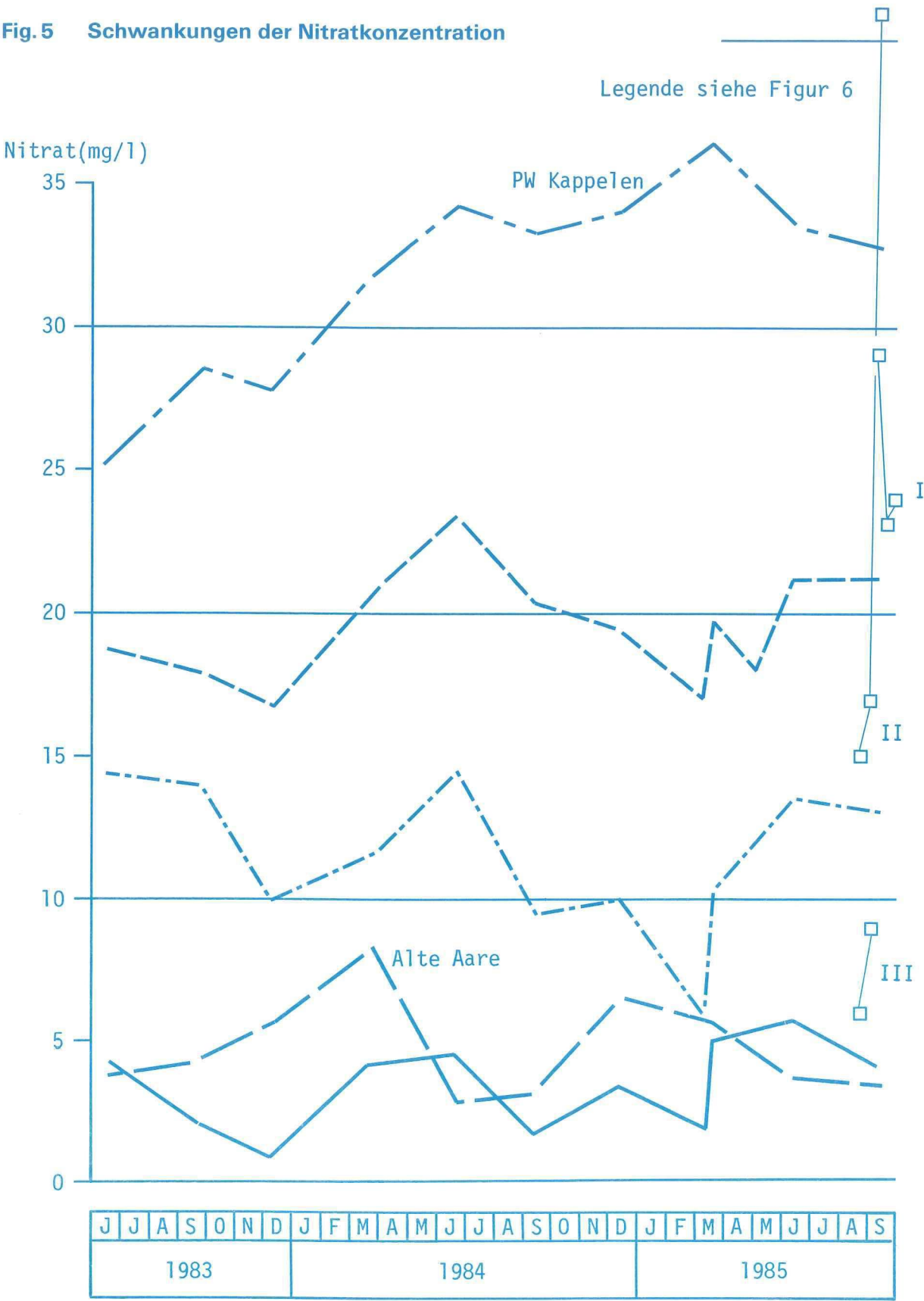


Fig. 6 Schwankungen der Chloridkonzentration

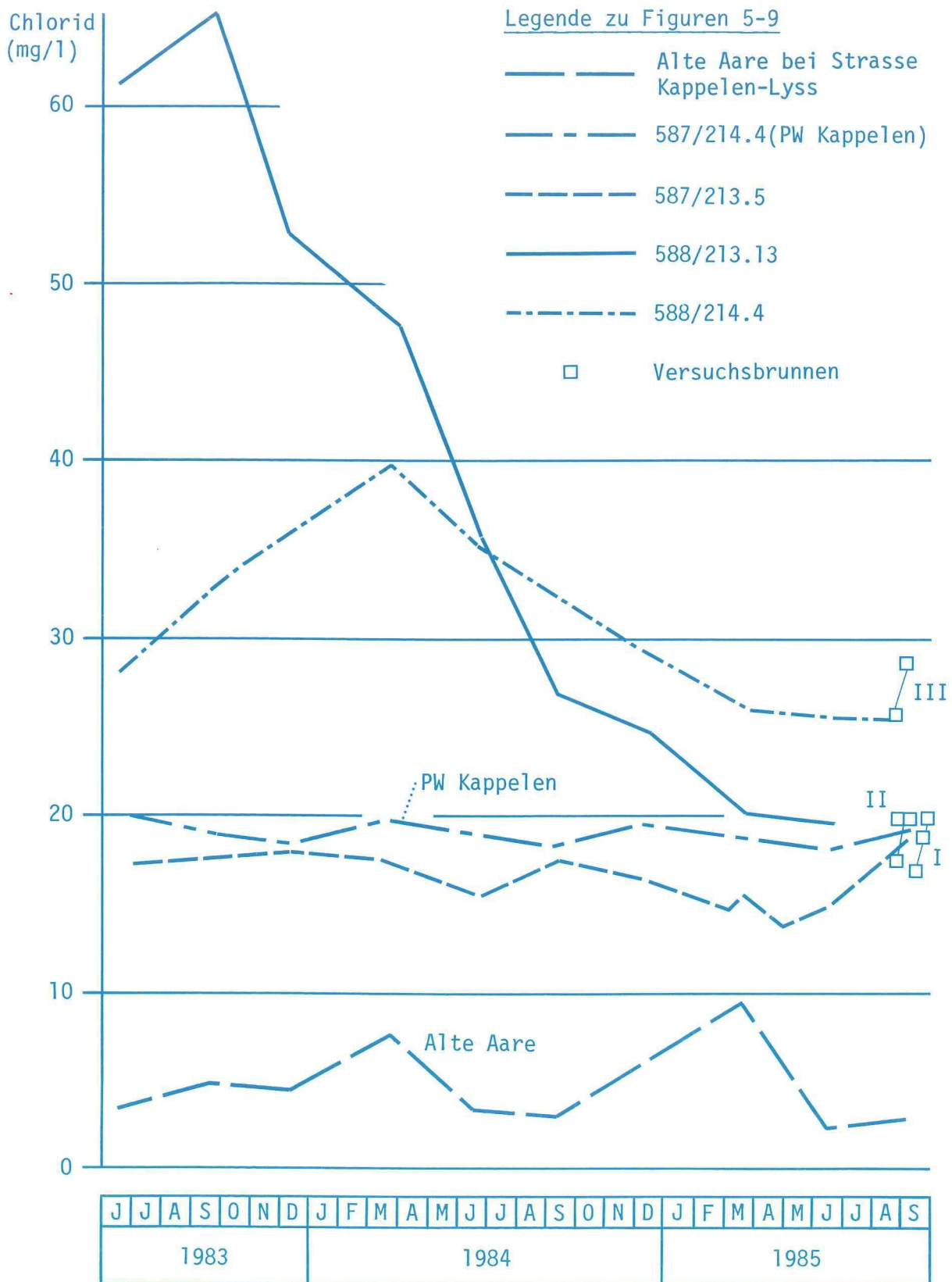


Fig. 7 Schwankungen der Sauerstoffgehalte

Sauerstoff
(mg/l)

Legende siehe Figur 6

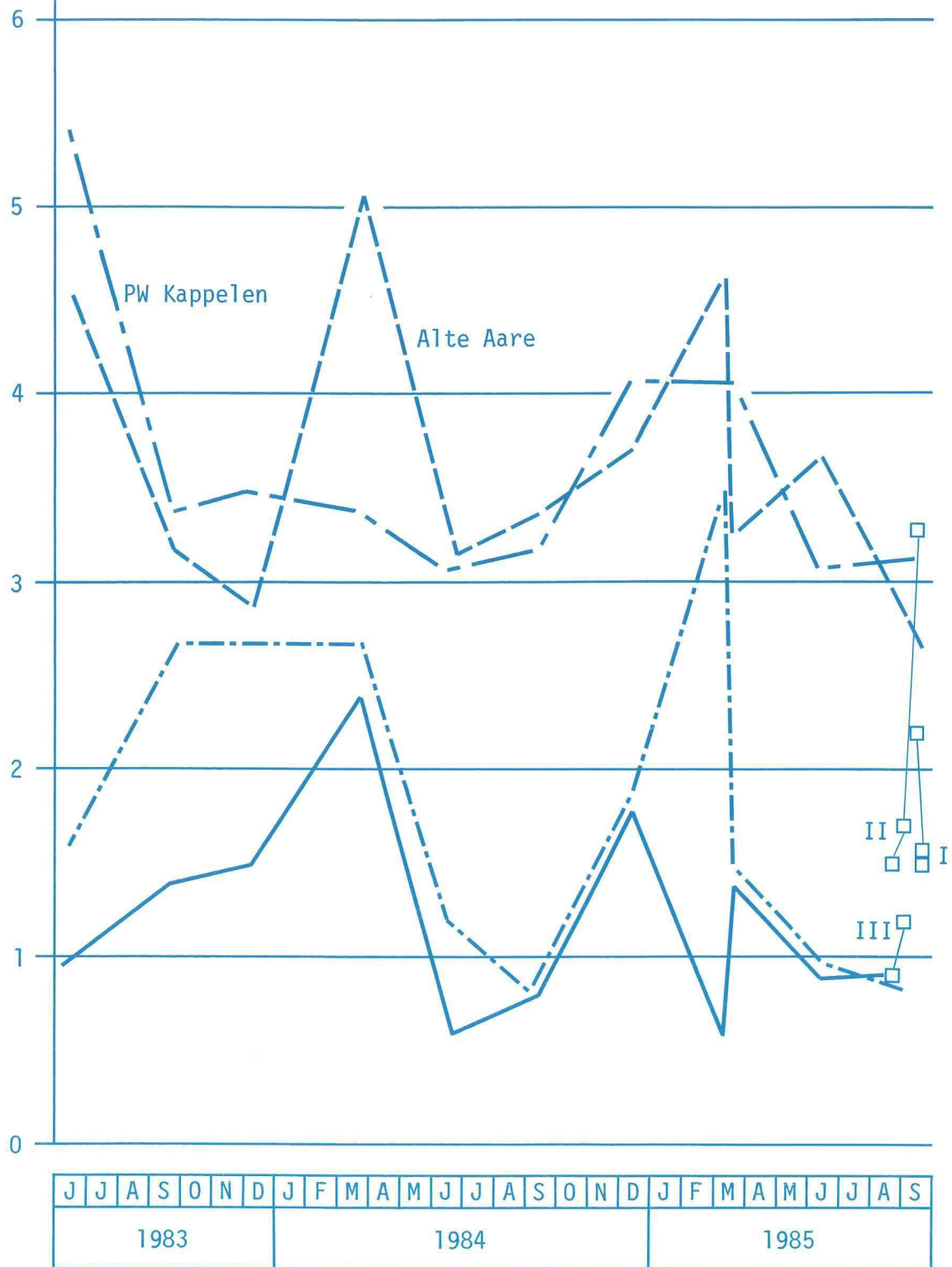
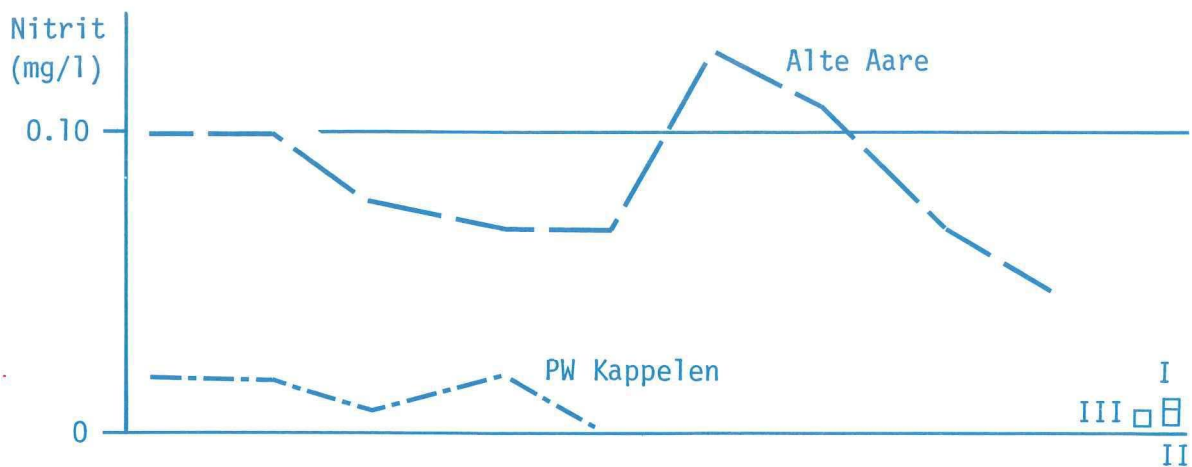


Fig. 8 Schwankungen von Nitrit und Ammonium



Legende siehe Figur 6

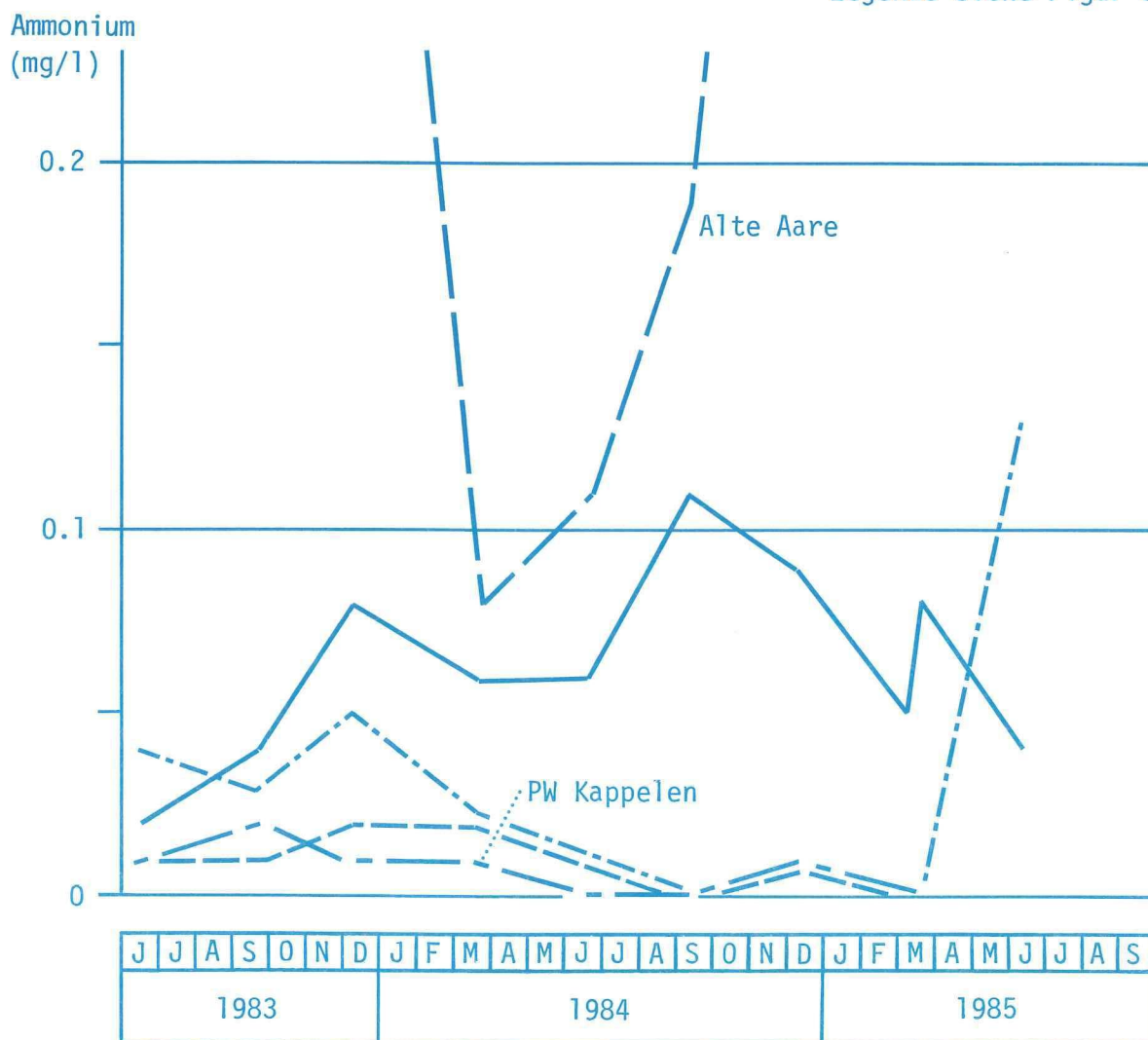
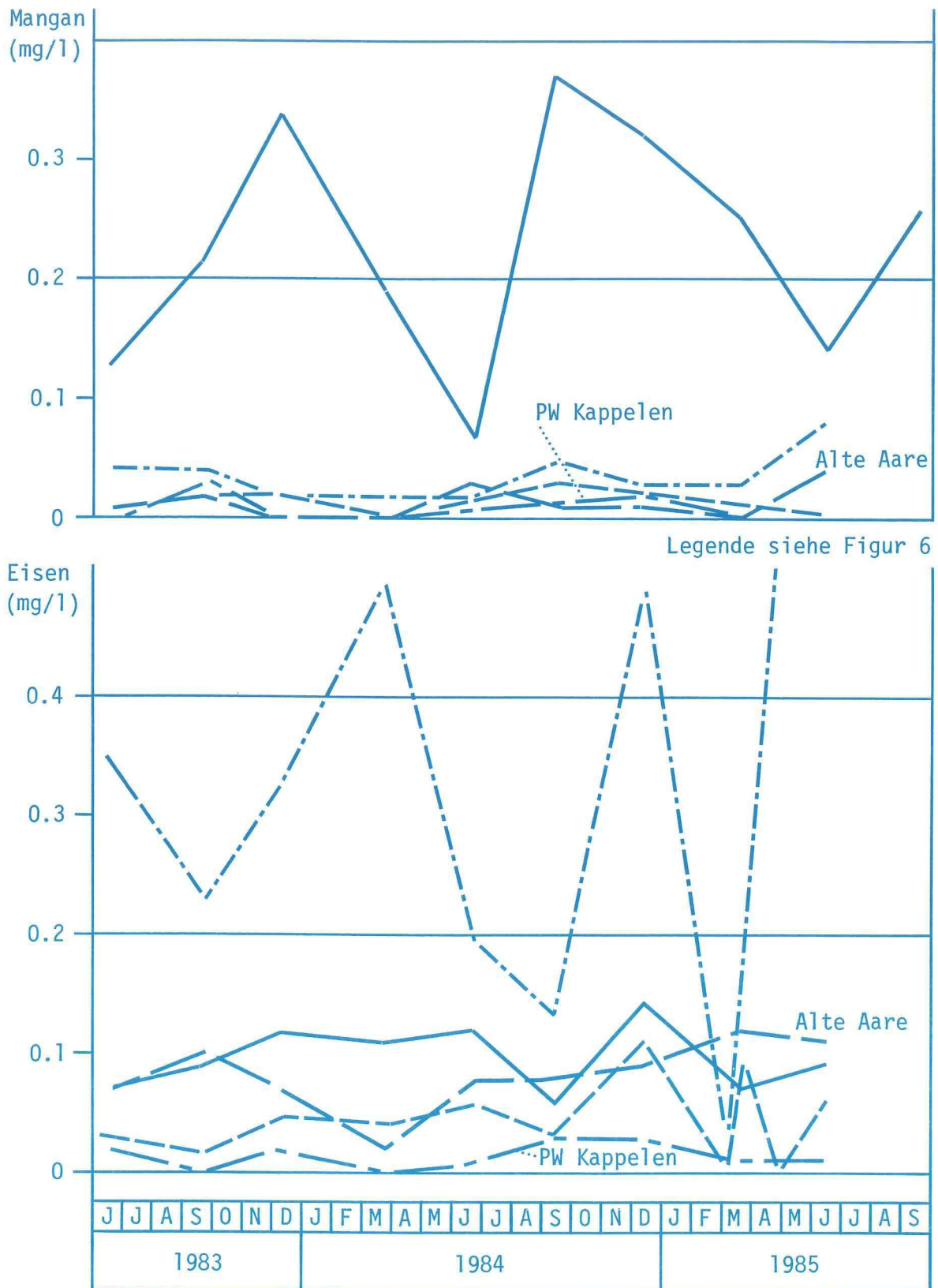


Fig. 9 Schwankungen von Mangan und Eisen



mg/l, 1984 - 1985 bei ca. 33 mg/l. Die Toleranzgrenze von 40 mg/l wurde nur einmal, im Dezember 1981 erreicht.

Auffallend ist zudem der seit 1983 stark fallende Chloridgehalt bei Al (Figur 6).

b) Saisonale Schwankungen

Die in Figur 5 bis 9 aufgezeichneten Parameter Nitrat, Sauerstoff, Eisen und Mangan, z.T. auch Nitrit und Ammonium, zeigen mehr oder weniger ausgeprägte saisonale Schwankungen. Nitrathöchstwerte werden meist im Frühjahr bis Frühsommer beobachtet, Tiefstwerte im Winter. Der Grund liegt in der erhöhten Ausschwemmung von Nitrat aus brachliegendem Boden in den Nässeperioden des Frühjahrs.

Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei systematischen Untersuchungen im Luthern-Wiggertal LU (Geotest) gemacht.

Beim Sauerstoff deuten sich ähnlich verlaufende Schwankungen an. Hier dürfte der Grund bei der Infiltration zu suchen sein. Erhöhte Infiltration der Alten Aare bei Hochwasser führt zu höheren Sauerstoffgehalten. Schwankungen bei Mangan, Eisen, Nitrit und Ammonium wiederum hängen eng mit dem Sauerstoffhaushalt des Grundwassers zusammen, da diese Stoffe bei Sauerstoffzehrung zunehmen.

9.3. Der Grundwasserchemismus im Raume Werdthof-Tannholz

Die Kartendarstellungen in den Anhängen 3 und 4 illustrieren die hohen Unterschiede der Grundwasserbeschaffenheit im untersuchten Gebiet.

Sauerstoff

Im Gebiet Werdthof werden relativ hohe Sauerstoffgehalte bis 6 mg/l beobachtet. Gegen Osten nimmt der Sauerstoffgehalt abrupt bis auf Werte unter 1 mg/l ab. Im Auenwald "Enteninsel" springen die Sauerstoffgehalte überraschend auf Werte gegen 10 mg/l.

Merkwürdig erscheint, dass erhöhte Eisen- und Mangangehalte, die direkt auf Sauerstoffzehrung (reduzierendes Milieu) zurückzuführen sind, nicht hauptsächlich in jenen Gebieten beobachtet werden, wo der Sauerstoffgehalt stark erniedrigt ist.

Nitrat

Gegen die Alte Aare nimmt der Nitratgehalt erwartungsgemäss stark ab. Dies ist einerseits auf die Infiltration von nitratarmem Aarewasser und andererseits auf das hier herrschende reduzierende Milieu zurückzuführen. Entsprechend sind hier erhöhte Ammonium und Nitrit-Gehalte festzustellen, ein neben Eisen und Mangan weiterer nachteiliger Effekt der Sauerstoffzehrung in organisch belastetem Grundwasser. Im Raume Tannholz-Werdthof liegen die Nitratwerte zwischen 17 und 36 mg/l.

Gesamthärte

Hier zeigt sich deutlich die verdünnende und aufweichende Wirkung des infiltrierenden Wassers der Alten Aare. Im Gebiet "Enteninsel" liegen die Gehalte unter 30 franz. Härtegraden. Sie steigen gegen Tannholz-Werdthof bis auf 40° frz. H.

9.4. Die Grundwasserqualität in den Versuchsbrunnen I, II und III

Tabelle 2 orientiert über die ermittelten Analysenwerte der während der Pumpversuche entnommenen Wasserproben.

Das geförderte Wasser entsprach mit Ausnahme der zu tiefen Sauerstoffgehalte chemisch und bakteriologisch den Anforderungen an ein Trinkwasser. Chlorierte Lösungsmittel wurden keine festgestellt.

Die chemischen Eigenschaften veränderten sich im Laufe der Wasserförderung kaum (totale Wasserförderung pro Brunnen je ca. 20 - 30'000 m³). Brunnen III liegt im Bereich stärker reduzierender Verhältnisse und weist entsprechend niedrige Sauerstoff- und Nitrat-Gehalte auf.

Tabelle 2

Chemisch und bakteriologische Analysen der während der Pumpversuche in VB I, II, III geförderten Grundwässer (Analysen: Kantonschemiker Bern)

Komponente	Versuchsbrunnen I			Versuchsbrunnen II			Versuchsbrunnen III	
	10.9.85	16.9.85	20.9.85	22.8.85	2.9.85	22.8.85	22.8.85	2.9.85
Trübung	0,1	0,42	0,17	0,12	0,14	2,5	0,2	0,2
Gesamthärte (°f)	37,7	37,3	37,7	39,1	39,4	39,6	38,4	37,8
Calcium (mg Ca/l)	129,5	127,5	128,3	133,5	135,5	138,3	130,7	129,1
Magnesium (mg Mg/l)	13,2	13,4	13,9	14,1	13,5	12,5	14,1	13,6
Chlorid (mg Cl/l)	20	19	17	18	20	20	26	29
Nitrat (mg NO ₃ /l)	29	23	24	15	17	41	6	9
Sulfat (mg SO ₄ /l)	36	36	32	23	29	31	28	36
KMnO ₄ -Verbrauch	1,4	1,6	0,8	2,2	2,0	1,9	2,1	0,9
Nitrit (mg NO ₂ /l)	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,006	0,005
Ammonium (mg NH ₄ /l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
Gesamt-Eisen (mg Fe/l)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
Gesamt-Mangan (mg Mn/l)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05
Sauerstoff (mg O ₂ /l)	2,2	1,6	1,5	1,5	1,7	3,3	0,9	1,2
Sauerstoffsättigung	21 %	15 %	14 %	14 %	16 %	31 %	8 %	11 %
Leitfähigkeit μ S/cm	605	650	650	680	680	680	680	660
pH-Wert	6,75	7,10	7,00	6,85	7,00	6,70	6,85	7,00
Chlorierte Lösungsmittel (mg/l)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Bakteriologie			gut		gut			gut

9.5. Die Grundwassertemperaturen

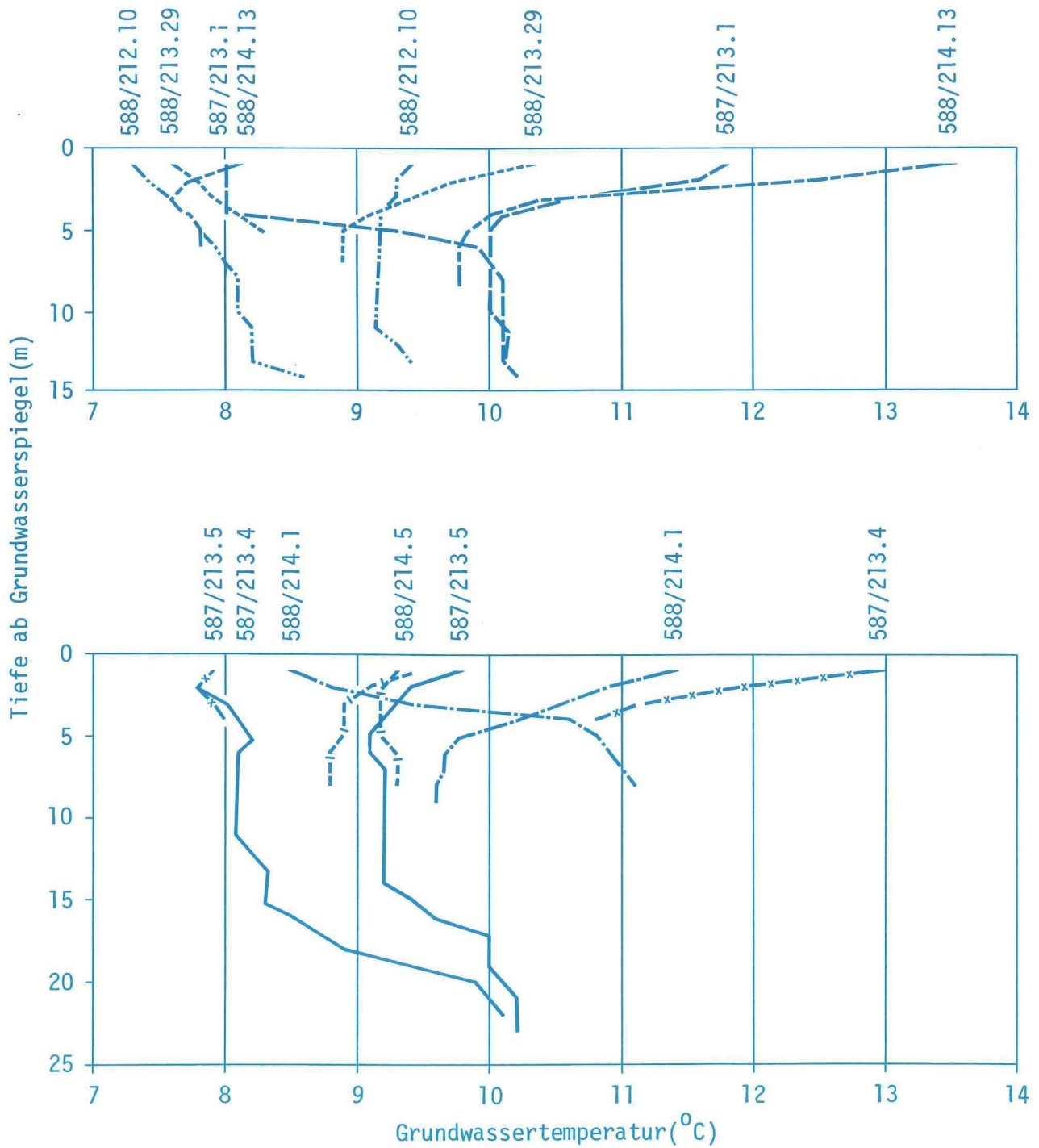
Die im Mai und August 1985 1 m unterhalb des Grundwasserspiegels gemessenen Wassertemperaturen sind in Anhang 5 dargestellt. Im Mai erkennt man deutlich den beginnenden Wärmeeinfluss der Alten Aare, welcher die westlich liegende Kältefahne (die im Winter durch die Infiltration kalten Aarewassers entstand) verdrängt.

Bis zum August entstanden zwei Wärmezonen, welche ein Gebiet relativ kalten Wassers im Tannholz und östlich davon umschliessen. Die Wärmezonen sind durch

Fig.10 Grundwassertemperatur im Tiefenprofil einiger ausgewählter Messstellen

1. Messung 1.5.1985

2. Messung 12.8.1985



Flussinfiltrat verursacht, die östliche eindeutig von Seiten der Alten Aare; die Entstehung der westlichen Zone beim Werdthof ist unsicher und entweder durch Infiltration der Alten Aare oder allenfalls des Hagneckkanals entstanden.

Messungen im Tiefenprofil (Figur 10) zeigen deutlich, dass sich die Temperaturschwankungen vor allem auf die obersten 5 m des Grundwasserleiters beschränken. Dies überrascht nicht, nachdem durch Flowmetermessungen festgestellt wurde, dass ein grosser Teil der Grundwasserströmung in den oberen Teilen des Leiters stattfindet. Da gleichzeitig ein vertikaler Wasseraustausch weitgehend fehlt, wirkt sich die Uferinfiltration bevorzugt auf die obersten Bereiche aus und hat hier entsprechend hohe Temperaturamplituden zur Folge. Die tieferen Zonen des Grundwasserleiters reagieren entsprechend träge.

Bereits die beiden ausgeführten Messkampagnen ergeben Temperaturamplituden von mehreren ° C, wobei sicher nicht die Temperaturminima resp. -maxima erfasst wurden.

10. FOLGERUNGEN

Für die Ausscheidung des Grundwasserschutzareales - die Zielsetzung unserer Studien - muss das ausgewählte Gebiet folgende Randbedingungen erfüllen:

- Genügende Grundwasserergiebigkeit, welche den Bedarf der Gemeinde Kappelen und allenfalls weiterer interessierter Wasserversorgungen auf längere Sicht decken kann.
- Trinkwasserqualität des Grundwassers auf längere Sicht gewährleistet.
- Lage ausserhalb der Bauzone in lediglich land- oder forstwirtschaftlich genutztem Gebiet.

Unsere Untersuchungen zeigten, dass auf Gemeindegebiet Kappelen sich ausschliesslich im Gebiet Werdthof-Tannholz die Möglichkeit bietet, unter den obgenannten Voraussetzungen ein Grundwasserschutzareal auszuscheiden. In weiteren Teilen, vorallem auch in den bezüglich der Nutzung attraktiven Auenwäldern der Alten Aare ist das Grundwasser so stark verunreinigt, dass hier eine Nutzung, auch auf längere Sicht betrachtet, undenkbar ist.

Im landwirtschaftlich genutzten Feld zwischen Staatsstrasse und Tannholz (Flurname "Eggen") wurde eine überraschend hohe Durchlässigkeit gefunden (Versuchsbrunnen I), die hier Entnahmen von mehreren Tausend Minutenlitern erlauben würde. Die Grundwasserqualität ist nicht überragend, entspricht aber den lokalen Bedingungen, wie sie von den PW Kappelen, Worben und Biel bekannt sind. Mit einer Belüftung kann hier Trinkwasserqualität erreicht werden.

Im östlich anschliessenden Tannhoz sind die Qualitätseigenschaften des Grundwassers problematischer, weil zumindest zeitweise mit Sauerstoffzehrung und den damit verbundenen Nebeneffekten wie erhöhten Ammonium-, Nitrit-, Eisen- und Mangangehalten zu rechnen ist. Zur Zeit unserer Untersuchungen war

zwar das geförderte Wasser abgesehen von den niedrigen Sauerstoffgehalten weitgehend in Ordnung.

Die Grundwasserergiebigkeit ist im Tannholz ungünstiger, die gegenüber "Eggen" etwa 3 mal geringere Transmissivität würde aber gleichwohl die Erschliessung von 2 - 3'000 l/min (im Dauerbetrieb) zulassen.

Trotz der günstigen Nutzungsbedingungen (Wald) kommt das Tannholz für eine Trinkwasserentnahme nur bedingt in Frage. Eine Verbesserung der Qualitätseigenschaften des Grundwassers könnte allenfalls mit einer Grundwasseranreicherung erzielt werden. Die Wirkung einer solchen Anreicherung, z.B. mit Wasser der Alten Aare, auf die Qualitätseigenschaften des Grundwassers, müsste durch länger dauernde Versuche überprüft werden.

Als Anreicherungsstelle bietet sich die alte, z.T. aufgefüllte Kiesgrube nahe der Südecke des Tannholzes an. Hier könnte mit relativ geringem Aufwand ein Anreicherungsbecken ev. mit Sandfilter geschaffen werden.

Auch bei einer allfälligen späteren Realisierung des Fassungsgebietes "Eggen" sollte die Option einer Grundwasseranreicherung, sei es zur Verbesserung der Wasserqualität oder zur Erhöhung des Wasserdargebotes offengelassen werden.

11. DAS GRUNDWASSERSCHUTZAREAL

Die Abgrenzungen des von uns vorgeschlagenen und von den Gemeindebehörden Kappelen in ersten Konsultationen gutgeheissenen Grundwasserschutzareals sind in Anhang 6 eingetragen. Es wurde aus verschiedenen Gründen recht gross bemessen.

Einerseits sollen durch das Grundwasserschutzareal beide Möglichkeiten einer Grundwassererschliessung "Eggen" und "Tannholz"- offengelassen werden. Beide Gebiete haben ihre Vor- und Nachteile.

Das Grundwasserschutzareal muss gleichzeitig die Realisierung einer Anreicherungsanlage stromaufwärts der Grundwasserentnahme ermöglichen (die Anreicherungsanlage muss ebenfalls durch eine Schutzzone geschützt werden). Im weiteren ist zur Zeit noch ungewiss, ob im Grundwasserschutzareal Kappelen in einer späteren Zeit die Bedürfnisse anderer Wasserversorgungen der Region gedeckt werden müssen.

Die Nutzungsbeschränkungen innerhalb des Schutzareals sind minim. Die land- und forstwirtschaftliche Nutzung ist nicht eingeschränkt. Hingegen soll das Gebiet von Hochbauten, Abwasseranlagen, Deponien und Kiesausbeutungen freigehalten werden.

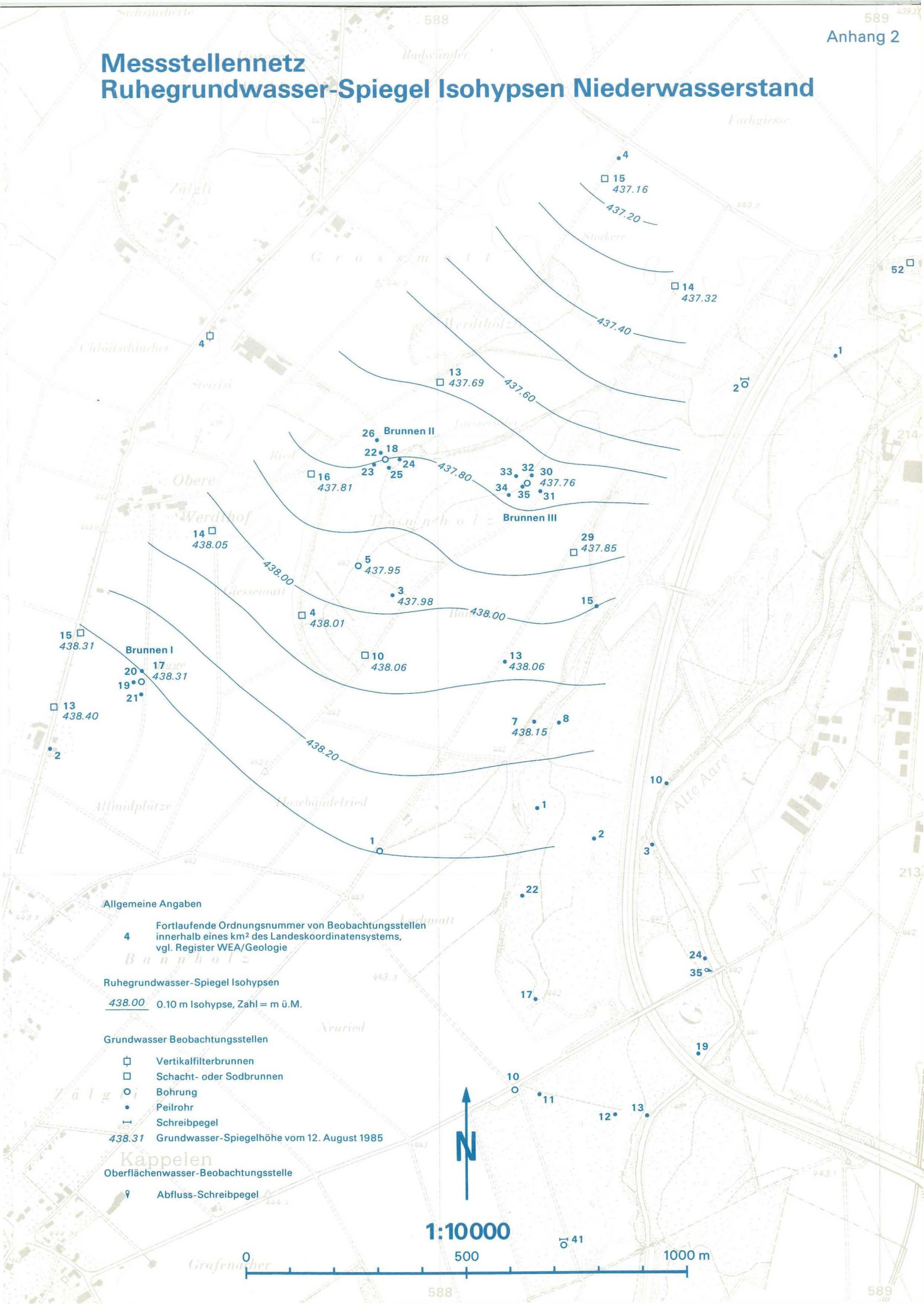
Das rechtskräftige Grundwasserschutzareal wird ein für die örtliche oder regionale Trinkwasserversorgung geeignetes Gebiet auf lange Sicht vorsorglich sichern.

Die regionalen Probleme des Grundwassers, wie z.B. der steigende Nitratgehalt, werden aber nur durch Anstrengungen auf breiterer Ebene angegangen werden können.

Geoelektrische Sondierungen

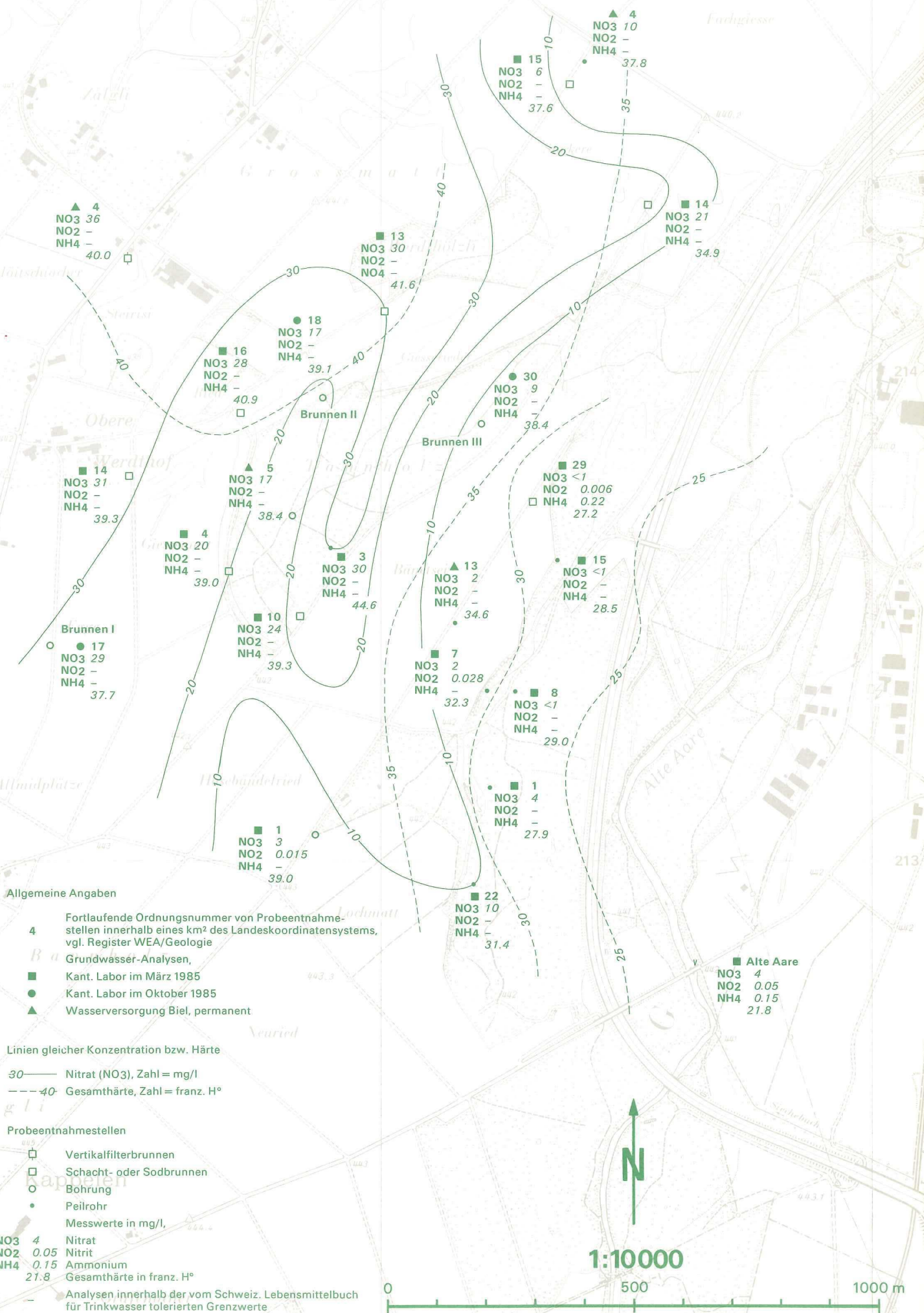


Messstellennetz Ruhegrundwasser-Spiegel Isohypsen Niederwasserstand



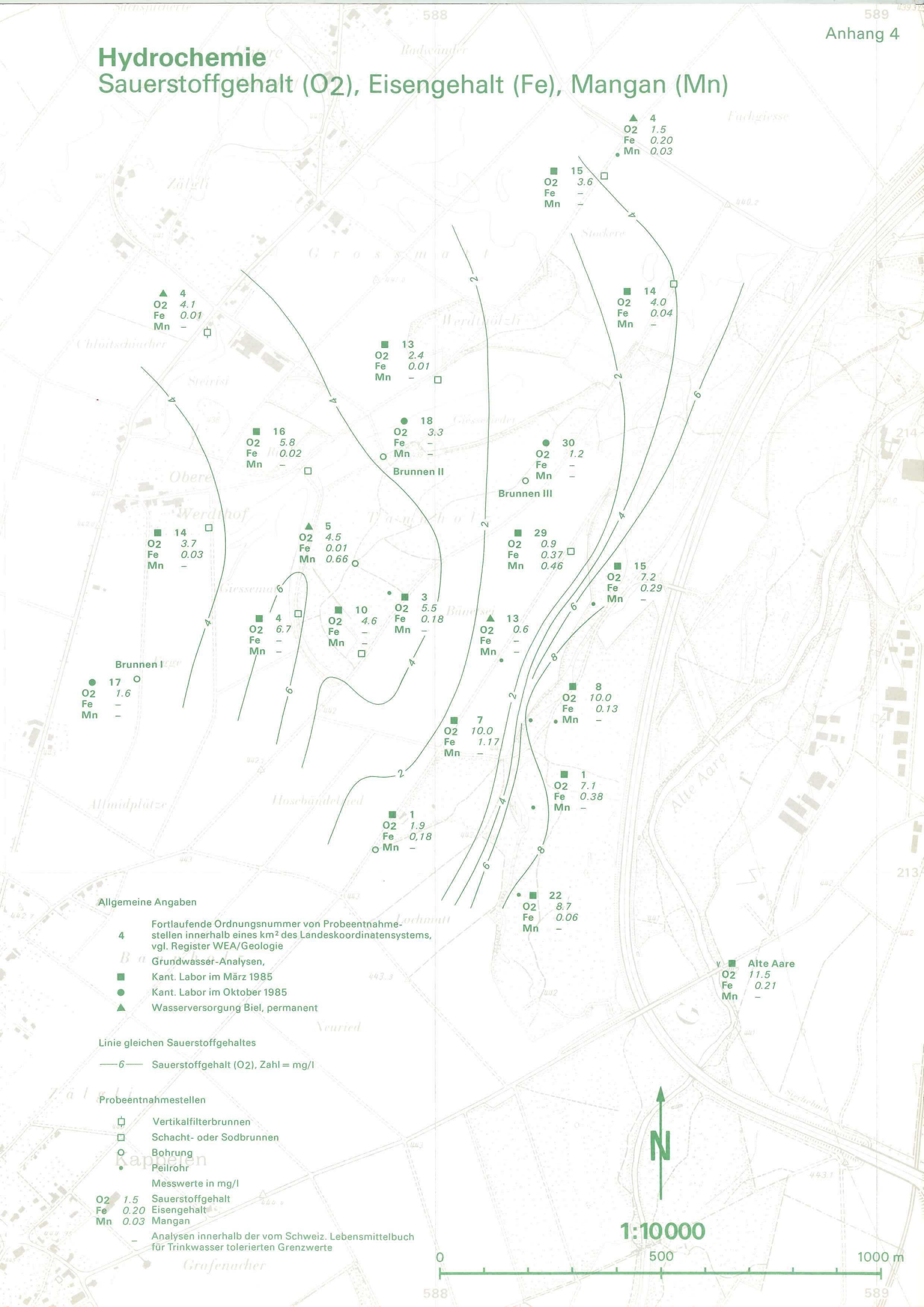
Hydrochemie

Nitrat (NO₃), Nitrit (NO₂), Ammonium (NH₄), Gesamthärte



Hydrochemie

Sauerstoffgehalt (O₂), Eisengehalt (Fe), Mangan (Mn)



Allgemeine Angaben

- 4 Fortlaufende Ordnungsnummer von Probeentnahmestellen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Grundwasser-Analysen, Kant. Labor im März 1985
- Kant. Labor im Oktober 1985
- ▲ Wasserversorgung Biel, permanent

Linie gleichen Sauerstoffgehaltes

—6— Sauerstoffgehalt (O₂), Zahl = mg/l

Probeentnahmestellen

- Vertikalfilterbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Bohrung
- Peilrohr

Messwerte in mg/l

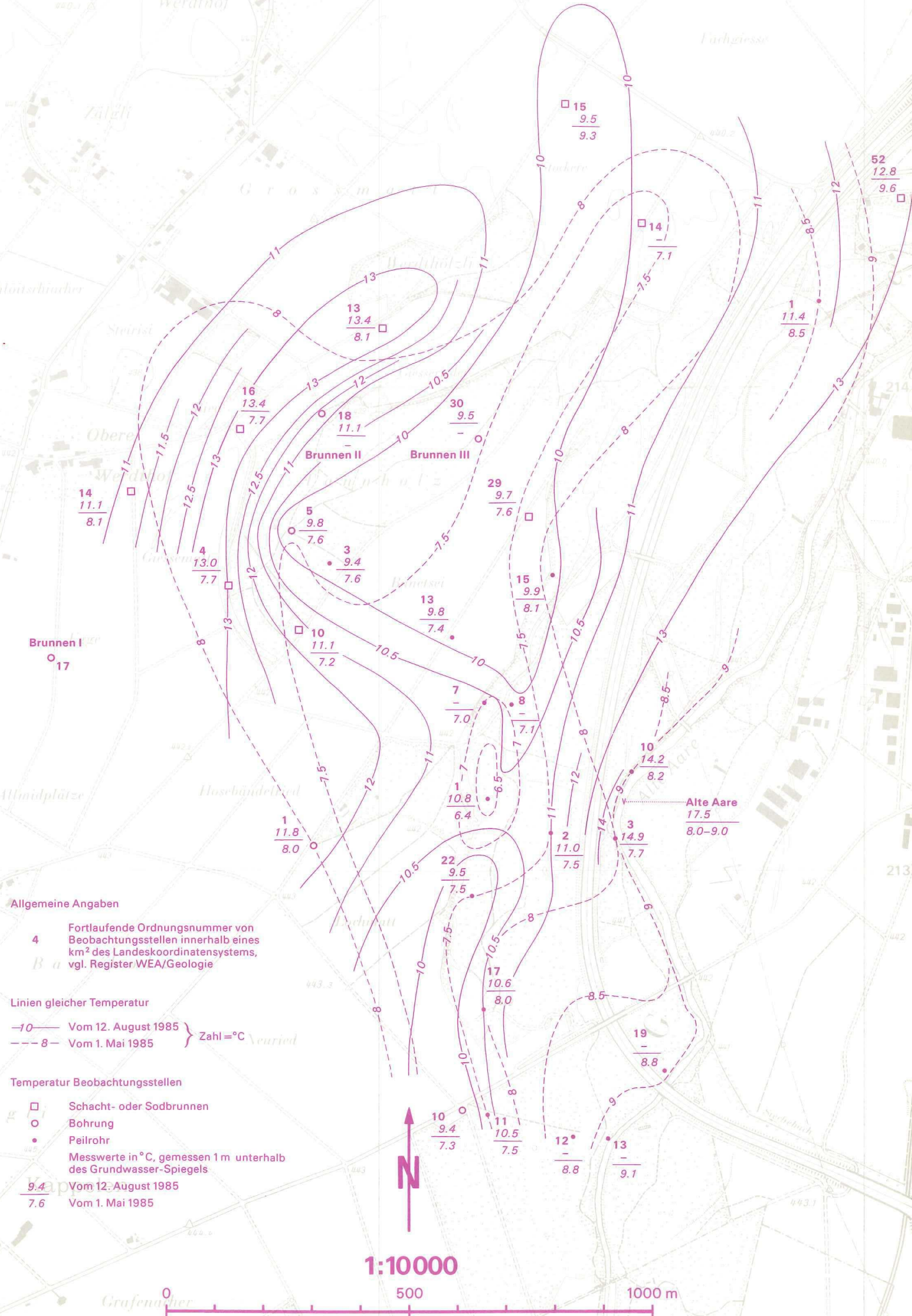
O₂ 1.5 Sauerstoffgehalt
Fe 0.20 Eisengehalt
Mn 0.03 Mangan

Analysen innerhalb der vom Schweiz. Lebensmittelbuch für Trinkwasser tolerierten Grenzwerte

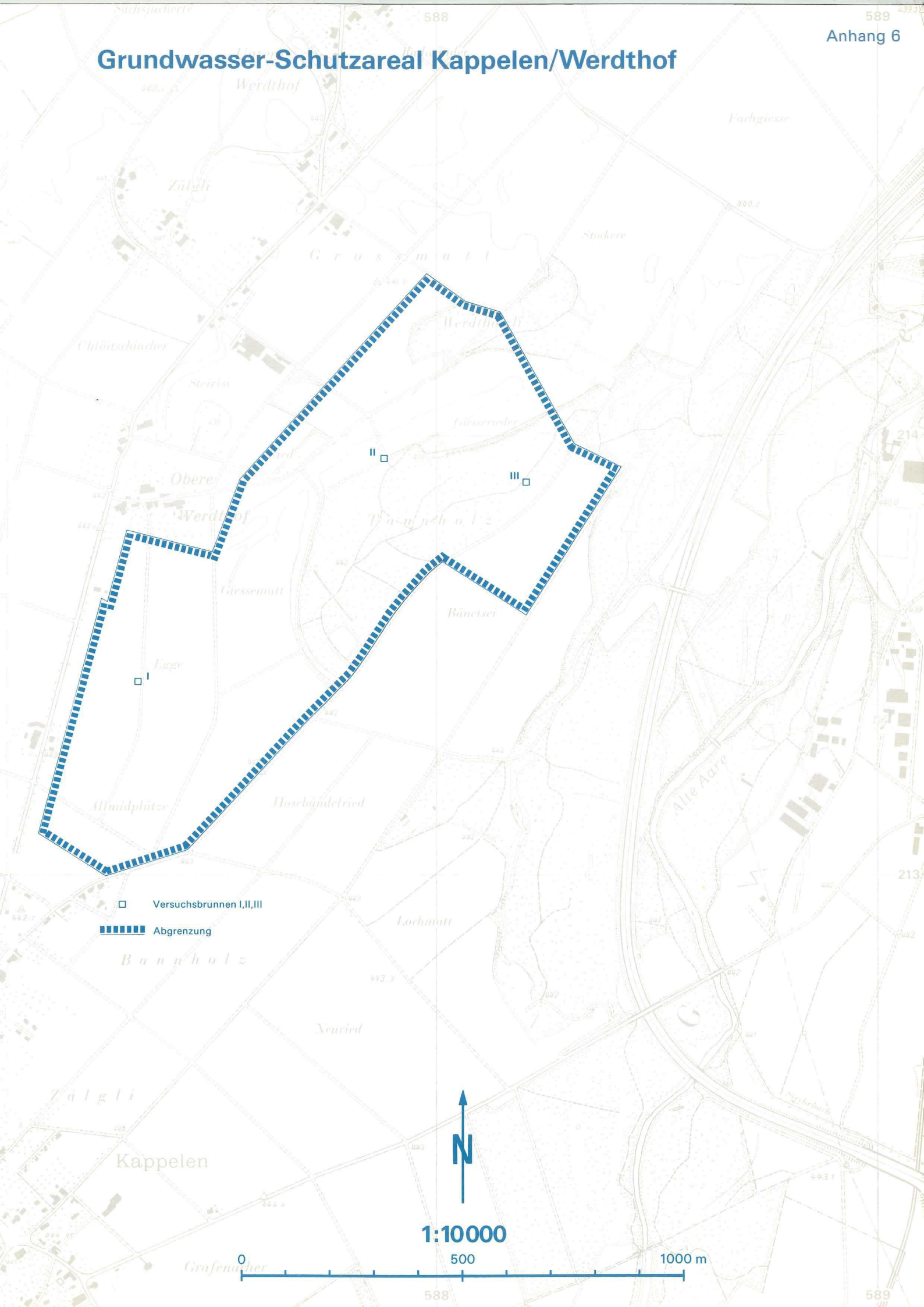
1:10000

0 500 1000 m

Grundwasser-Temperaturen vom 1.5. und 12.8.1985



Grundwasser-Schutzareal Kappelen/Werdthof



□ Versuchsbrunnen I,II,III
■■■■■ Abgrenzung



1:10000

0 500 1000 m

Geologisches Profil, Versuchsbrunnen I (587/213.17)

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern									
Bohrfirma: Grund- und Tiefbau AG								Situation:	
Bohrverfahren: Rotationskernbohrung								Logs: Flowmeter	
Bohrmeister: Lochat				Bohrgerät:					
ausgeführt vom 19.8 bis 27.8.1985									
Koordinaten: 587.332/213.439 OK Terrain 442.51 m ü.M. OK Rohr 442.16 m ü.M.									
Geol.Aufnahme: Dr. Keusen									

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernausbeute %	Beob- achtungs- rohr $\varnothing$ 150mm	Filter	m ü. M.	Tiefen ab OK Terrain	Lithologie	Feld Labor	USCS	Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasser- leiters	Bemerkungen
						± 0	Humus					
270 mm						4.50	Kiessand sauber mit Steinen, grau		GM			
240 mm						18.80	leicht siltiger bis siltiger Kiessand mit Steinen, grau		GW			
220 mm						26.90	fast sauberer bis leicht siltiger Kiessand mit Steinen, grau		GM			
						32.00	siltiger Kiessand, grau		GM			
						32.50	sauberer Mittelsand mit wenig Kies, braun		SP			
						33.70	sauberer Mittelsand, braun		SP			
						36.00	sandiger Silt, steif bis fest, graubraun		SM	Moräne		

Aareschotter

Geologisches Profil, Versuchsbrunnen II (587/213.18)

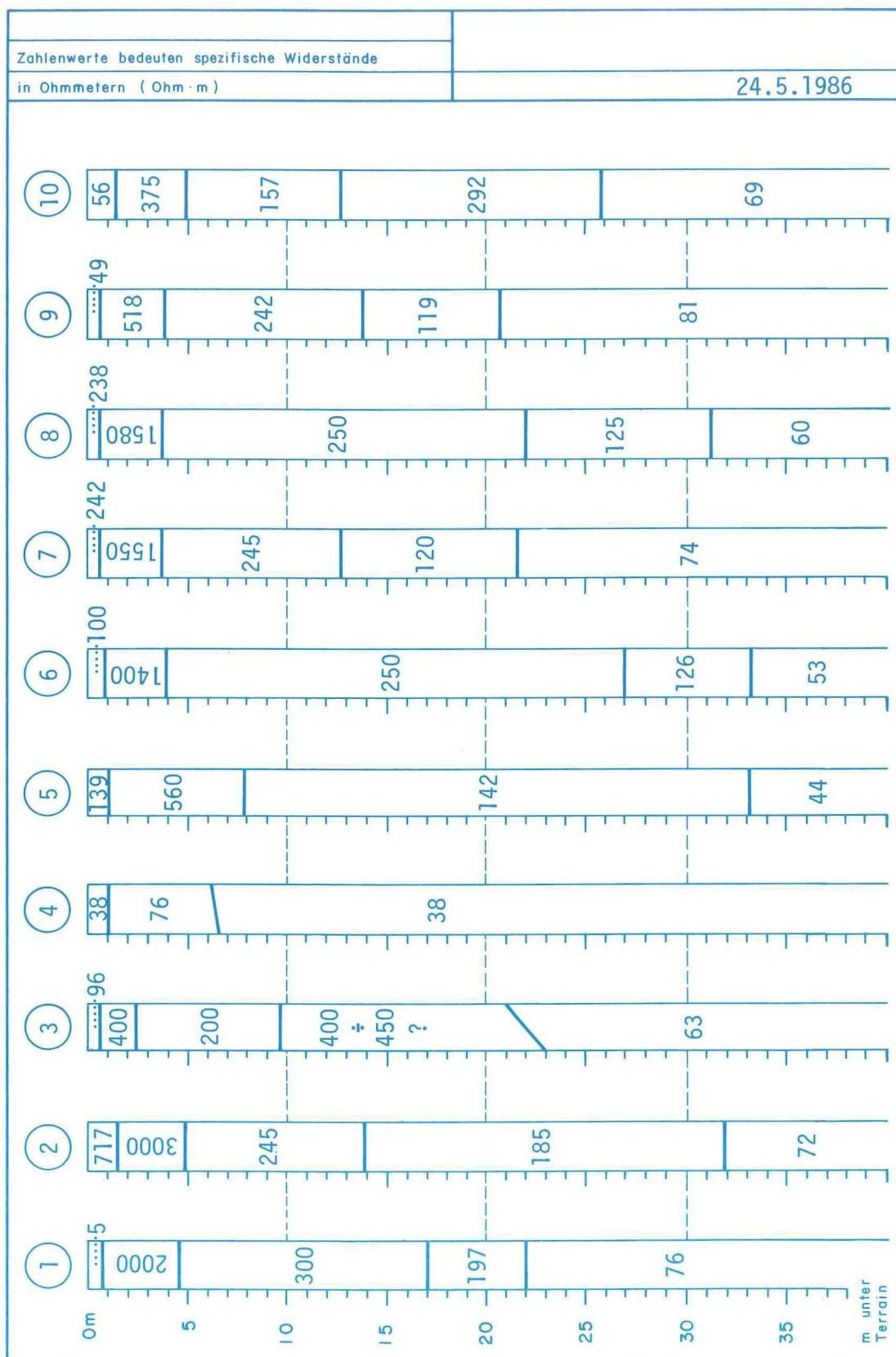
										Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern			
										Bohrfirma: Grund- und Tiefbau AG		Situation:	
										Bohrverfahren: Rotationskernbohrung		Logs: Flowmeter	
										Bohrmeister: Lochat		Bohrgerät:	
										ausgeführt vom 8.8 bis 16.8.1985			
										Koordinaten: 587.885/213.945 OK Terrain 440.96 m ü.M.OK Rohr 440.56 m ü.M.			
										Geol.Aufnahme: Dr. Keusen			
Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- achtungs- rohr ϕ 150mm	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS	Feld	Labor	Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasser- leiters	Bemerkungen
						± 0	 Humus						
270 mm						2.00	 leicht siltiger Sand mit Kies, grau						
							 siltiger Kies mit Steinen, grau						
240 mm						15.20	 leicht siltiger mittelkörniger Sand mit Kies, grau						
						19.50	 leicht siltiger Mittelsand mit sehr wenig Kies, grau						
220 mm						21.80	 stark siltiger Kies, grau						
						23.10	 stark siltiger Sand mit wenig Kies, grau						
						24.00	 leicht siltiger Kies						
						24.60	 leicht siltiger Mittelsand mit wenig Kies						
						25.20	 leicht siltiger Mittelsand, braun						
						26.80	 toniger Silt, steif, gelbbraun						
						27.20	 sandiger Silt, steif, grau						
						28.00							

Geologisches Profil, Versuchsbrunnen III (587/213.30)

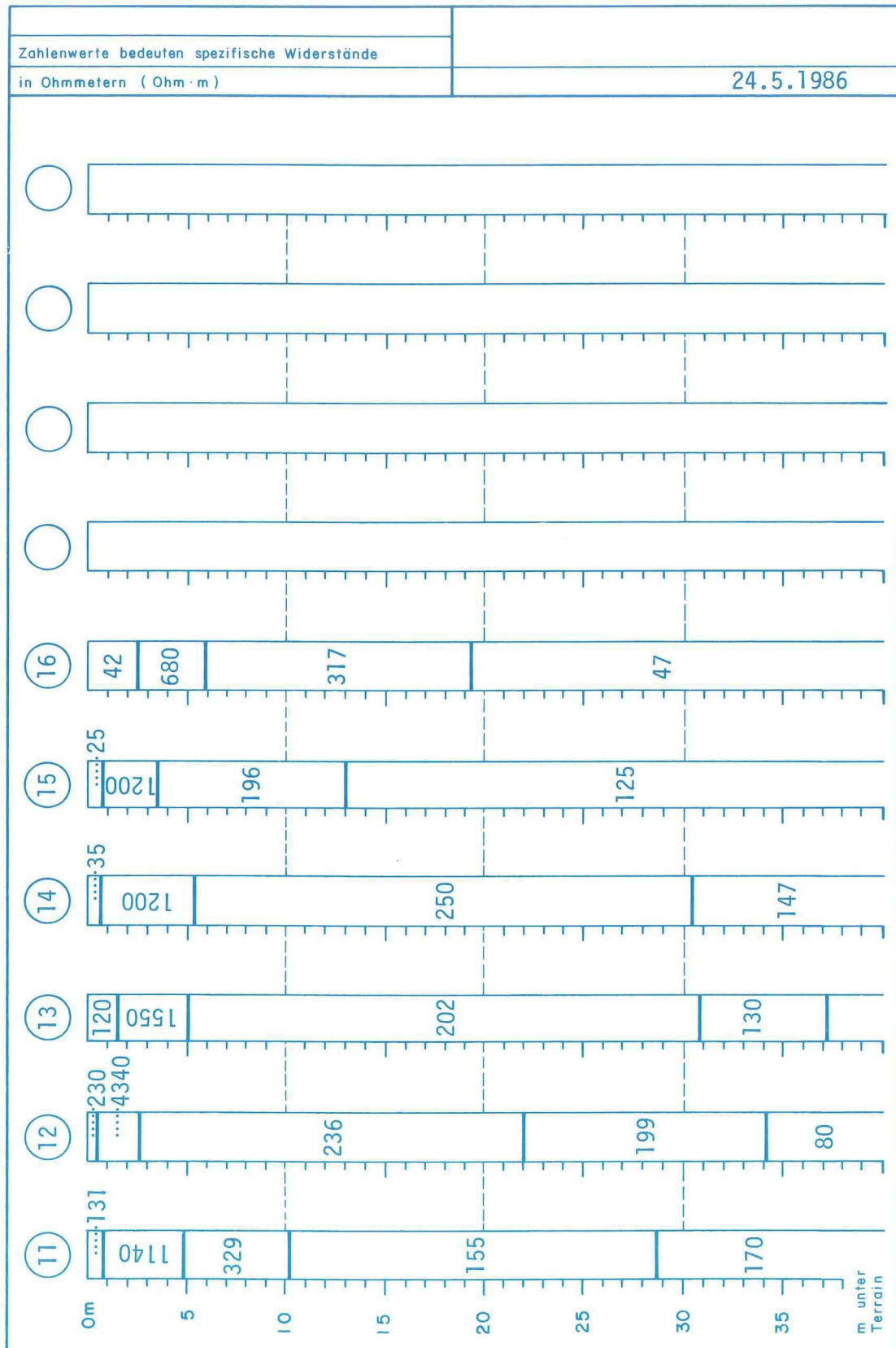
							Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern				
							Bohrfirma: Grund- und Tiefbau AG		Situation:		
							Bohrverfahren: Rotationskernbohrung		Logs: Flowmeter		
							Bohrmeister: Lochat		Bohrgerät:		
							ausgeführt vom 27.7 bis 1.8.1985				
							Koordinaten: 588.202/213.898 OK Terrain 441.58 m ü.M. OK Rohr 441.23 m ü.M.				
							Geol. Aufnahme: Dr. Keusen				

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- achtungs- rohr ϕ 150mm	Filter	m ü. M.	Tiefen ab OK Terrain	Lithologie	Feld	Labor	Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasser- leiters	Bemerkungen
								USCS				
270 mm						± 0	 sandiger Kies mit Steinen, grau					
						3.40	 leicht siltiger Kies mit Steinen, grau					
						5.40	 sauberer Kies, grau					
						6.00	 leicht siltiger Kies mit Steinen, grau					
240 mm						9.60	 sauberer Kies					
						10.00	 leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen, grau					
						13.50	 sauberer Kies					
						14.90	 sauberer bis leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen, grau					
220 mm						20.00	 sauberer Kies					
						20.70	 leicht siltiger Kies mit viel Sand					
						22.00	 Sand mit viel Kies, braungrau					
						26.30	 sandiger Silt, steif, gelbbraun					
						26.50	 leicht siltiger Sand mit Kies					
						27.40	 sandiger Silt mit wenig Kies, steif, grau					
						28.00	 sandiger Kies bis siltiger Sand, leicht siltig, grau					
						30.30	 sauberer Mittelsand mit sehr wenig Kies					
					31.50	 Silt, steif bis fest, grau						
					32.00							

Ergebnisse der elektrischen Tiefensondierungen (Widerstandsprofil)



Ergebnisse der elektrischen Tiefensondierungen (Widerstandsprofil)



Messstellennetz (tabellarische Zusammenstellung)

Bezeichnung Geotest intern	Bezeichnung Rutsch Kellerhals Biel	Nr. des Kantons- chemikers	Ordnungs- Nr. Geol. Dok. WEA	Typ/Durchmesser	Messbare Tiefe	Kote (R) = OK Rohr (S) = OK Schacht Neuvermessung Geotest	Messprogramm Geotest 1985			Gas- & Wasserwerk der Stadt Biel 1983 - 1985 Hydrochemie
							Hydro- metrie	Hydro- thermie	Hydro- chemie	
82 - 10 82 - 11 82 - 12 82 - 13 82 - 17 82 - 19 82 - 22 82 - 24	7.2+ VII - 1 VII - 2 VII - 3 VIII - 1 VIII - 3 IX - 1 IX - 3	18013	588.212/10 588.212/11 588.212/12 588.212/13 588.212/17 588.212/19 588.212/22 588.212/24	Filterrohr 4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4"	17.68 4.18 4.45 3.62 3.96 3.46 3.70 3.48			x x x x x x x x	x	
73 - 1 73 - 105 73 - 3 73 - 4 73 - 5 73 - 10 73 - 103 73 - 14 73 - 102 73 - 100	7.1+ 8 + XII - 2 XII - 1 A 1.1	18003 18006 18001 18010 18002 18005 18017	587.213/1 587.213/2 587.213/3 587.213/4 587.213/5 587.213/10 587.213/13 587.213/14 587.213/15 587.213/16	Filterrohr 4" Filterrohr 4" Pm 1 3/4" Filterbr. 2 3/4" Filterrohr 4" Schachtbr. 50 cm Filterbr. 4 1/2" Schachtbr. 60 cm Schachtbr. Schachtbr. 100 cm	17.10 R 441.70 R 442.12 5.25 6.86 29.60 4.61 4.42 S 440.61 S 442.10 S 439.02		x x x x x x x x x x	x x x x x x x x x x	x x x x x x x x x x	x
Versuchsbr. I Versuchsbr. II Pm 85 - 11 Pm 85 - 12 Pm 85 - 14 Pm 85 - 6 Pm 85 - 7 Pm 85 - 8 Pm 85 - 9 Pm 85 - 10		18001 18002	587.213/17 587.213/18 587.213/19 587.213/20 587.213/21 587.213/22 587.213/23 587.213/24 587.213/25 587.213/26	Filterrohr 6" Filterrohr 6" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4"	R 442.16 R 440.56 R 442.66 R 442.96 R 442.93 R 441.20 R 441.17 R 440.97 R 441.03 R 440.78		x x x x x x x x x x		x x x x x x x x x x	
83 - 1 83 - 2 83 - 3 83 - 7 83 - 8 83 - 10 83 - 13 83 - 15 83 - 101	X - 1 X - 2 X - 3 XI - 1 XI - 2 XI - 4 A 1 XII - 4	18012 18008 18009 18011 18007 18004	588.213/1 588.213/2 588.213/3 588.213/7 588.213/8 588.213/10 588.213/13 588.213/15 588.213/29	Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Pm 1 3/4" Filterbr. 4" Pm 1 3/4" Filterbr. 4 1/2"	2.78 3.82 2.92 3.10 3.40 3.61 10.93 3.52 10.30	R 439.69	x x x x x x x x x	x x x x x x x x x	x x x x x x x x x	x
Versuchsbr. III Pm 85 - 2 Pm 85 - 3 Pm 85 - 4 Pm 85 - 5 Pm 85 - 1		18003	588.213/30 588.213/31 588.213/32 588.213/33 588.213/34 588.213/35	Filterrohr 6" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4" Pm 3/4"	R 441.23 R 441.48 5.85 5.40 5.55 5.65		x x x x x x		x x x x x x	
PW	PW-Kappelen		587.213/14	Filterbr.						x
84 - 1 84 - 5 84 - 102 84 - 101 84 - 4 84 - 100	B3 B2	18016 18015 18014	588.214/1 588.214/4 588.214/13 588.214/14 588.214/15 589.214/52	Filterrohr 4" Filterrohr 4" Filterbr. 4" Filterbr. 4 1/2" Filterbr. 2 3/4" Schachtbr. 60 cm	10.97 7.40 7.00 11.44 5.35	R 440.38 R 438.77 R 440.09 R 439.10	x x x x x x	x x x x x x	x x x x x x	x (1 mal) x