Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Aaretal, zwischen Thun und Bern

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler †
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Herausgeber:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Leitung: Dr. R. A. Gees (WEA)
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli und B. Tröhler †
Mitarbeit: Dr. A. Isler
Geologen SIA/ASIC, Bern
Planungsmitarbeit, kartographische Technik:
P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Einband und Kartenbeilagen 1–4,
Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern
Ausgabe 1981

Flugaufnahme des Aare- und Gürbetals, Thun-Bern, Mai 1979
Swissair Foto + Vermessungen AG, Zürich

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
EINLEITUNG	7
1. GEOGRAPHISCHE UEBERSICHT	10
2. GEOLOGISCHE SITUATION	14
2.1. Allgemeiner Ueberblick	14
2.2. Die Felsunterlage und ihre Quellwasserführung	19
2.3. Alter, Lage und Form des glazialen Aaretroges	20
2.4. Die Trogfüllung	24
2.4.1. Schematisches Sammelprofil	25
2.4.2. Lokale Verhältnisse	26
2.4.3. Spekulative, zusammenfassende Bemerkungen	38
3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN	41
3.1. Allgemeines	41
3.2. Niederschlag	41
3.3. Abfluss	43
3.4. Verdunstung	49
4. HYDRAULISCHE WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN AARE UND GRUNDWASSER	50
4.1. Allgemeine Beziehungen	50
4.1.1. Uebersicht	50
4.1.2. Fortpflanzung von Druckwellen	50
4.1.3. Amplituden	53
4.1.4. In- und Exfiltration	63
4.2. Das intermediäre System der Giessen	63
4.3. Spezifische Infiltrationsstudien	69
4.3.1. Färbversuch in der Aare	69
4.3.2. Sauerstoffisotopenmessungen	77
5. DER HAUPTGRUNDWASSERLEITER DER AARETALEBENE	83
5.1. Räumliche Begrenzung und Mächtigkeit	83
5.2. Lithologischer Aufbau	84

Seite

5.3. Deckschichten 86

5.4. Hydraulische Kennwerte 87

5.5. Grundwasser-Abflussverhältnisse 92

5.6. Grundwasserqualität 96

5.6.1. Physikalische Eigenschaften 96
5.6.2. Chemische Eigenschaften 101

5.7. Grundwasserbilanzierung 116

5.8. Siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte 119

5.8.1. Grundwasserdargebot 119
5.8.2. Grundwassernutzung 124
5.8.3. Grundwasserschutz 129

6. DAS TIEFENGRUNDWASSER IM AARETAL 131

6.1. Allgemeines 131

6.2. Ausdehnung 131

6.3. Hydraulische Eigenschaften 133

6.4. Grundwasserqualität 137

6.4.1. Physikalische Eigenschaften 137
6.4.2. Chemische Eigenschaften 147

6.5. Nutzungsmöglichkeiten 148

7. GRUNDWASSERVORKOMMEN DER RANDGEBIETE 150

7.1. Allgemeines 150

7.2. Grundwasservorkommen in der randlichen Hügelzone zwischen Kander und Jaberg sowie am Bümberg 153

7.3. Grundwasservorkommen in den Schuttkegeln der Seitentäler 157

7.4. Grundwasservorkommen in den Münsingenschottern 158

7.5. Grundwasservorkommen in den Felderschottern des Gümligen-, Muri- und Kirchenfeldes sowie im Gebiet Kehrsatz - Wabern 161

8. DIE GRUNDWASSERLEITER IM STOCKEN- UND GUERBETAL 162

8.1. Allgemeines 162

8.2. Die Schottervorkommen entlang der Kander 163

8.3. Die grundwasserführenden Bergsturz- und Bachschuttmassen sowie Rückzugsschotter im Raume Reutigen - Niederstocken 163

8.4. Die Gürbeschotter zwischen Wattenwil und Mühlethurnen 169

8.5. Die grundwassererfüllten Schotterrinnen des nördl. Gürbetales 170

VERZEICHNIS DER FIGUREN

		Seite
1.1.	Geographische Uebersicht	11
2.1.	Geologisch-tektonische Uebersichtskarte	15
2.2.	Schematisches Sammelprofil durch die Festgesteinsabfolge des Aare- und Gürbetales zwischen Thunersee und Bern	17
2.3.	Trogformen	21
2.4.	Dreidimensionales, schematisches Sammelprofil durch die Quartärablagerungen des Aaretals zwischen Thunersee und Bern	27
2.5.	Geologisches Querprofil durch das Aaretal bei der Hunzigenbrücke	33
2.6.	Interpretierte Schichtabfolge entlang eines Längsprofils Selhofen - Uttigen und eines Querprofils Belp - Münsingen, schematisch	39
3.1.	Abflussregime der Aare und Gürbe	45
3.2.	Rotacheinfiltration bei Kiesen, Differenzmessungen des Abflusses mittels Tauchstab	47
4.1.	Grundwasserspiegel- und Abflussganglinien der Monatsmittel (März 1976 bis Dezember 1979)	51
4.2.	Infiltrations- und Staubereich der Aare und des Thunersees	55
4.3.	Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch den Anstieg der Aare infolge Schneeschmelze vom 9. - 24. Mai 1979 (Anstieg von 51,4 auf 284 m^3/s ohne grössere Niederschläge)	57
4.4.	Ganglinien der Aare, des Thunersee- und Grundwasserspiegels im Mai 1979, Beziehungen zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasserspiegelschwankungen von Thun bis Belp	59
4.5.	Ganglinien der Aare und Gürbe sowie des Grundwasserspiegels im Mai 1979, Beziehungen zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasserspiegelschwankungen im Gebiet von Belp	61
4.6.	Querprofile mit verschiedenen Wasserständen im Bereich der Giessen zwischen Belpmoos und Hunzigenbrücke	65
4.7.	Querprofil mit verschiedenen Wasserständen im Bereich der Giessen zwischen Hunzigen und Oberwichtrach	67
4.8.	Grossfärbversuch vom 19.5.1978: Konzentrationskurven, Durchgang der Farbwelle und Fliessgeschwindigkeiten	71
4.9.	Positiver Farbstoffnachweis im Grundwasser aus dem Grossfärbversuch vom 19.5.1978 und Anteil Aareinfiltrat aufgrund des Sauerstoffisotopen-Verhältnisses $^{16}O/^{18}O$	73
4.10.	Grossfärbversuch vom 19.5.1978: Konzentrationskurven in den Fassungen der WV Bern (Kiesen) sowie in den Fassungen der WV Muri (Wehrliau) und WV Köniz (Selhofen)	75

Seite

5.1. Pumpversuch im Versuchsbrunnen H der WV Bern in der Hunzigenau: Situation mit Querprofil, Bestimmung der hydraulischen Parameter des Grundwasserleiters 89

5.2. Temperaturganglinien 1979 ausgewählter Grundwassermessstellen (Thermolimnigraphen) und der Aare sowie Abflussganglinie der Aare 99

5.3. Chemismus der Aare und ihrer links- und rechtsseitigen Zuflüsse vom 28.9.1971 103

5.4. Variation des Nitratgehaltes (Monatsmittel 1975 - 79) in den Fassungen der WV Bern in Kiesen (Heberleitung) und der Aare in Beziehung zum Aareabfluss und den Niederschlägen 105

5.5. Variation des Nitratgehaltes in der Aare in Beziehung zum Abfluss (Monatsmittel 1975 - 79) 107

5.6. Chemismus ausgewählter Grundwasserfassungen links- und rechtsseitig der Aare (linke Kolonnen: März 1971, rechte Kolonnen: März/April 1978) 113

5.7. Approximative, mittlere Grundwasserabflussmengen durch den Hauptgrundwasserleiter links- und rechtsseitig der Aare (schematisch) 117

5.8. Beispiele zur Entnahme grösserer Grundwassermengen in Aarenähe. Isohypsen abgesenkter Grundwasserspiegel bei relativem Niederwasserstand 121

5.9. Veränderung der Temperatur und der Gesamthärte (GH) im Grundwasser bei Inbetriebnahme einer aarenahen Fassung. Beispiel: Pumpversuch im Versuchsbrunnen S 2 Wehrliau (WV Muri) 125

6.1. Bohrprofil des Versuchsbrunnens, VB, bei der Hunzigenbrücke 135

6.2. Schematisches hydrologisches Querprofil im Bereich des Versuchsbrunnens, VB, bei der Hunzigenbrücke (Pumpversuch 25.6. - 28.6.1979) 139

6.3. Ganglinien des Tiefengrundwasser- und Aarespiegels (BP 2: 607/193.26) März - Oktober 1978 141

6.4. Pumpversuch im Versuchsbrunnen, VB, Hunzigenau vom 25.6. - 28.6.1979: Situation, Fördermenge und Grundwasserspiegel-Ganglinien 143

6.5. Flowmeter-Log im Filterbereich der Spülbohrung BP 4 (607/193.29) 145

7.1. Die Grundwasservorkommen im Gürbe - und Stockental sowie in den Randgebieten 151

7.2. Grundwasserisohypsen in den Uttigenschottern bei In- und Exfiltrationsverhältnissen 155

7.3. Schematisches geologisches Längsprofil durch die Grundwasserleiter im Rotachedelta und im Bümberg 159

Seite

8.1. Generelles geologisches Längsprofil durch das Gürbedelta zwischen Wattenwil und Toffen 165

8.2. Uebersicht über ausgewählte chemische Parameter der Grundwässer im Gürbe- und Stockental 167

VERZEICHNIS DER TABELLEN

3.1. Jährliche Niederschläge in mm 42

3.2. Monatliche Niederschläge in mm der MZA Station Thun 42

3.3. Abfluss-Messstationen 43

3.4. Monatliche und jährliche Oberflächenabflüsse 44

4.1. Fortpflanzung hydraulischer Druckwellen im Grundwasser, die durch Niveauschwankungen der Aare verursacht werden 53

4.2. ^{18}O-Resultate der Grundwasserproben 80

5.1. Kennwerte ausgewählter Dauerpumpversuche im Hauptgrundwasserleiter des Aaretals 88

5.2. Permanentes Grundwasser-Messstellennetz des Kantons Bern, WEA (Stand Jan. 1980) mit registrierten Grundwasserspiegelständen für die Periode 1976 - 79 95

5.3. Verschmutzungsindikatoren in Oberflächengewässern (Analysen des kantonalen Gewässerschutzlabors vom 8./9. Sept. 1971) 109

5.4. Analysenresultate von ausgewählten Grundwasserfassungen im Aaretal der Probekampagne vom 13.3. - 4.4.1978 110

5.5. Konzessionierte Entnahmen im Hauptgrundwasserleiter des Aaretals 127/128

6.1. Technische Angaben zu den Sondierbohrungen, die das Tiefengrundwasser in der Aaretalebene erreichten, Stand Dezember 1981 132

6.2. Hydraulische Kennwerte zu den Sondierbohrungen, die das Tiefengrundwasser in der Aaretalebene erreichten, Stand Dezember 1981 134

6.3. Temperaturmessungen in den Tiefbohrungen 138

6.4. Tritium- und ^{18}O-Anteil im Tiefengrundwasser 147

6.5. Chemische Analysen von Tiefengrundwasser 148

7.1. Kennwerte von Pumpversuchen in randlichen Grundwasserleitern 154

8.1. Kennwerte von Pumpversuchen im Gürbe - und Stockental 164

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Seite

1. Grundkarte 1 : 25'000 Blatt Nord und Süd
2. Geologische Profile 1 : 25'000 / 1 : 2'500 10 fach überhöht
   Blatt Nord und Süd
3. Isohypsen des Grundwasser-Spiegels, Mittelstand
   Isohypsen des Grundwasser-Stauers
   1 : 25'000 Blatt Nord und Süd
4. Hydrochemie 6 Teilkarten 1 : 100'000

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR 171

LISTE DER GEBRAEUCHLICHSTEN ABKUERZUNGEN 172

HYDROGEOLOGIE AARETAL, ZWISCHEN THUN UND BERN

EINLEITUNG (Dr. R.A. Gees)

Aufgabe und Zielsetzung

Im Kanton Bern besitzt der Staat das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer. Er ist von Gesetzes wegen verpflichtet, das Wasser mengen- und gütemässig zu schützen und eine zweckmässige Bewirtschaftung zu ermöglichen.

Diese Aufgabe erfordert, besonders im Hinblick auf die Trinkwasserversorgung, eine genaue Kenntnis der Grundwasservorkommen.

Obwohl etwa die Hälfte der Gemeinden des Aare- und Gürbetals ihr Trinkwasser aus meist gemeindeeigenen Quellen bezieht, wird weitaus der grösste Teil der Bevölkerung, d.h. die einwohnerreichen Gemeinden, vorwiegend mit Grundwasser versorgt. Zudem wird die Wasserversorgung zahlreicher, ausserhalb des Aaretals liegender Gemeinden der Region Bern durch Aaretalgrundwasser sichergestellt. In Zukunft dürfte die Bedeutung dieses Grundwasservorkommens für die Trinkwasserversorgungen noch zunehmen, da eine verstärkte Nutzung von Quellwasser im Gegensatz zum Grundwasser kaum mehr möglich ist.

Als Grundlage für die Gewässerschutzaufgaben müssen die Grundwasservorkommen, samt ihren natürlichen Deck- und Schutzschichten, lagemässig erfasst und die Wasserqualität bekannt sein. Eine optimale Nutzung des Grundwassers für Trinkwasserversorgungszwecke einerseits sowie als Brauchwasser und Wärmelieferant anderseits setzt vor allem die Kenntnis der geometrischen und hydraulischen Eigenschaften der Grundwasserleiter, der Lage des Grundwasserspiegels, des Grundwasser-Abflussverhaltens, der Erneuerung des Grundwassers und der Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser voraus.

Im vorliegenden Bericht werden namentlich die zur Erfüllung der erwähnten gesetzlichen Aufgaben notwendigen Grundlagen für den Hauptgrundwasserleiter im Aaretal vermittelt. Für die übrigen, teils tiefer liegenden, teils peripheren Grundwasservorkommen genügen die hier vorliegenden Angaben, um auch diese soweit als nötig zu schützen und um gezielte Untersuchungen zur Erarbeitung bestmöglicher Bewirtschaftungskonzepte anzusetzen.

Kredite und Untersuchungsphasen

Nach Abschluss verschiedener Studien wurde 1969 das Untersuchungsprogramm "Beschaffung von Unterlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung im Aaretal zwischen Thun und Bern in den Jahren 1968 - 1973" aufgestellt.

Im Jahre 1969 bewilligte der Grosse Rat den dazu notwendigen Kredit von Fr. 1'288'000. Im Frühjahr 1973 zeigte es sich, dass die Untersuchungen nicht im vorgesehenen Zeit- und Kreditrahmen abgeschlossen und mit den im Programm vor-

gesehenen Untersuchungen nicht alle benötigten Resultate erarbeitet werden konnten. In der Folge wurden die Arbeiten eingestellt und die noch verbleibenden Kredite zur Abklärung der damals vordringlich erscheinenden Frage nach der Existenz tiefliegender Grundwasserleiter eingesetzt. Dazu wurden mehrere Tiefbohrungen ausgeführt.

Im März 1976 wurde ein neues Untersuchungsprogramm für die Etappen IIa (Aaretal) und II b (Gürbetal) aufgestellt und die sistierten Arbeiten teilweise wieder aufgenommen. Die dort vorgesehenen Untersuchungen ermöglichten, die notwendigen Kenntnisse über den Hauptgrundwasserleiter zu erarbeiten und die vorhandenen Resultate der Tiefbohrungen, soweit als möglich, in Bezug auf tiefere Grundwasservorkommen auszuwerten. Den entsprechenden Kredit von Fr. 1'605'626.-- sprach der Grosse Rat am 5.5.1976. Dem Parlament sowie der Direktion für Verkehr, Energie und Wasserwirtschaft (Direktoren: Herren Regierungsräte H. HUBER und H. SOMMER) sei für ihr Verständnis und ihre Unterstützung dieser wichtigen, äusserst komplexen Untersuchungen bestens gedankt.

Die Eidgenossenschaft hat die Kosten von praktisch allen Untersuchungen, mit Ausnahme der Tiefbohrungen, mit 35 % subventioniert. Den Herren Direktoren F. BALDINGER und Dr. R. PEDROLI vom Bundesamt für Umweltschutz sowie ihren Mitarbeitern gebührt für ihre Mithilfe besten Dank.

Bearbeiter

Die Arbeiten standen unter der Leitung des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes, WEA (Oberingenieur: R. MERKI). Das ursprüngliche Programm wurde von Dr. R. V. BLAU, Kreisgeologe Mittelland, ausgearbeitet und bis 1972 geleitet. Mit den Untersuchungen für die erste Etappe bis 1973 wurde das Büro COLOMBI, SCHMUTZ, DORTHE AG betraut. Im Herbst 1972 übernahm Dr. R.A. GEES, Kreisgeologe Oberland, die Untersuchungsleitung. Die Durchführung der Tiefbohrungen 1974/75 lag ganz in seinen Händen.

Das Programm für die zweite Etappe stellte das WEA in Zusammenarbeit mit dem Geologiebüro Dres P. KELLERHALS und B. TROEHLER auf, welches mit dem Vertrag vom 25.8.76 auch mit der Ausführung der Untersuchungen - unter der Leitung von Dr. GEES - betraut wurde. Nach dem Tod von Dr. B. TROEHLER wurde die Arbeit durch das Büro Dres P. KELLERHALS und CH. HAEFELI fortgesetzt und abgeschlossen. In der ersten Untersuchungsetappe arbeitete - besonders für die hydrologischen Belange - das Geographische Institut der Universität Bern, unter der Leitung von Prof. F. GYGAX, mit. In der zweiten Untersuchungsetappe waren die folgenden Mitarbeiter der verantwortlichen Geologen wesentlich an den Untersuchungen beteiligt: Die Geologen Dr. A. ISLER, Dr. U. GRUNER, Dr. J. WANNER, dipl. geol. J.P. GISIGER sowie Frau V. MESSERLI, Frl. S. HEUBERGER, Frl. P. KUEFFER und die Herren D. BACCALA, R. HORISBERGER, A. KUNZER, H. ROTHEN.

Ein Teil der hydrometrischen Messstationen wurde direkt vom WEA (dipl. Ing. M. RIHA) betreut.

Die chemischen und bakteriologischen Analysen besorgte das Kantonale Laboratorium.

Für geophysikalische Untersuchungen, Bohr- und Rammarbeiten und Pumpversuche wurden mehrere spezialisierte Unternehmungen beigezogen.

Unterlagen

Der nun vorliegende Bericht stellt eine Zusammenfassung aller Untersuchungsresultate dar; diese einzeln zu veröffentlichen, würde den üblichen Rahmen eines Schlussberichtes sprengen.

Die folgenden Zwischen- und Teilberichte enthalten Detailresultate:

Untersuchungsetappe I:

- Entwurf von Isohypsenkarten auf Blatt Worb und Münsingen (1971)
- Zwischenbericht Januar 1972

Untersuchungsetappe II:

- Bericht über die Grundwasserprospektion in den Aareauen 1977
- Geophysik Stocken- und oberes Gürbetal 1977
- Hydrogeologie Aaretal II, Zwischenbericht 1978
- Tätigkeitsbericht 1979
- Handbuch Aaretal (1983)

Alle im Untersuchungsgebiet bisher durchgeführten Sondierungen, geologischen und geotechnischen Gutachten, hydrometrischen Messungen etc. wurden gesammelt und nach der Auswertung für die vorliegende Studie in die Registration und die Grundlagenkarte verarbeitet und bei der geologischen Dokumentation des WEA abgelegt.

Das Sammeln einer derart grossen Anzahl geologischer Dokumente von Einzel- und Regionaluntersuchungen, wie sie im Aaretal besteht, ist nur möglich dank dem weitgehenden Entgegenkommen und der Mitarbeit zahlreicher Privatpersonen, Baubehörden, Ingenieurbüros und Bohrfirmen. Allen denen, welche in uneigennütziger Art Informationen und geologische Dokumente zur Verfügung stellten, sei ganz herzlich gedankt. Ihre namentliche Auflistung ist der grossen Zahl wegen leider nicht möglich.

Mit Ausnahme eines kleinen Teils der geologischen Dokumentation, die durch Eigentümer - oder Inhaberrechte für die öffentliche Einsichtnahme gesperrt sind, können sämtliche hier erwähnten Unterlagen beim WEA eingesehen werden. Auf einige besonders wichtige Titel wird im Text speziell hingewiesen.

1. GEOGRAPHISCHE UEBERSICHT

Das Untersuchungsgebiet Aaretal erstreckt sich von Bern bis Thun, d.h. vom Areal des Marzilibades im Norden bis ans Thunerseeufer und den Kanderlauf im Süden (Fig. 1.1).

Es umfasst die Ebenen des

- Aaretales
- Gürbetales
- Stockentales
- Limpachtales
- Glütschbachtales

mit ihren gleichnamigen Fluss- und Bachläufen.

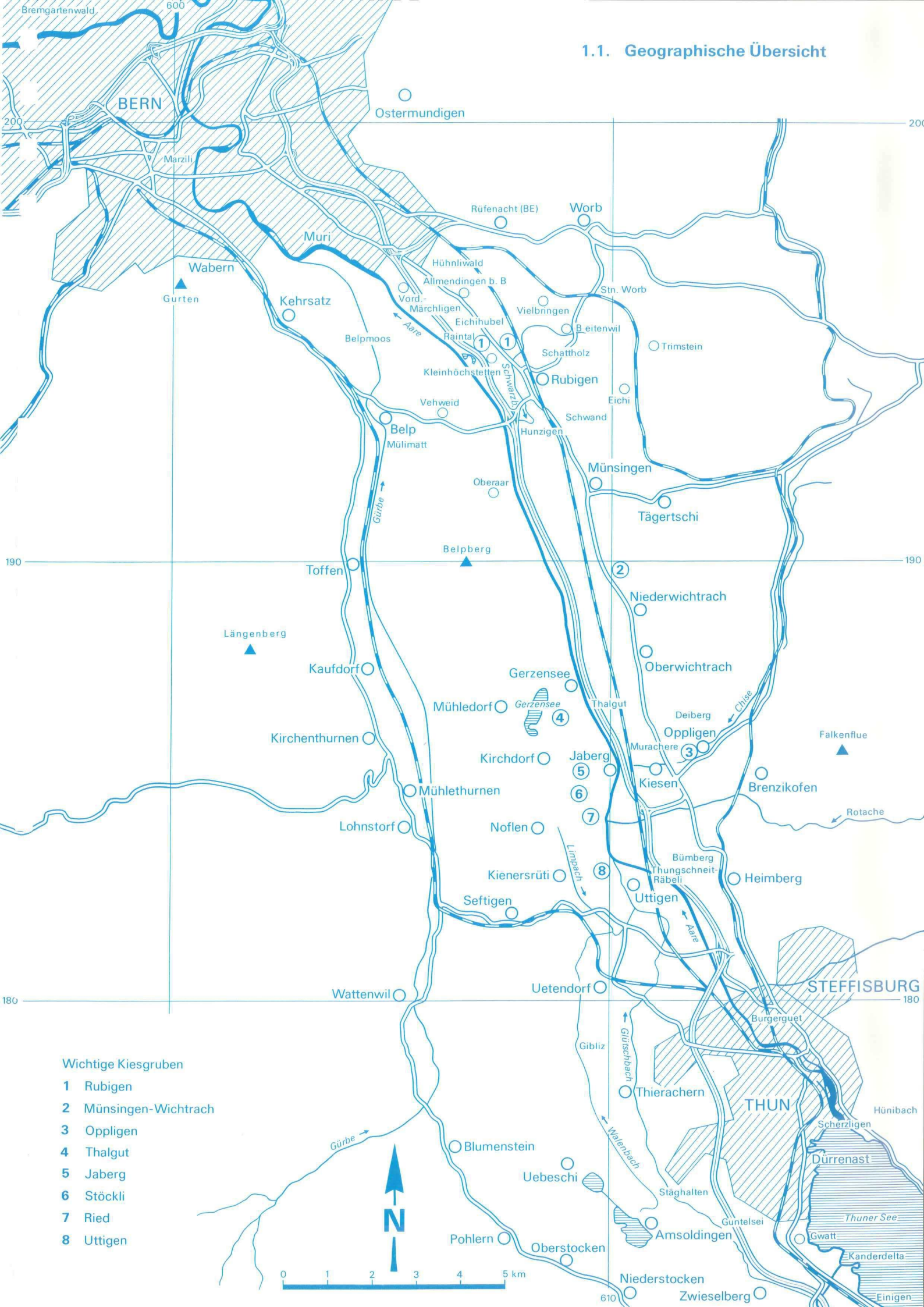
Im Westen folgt die Gebietsgrenze mehr oder weniger dem Hangfuss des Gürbe- und Stockentales. Im Osten dagegen verläuft sie entlang der Linie Dählhölzli - Muri - Rüfenacht - Beitenwil - Tägertschi - Brenzikofen - Steffisburg, umfasst also auch noch einen Teil des ans Aaretal anschliessenden Hügelgebietes. Der zwischen Aaretal und Gürbe- resp. Stockental verlaufende Höhenrükken (Belpberg, Plateau von Amsoldingen) wurde, soweit nötig, ebenfalls in die Untersuchungen mit einbezogen. Die von den beiliegenden geologisch-hydrologischen Karten abgedeckte Fläche beträgt rund 155 km^2, das effektiv zu berücksichtigende hydrologische Einzugsgebiet ab Kandermündung über 400 km^2.

Die Talsohle des Aaretales steigt von 503 m.ü.M. (Marzili) auf 560 m ü.M. (Thun); diejenige des Gürbe- und Stockentales von 521 m.ü.M. (Belp) auf 593 m.ü.M. (Wattenwil) resp. 697 m.ü.M. (Pohlern), um dann im Bereich der Kander wieder auf rund 620 m.ü.M. abzusinken. Der Belpberg erreicht eine Höhe von 892 m ü.M.; die nicht mehr zum Untersuchungs-, jedoch zum unmittelbaren Einzugsgebiet gehörenden Hügelzüge weisen folgende Koten auf: der Längenberg 1056 (Bütschelegg), der Gurten 858 und die Falkenfluh 1078.

Politisch umfasst das Gebiet nachstehende Gemeinden (ganz oder teilweise):

a) Amt Bern mit den Gemeinden
- Bern
- Köniz
- Muri

b) Amt Seftigen mit den Gemeinden
- Belpberg
- Burgistein
- Gelterfingen
- Gerzensee
- Gurzelen
- Jaberg
- Kaufdorf
- Kehrsatz
- Kienersrüti
- Kirchdorf
- Kirchenthurnen
- Lohnstorf
- Mühledorf
- Mühlethurnen
- Noflen
- Rümligen
- Seftigen
- Toffen
- Uttigen
- Wattenwil



Wichtige Kiesgruben

1 Rubigen
2 Münsingen-Wichtrach
3 Oppligen
4 Thalgut
5 Jaberg
6 Stöckli
7 Ried
8 Uttigen

c) Amt Konolfingen mit den Gemeinden

- Brenzikofen
- Häutlingen
- Herbligen
- Kiesen
- Münsingen
- Niederwichtrach
- Oberwichtrach
- Oppligen
- Rubigen
- Tägertschi
- Worb

d) Amt Thun mit den Gemeinden

- Amsoldingen
- Blumenstein
- Forst
- Heimberg
- Hilterfingen
- Höfen
- Längenbühl
- Pohlern
- Steffisburg
- Thierachern
- Thun
- Uebeschi
- Uetendorf
- Zwieselberg

e) Amt Niedersimmental mit den Gemeinden

- Niederstocken
- Oberstocken
- Reutigen
- Spiez

2. GEOLOGISCHE SITUATION

2.1. Allgemeiner Ueberblick

Das sich zwischen der alpinen Stockhornkette und dem flachen Molasse-Plateau bei Bern ausdehnende Untersuchungsgebiet umfasst vor allem den durch die verschiedenen eiszeitlichen Vorstösse des Aaregletschers, samt seinen Nebengletschern, in den Felsuntergrund eingetieften Glazialtrog zwischen dem Thunersee und Bern sowie den durch Lokalgletscher und Seitenarme des Aaregletschers ausgehobelten Gürbetrog (Fig. 2.1).

Im einzelnen können von Süden nach Norden die folgenden Teilbereiche abgegrenzt werden:

- Stockental (Gebiet südlich der Linie Blumenstein - Einigen)

  Der Felsuntergrund wird von verschiedenen zu den Berner Alpen gehörenden, hier ungefähr West-Ost streichenden Einheiten (vorwiegend Klippendecke und Ultrahelvetikum) gebildet. Neben dem Stockental liegt in diesem Abschnitt der oberste Teil des glazial ausgehobelten Gürbetroges sowie der Südwestrand des Aaretroges im Glütschbachtal.

- Abschnitt Amsoldingen - Thun

  Im Norden grenzt an das eigentliche Alpengebiet die aufgeschobene Molasse, welche bis zur von Seftigen Richtung Steffisburg ziehenden Zulg-Störung (Fig. 2.1) den Felsuntergrund bildet. In diesem Bereich weist der Aaretrog seine grösste Breite auf; er ist im Plateau von Amsoldingen durch die meist von Moräne überdeckte Molasse vom Gürbetrog getrennt.

- Abschnitt Noflen - Heimberg

  Zwischen der aufgeschobenen Molasse und der von Noflen Richtung Herbligen ziehenden, steilstehenden Noflenstörung liegt stark verfaltete, mittelländische Molasse, in welche die beiden Glazialtröge des Aare- resp. Gürbetales eingeschnitten sind.

- Abschnitt Toffen - Münsingen

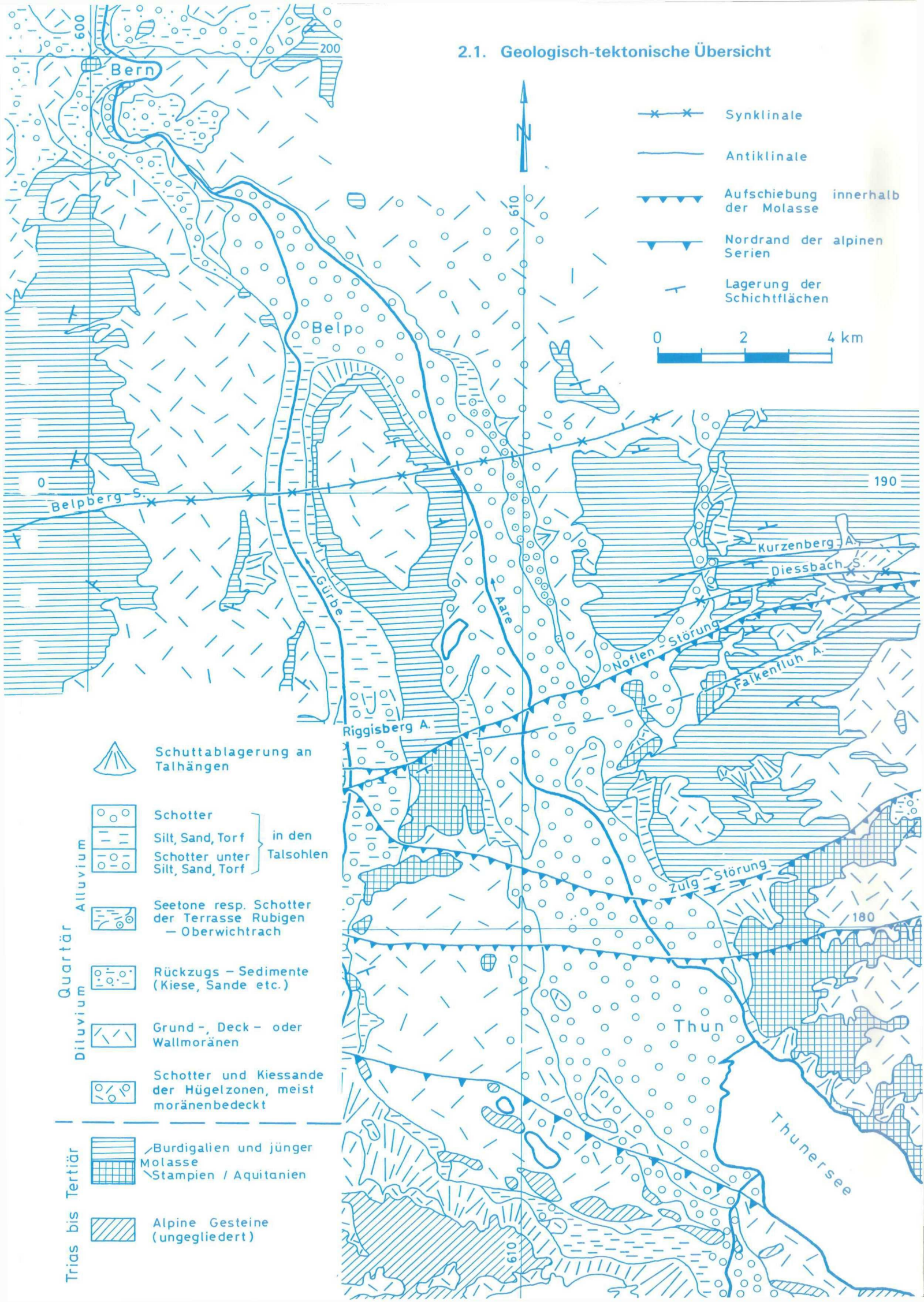
  Nördlich der Noflenstörung beginnt die annähernd horizontal liegende, nur zu ganz offenen Faltenformen gewölbte Molasse des Mittellandes. Bis zur Nordabdachung des Belpberges weist sowohl der Gürbe- als auch der Aaretrog beidseits eine klare Begrenzung auf.

- Abschnitt Belpmoos - Bern

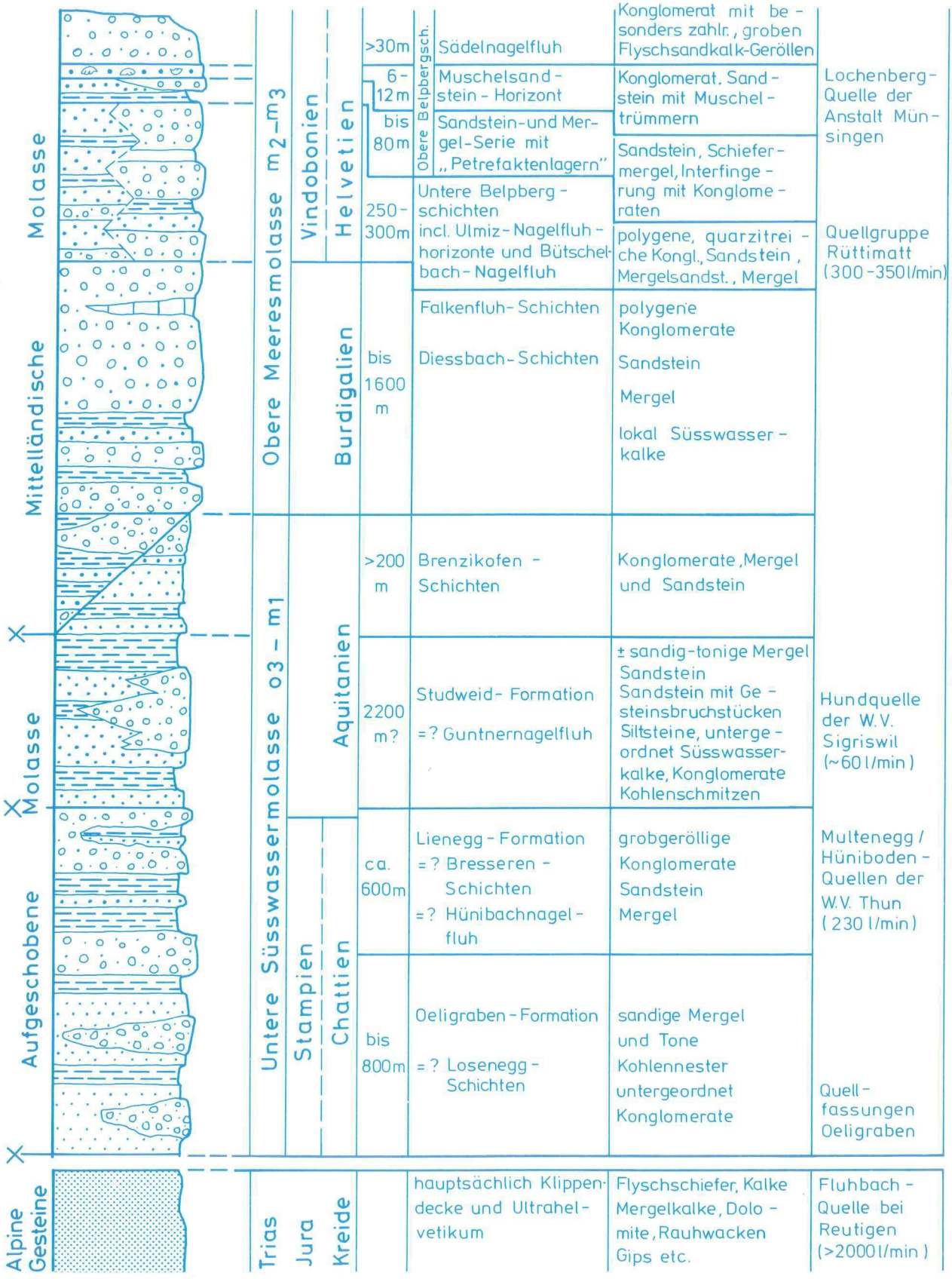
  Der Felsuntergrund ist gleich wie im südlich angrenzenden Abschnitt. Der sich östlich von Belp mit dem Gürbetrog vereinigende Aaretrog splittert sich auf seiner Ostseite in verschiedene Teiltröge auf, deren Grenzen im Detail noch nicht bekannt sind (vgl. Fig. 2.3). Einzig die Westseite des Haupttroges ist längs des Gurtens klar begrenzbar bis ins Gebiet von Wabern.

  Die Nordgrenze des Troges bei Bern ist nur lückenhaft bekannt; da sich hier der vom Aaregletscher ausgehobelte Trog mit durch den eiszeitlichen Rhone-

2.1. Geologisch-tektonische Übersicht



2.2. Schematisches Sammelprofil durch die Festgesteinsabfolge des Aare- und Gürbetals zwischen Thunersee und Bern



gletscher verursachten Trogformen vereinigt, wird die Topographie der Felsoberfläche sehr komplex.

2.2. Die Felsunterlage und ihre Quellwasserführung

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich, wie erwähnt, über die Nahtstelle zwischen Alpen und Molassevorland. Im alpinen Bereich (Stockental, Gurnigelgebiet) dominieren mesozoische Kalke, Mergelkalke, Mergel, Flyschschiefer sowie Rauhwacken und Gipse, die der Klippendecke und dem Ultrahelvetikum angehören (Fig. 2.2). Die unterirdische Wasserzirkulation spielt sich hier hauptsächlich längs Klüften und Karsthohlräumen der Karbonatgesteine ab.

Das Molassevorland wird von Unterer Süsswassermolasse (Chattien/Aquitanien) sowie Oberer Meeresmolasse (Burdigalien/Helvetien) aufgebaut. Wenig östlich des Untersuchungsgebietes, z.B. am Hürnberg bei Konolfingen, findet sich noch Obere Süsswassermolasse (Tortonien, ev. limnisches Helvetien) aufgeschlossen.

Die Untere Süsswassermolasse wird hauptsächlich aus Sandsteinen, sandig-tonigen Mergeln und Nagelfluh aufgebaut (Fig. 2.2). Stark untergeordnet treten auch Kohleschmitzen und Süsswasserkalke auf. Die Abfolge ist durch rasche horizontale und vertikale Fazieswechsel gekennzeichnet, d.h. die einzelnen Schichtglieder lassen sich nirgends über grosse Strecken hinweg verfolgen.

Das der Oberen Meeresmolasse zugehörige Burdigalien steht hauptsächlich im Raume Falkenfluh - Diessbach sowie zwischen Kirchdorf und Noflen an. Die Serie wird durch polygene, quarzitreiche Konglomerate mit untergeordneten Mergel- und Sandsteineinschaltungen dominiert.

Der obere Teil der Oberen Meeresmolasse gehört dem Helvetien an und bildet die sog. Belpbergschichten. Diese sind in ihrem unteren Teil im Osten des Gebietes hauptsächlich aus Konglomeraten, im Westen dagegen mehrheitlich aus Sandsteinen und Mergeln aufgebaut und zeigen häufig laterale Wechsel.

In den oberen Belpbergschichten liegen Sandstein- und Mergelserien (inkl. Muschelsandstein) vor, die von der Kalkgerölle führenden Sädelnagelfluh, als höchste Einheit, überlagert werden.

Die tektonischen Verhältnisse, d.h. die Abgrenzung der einzelnen Schuppen der aufgeschobenen Molasse, sind aus Fig. 2.1 ersichtlich.

Während unverwitterte Nagelfluh praktisch nur an Klüften Wasser führt, weisen viele Sandsteine eine Porosität auf, die zur häufigen Bildung von kleinen Schichtquellen im Hangenden von Mergellagen führt. Infolge der lateralen Fazieswechsel fehlen im vorliegenden Gebiet jedoch eigentliche weit durchziehende Quellhorizonte. Der Felsuntergrund stellt dennoch einen sehr wesentlichen Faktor im wasserwirtschaftlichen Gesamtrahmen des Aare- und Gürbetales dar, da

- die Molasse- und Flyschgesteine neben den sog. "Seetonen" den bedeutendsten Grundwasserstauer der Region darstellen;

- die Gipse und Rauhwacken der Klippendecke zu lokal ausserordentlich hohen Sulfatgehalten im Grundwasser des Stocken- und Gürbetales führen, was zur Folge hat, dass es sich nur bedingt für Trink- und Industriewasserentnahmen eignet;
- zahlreiche regionale Wasserversorgungen aus lage- resp. drucktechnischen Gründen ganz oder teilweise auf Quellwasser abstellen (Blattenheidverband, Wasserversorgungen Thun, Steffisburg, Oberwichtrach u.a.);
- die Felsquellen in der Regel ausserhalb der dicht besiedelten und intensiv bewirtschafteten Talebenen liegen und daher weniger gefährdet sind.

Das Festgesteins-Grundwasser tritt in Form von Karstquellen (z.B. Fluhbachquelle bei Reutigen mit > 2'000 l/min.), Schichtquellen, Kluftquellen oder der Kombination dieser Quellen-Typen zutage. Neben vereinzelten, in den Felsuntergrund abgeteuften Sodbrunnen (z.B. Schlossbrunnen Thun) sind aus der Molasse zahlreiche, z.T. recht ausgedehnte Fassungsstollen bekannt (z.B. Rüttimatt am Belpberg, Stollen Bigler am Eichlihubel bei Allmendingen), die in der Regel im Hangenden lokaler Mergellagen erstellt wurden und ihr Wasser aus den Klüften der darüber liegenden Sandsteine/Nagelfluh beziehen.

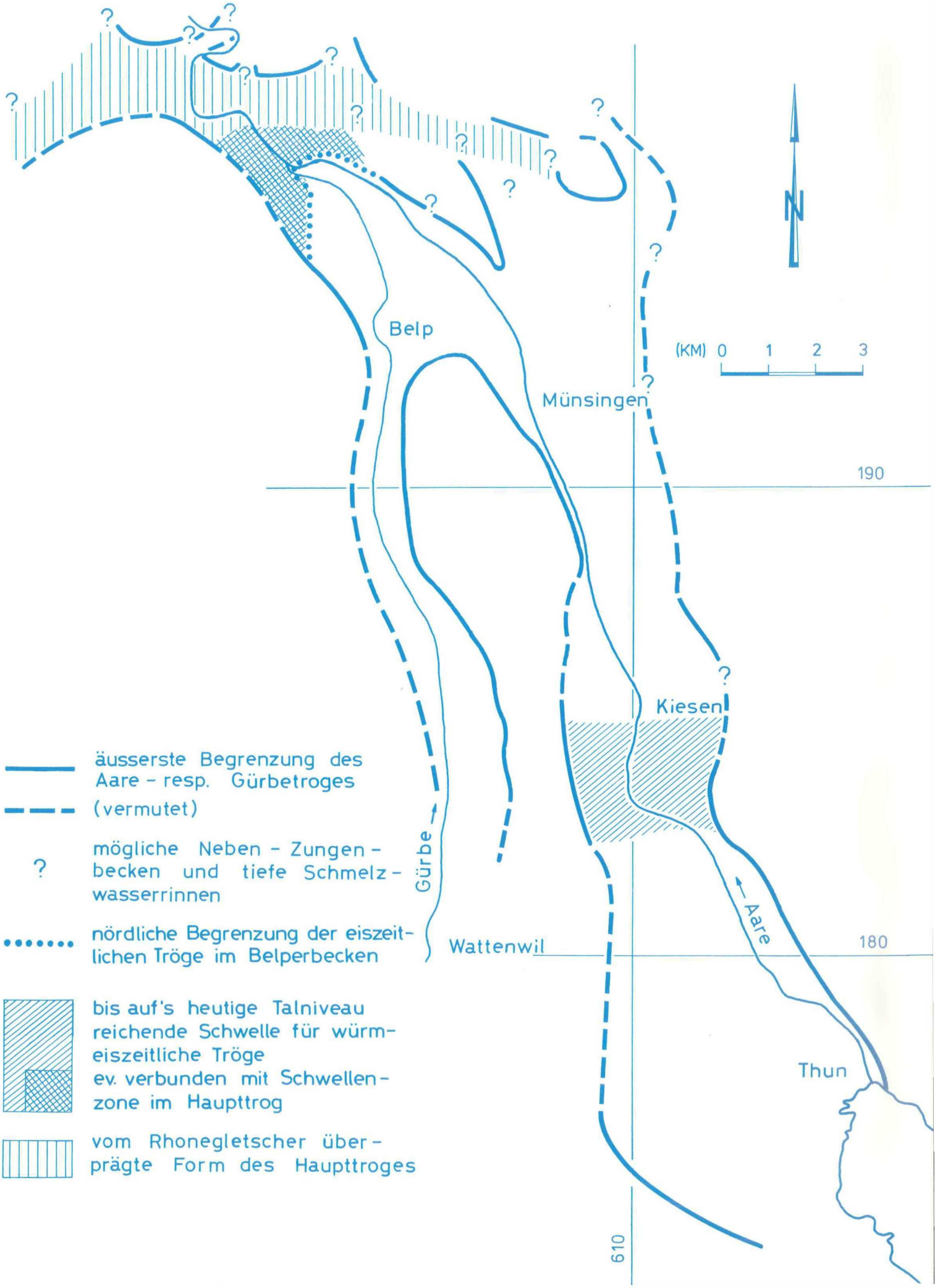
Andere Fassungen dagegen fangen lediglich das an der Oberfläche oder in der Verwitterungszone der Molasse fliessende Wasser ab. Diese Fassungen weisen oft grosse Schüttungs- und Qualitätsschwankungen auf.

2.3. Alter, Lage und Form des glazialen Aaretroges

Das genaue Alter des glazialen Aaretroges zwischen Thunersee und Bern ist zur Zeit noch umstritten; mit Bestimmtheit wurde der Glazialtrog in seinen hauptsächlichen Formen jedoch schon vor dem risseiszeitlichen Gletschervorstoss angelegt. Dies wird belegt durch das sicher vor-risseiszeitliche, aber z.Z. nicht näher bestimmbare Alter der tiefsten an der Füllung des Troges beteiligten Sedimente. Für einzelne Nebentröge nördlich Münsingen könnte jedoch auch ein jüngeres Alter postuliert werden.

Die äusserste Begrenzung des Aare- bezw. Gürbetroges ist nur dort genau bekannt, wo eine Kontrolle mittels über oder auf dem heutigen Talniveau liegender natürlicher oder künstlicher Felsaufschlüsse möglich ist. Wie Fig. 2.3 zeigt, ist dies auf der Ostseite südlich des Kiesentales, zwischen dem Aare- und Gürbetrog längs des Belpberges, auf der Westseite nördlich Belp längs des Längenberges und Gurtens und auf der Nordseite nur sporadisch bei Allmendingen, am Ostermundigen- und Dentenberg und an einzelnen Stellen bei Bern der Fall. An den übrigen Stellen ist die randliche Begrenzung der Tröge nur annähernd bestimmbar, oder z.T. noch weitgehend unbekannt.

Detaillierte Kartierungsarbeiten sowie geoelektrische und seismische Untersuchungen zeigen jedoch, dass eine ursprünglich vermutete Verbindung des Aare- und Gürbetroges südlich des Belpberges (Plateau von Amsoldingen oder Stockental) nicht vorhanden ist oder jedenfalls nicht bis auf das heutige Niveau des Aare- resp. Gürbetales hinabreicht (vgl. Zwischenbericht 1977).


Belp
Münsingen
Kiesen
Wattenwil
Thun
Gürbe
Aare
(KM) 0 1 2 3
N
190
180
610
äusserste Begrenzung des Aare - resp. Gürbetroges
(vermutet)
mögliche Neben - Zungen - becken und tiefe Schmelz - wasserrinnen
nördliche Begrenzung der eiszeitlichen Tröge im Belperbecken
bis auf's heutige Talniveau reichende Schwelle für würmeiszeitliche Tröge ev. verbunden mit Schwellenzone im Haupttrog
vom Rhonegletscher überprägte Form des Haupttroges

Ueber die Trogtiefen liegen nur vereinzelte Angaben vor:

Gemäss MATTER et al. (1971) liegt die Felsoberfläche im Thunerseebecken (für welches die Autoren vorwiegend eine glaziale Entstehung postulieren) laut seismischen Untersuchungen im Profil Spiez - Ralligen auf Kote ca. 160. Sie steigt gegen NW hin sanft an und erreicht im Profil Kandermündung - Hünibach ca. Kote 300.

Zwischen Thunersee und Hunzigen fehlen im Bereich des heutigen Tallaufes genaue Hinweise auf die Höhenlage der die Trogsohle bildenden Felsoberfläche; aus negativen Bohrbefunden, d.h. Bohrungen, welche die Felsoberfläche nicht erreichten sowie aus in einer Bohrung durchgeführten seismischen Messungen kann jedoch mit grosser Sicherheit geschlossen werden, dass sie durchwegs wesentlich tiefer als 100 m, gemäss der Bohrlochseismik sogar mehr als 200 m, unter der heutigen Talsohle liegt (z.B. bei Münsingen).

Bei Hunzigen wurde mittels Seismik in der 264 m tiefen, die Felsoberfläche nicht erreichenden Bohrung H 1a (607/193.30) der Fels in ca. 280 m Tiefe, d.h. auf Kote ca. 240 bestimmt.

Im Marzili bei Bern wurde in der 319 m tiefen Bohrung B1 (600/198.84) die Felsoberfläche bei Bohrmeter 266 erreicht, d.h. auf Kote 236.

Knapp 1 km nordwestlich dieser Bohrung liegt der heutige Aarelauf sicher schon ausserhalb des eigentlichen Troges, da in der Wasserwerksgasse (Matte, Bern) die Felsoberfläche gemäss mehreren Bohrungen in einer Tiefe von nur 6 m festgestellt wurde.

Im Gürbetal wurde die Trogsohle nirgends erbohrt; aufgrund der durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen kann sie bei Noflen (beidseits der Noflenstörung) in einer Tiefe von ca. 150 m erwartet werden. Es liegen keinerlei Hinweise vor, dass sie zwischen Noflen und dem Belpmoos nicht durchwegs in grosser Tiefe liegen würde. Die tiefste Bohrung (80 m; 606/183.7) erreichte die Trogsohle nicht.

Anhand dieser Feststellungen kann die Form des Aare- und Gürbetroges wie folgt umschrieben werden:

Thunersee-Bümberg: Die Ostgrenze verläuft ungefähr entlang des heutigen Talrandes, die Westgrenze liegt im Hügelgebiet und zieht von Zwieselberg über Uebeschi, Limpachtal, Kirchdorf bis nördlich Thalgut. Die Trogbreite beträgt bei Einigen ca. 3 km, bei Thun ca. 5,5 km und bei Heimberg ca. 2,7 km.

Bümberg-Münsingen: Die Ostgrenze liegt von Wichtrach an östlich des heutigen Talrandes, die Westgrenze folgt annähernd der Talflanke. Die Breite beträgt 2,3 - 3 km, die Tiefe bei Münsingen vermutlich über 200 m.

Gürbetrog südlich Belp: Die Troggrenze entspricht auf der Ostseite ungefähr der heutigen Talform, auf der Westseite reicht sie nur lokal wenig über die Talsohle hinaus. Die Trogbreite variiert etwa zwischen 1 - 2 km, die Tiefe beträgt über 150 m.

Münsingen-Kehrsatz: Längs der Nordabdachung des Belpberges vereinigt sich der Aare- mit dem Gürbetrog. Ob im Bereich des Belpmooses zwischen den beiden Trögen noch eine Felsschwelle existiert - welche aber mit Sicherheit nicht bis zu den alluvialen Sedimenten hinaufreicht - oder ob die Felsoberfläche durchwegs in einer Tiefe von über 200 m liegt, ist ungewiss.

Im Bereich des Hüenliwaldes und Eichlihubels trennt eine bis über Kote 600 reichende Felsschwelle den Aaretrog in das ca. 2,3 - 3 km breite Belpmoosbecken und ein ca. 2 km breites Becken bei Vielbringen. Die Tiefe des letzteren Beckens ist unbekannt, ebenfalls die genaue Lage seiner westlichen Trogbegrenzung. Eine Fortsetzung des Aaretroges in das Worblental kann aufgrund der heutigen Kenntnis noch nicht ausgeschlossen werden, da im Gebiet Beitenwil - Worb-Station Felsaufschlüsse, welche eine Beckengrenze fixieren würden, fehlen.

Kehrsatz-Bern: Im Marzili liegt die Felsoberfläche auf einer ähnlichen Kote wie bei Hunzigen (ca. 240); die Lage der Trogsohle zwischen diesen beiden Lokalitäten ist jedoch nicht bekannt.

Vom Marzili steigt die Felsoberfläche in nördlicher Richtung bis zu den Aufschlüssen im Dalmazi mit ca. 40 % an. Ein derartig steiles Auftauchen der Felsoberfläche ist am talseitigen Ende eines Zungenbeckens durchaus denkbar. Andererseits ist zu beachten, dass die Bohrung B 1 im Marzili ungefähr in der Achse eines E-W streichenden, vom Rhonegletscher überprägten und mitgestalteten Troges liegt (vgl. Fig. 2.3). Bezogen auf diesen letzteren Trog läge der steile Anstieg der Felsoberfläche nicht am Trogende sondern am seitlichen Trograng, wo steile Begrenzungen üblich sind.

Da zwischen der Gürbemündung und dem Marzili Bohrungen, welche bis weit unter das heutige Aareniveau reichen, fehlen, kann nicht entschieden werden, ob der Aaretrog vom Marzilibecken durch eine Schwelle getrennt ist.

Die westliche Begrenzung des Aaretroges ist längs des Gurtens klar belegt, weiter nördlich ist sie weitgehend unbekannt, da hier die ursprünglich durch den Aaregletscher geformte Morphologie der Felsoberfläche durch den später, während der gleichen Eiszeit, bis in dieses Gebiet vorgestossenen Rhonegletschers überprägt wurde.

Auch im östlichen Trogteil (Gebiet Kirchenfeld - Schosshalde - Gümligen - Muri) ist die Trogform heute noch nicht definierbar. Zusammenhänge zwischen dem Aaretrog im Murifeld und dem Worblental könnten via Ostermundigen durchaus bestehen.

2.4. Die Trogfüllung

Im ganzen Aaretaltrog wurde nur in wenigen, recht zufällig verteilten Bohrungen die Stauerschicht des Hauptgrundwasserleiters durchbohrt; nur die Bohrung B 1 im Marzili hat, wie erwähnt, die Trogsohle erreicht. Zudem liegen von den in den tiefen Bohrungen erschlossenen Gesteinsabfolgen - z.T. bedingt durch

die Bohrmethode (Spülbohrungen) - nur rudimentäre stratigraphische oder sedimentpetrographische Untersuchungsresultate vor. Diese wenigen Resultate genügen vorläufig nicht, um durchwegs gesicherte Korrelationen zwischen der Füllung der tiefen Partien des Troges mit den durch neuere geologische Untersuchungen vor allem von P. BECK und R. RUTSCH (1958), F. DIEGEL (1975 und 1976) und C. SCHLUECHTER (1976 und 1978) recht gut bekannten, äusserst komplexen Verhältnissen an den Trogrändern zu erstellen.

Aus diesen Erläuterungen folgt, dass das nachfolgend beschriebene, schematische Sammelprofil den Charakter eines geologischen Modelles hat, welches mit den heute bestehenden natürlichen und künstlichen Aufschlüssen übereinstimmt, beim Vorliegen neuer Bohrresultate aber möglicherweise modifiziert werden muss.

2.4.1. Schematisches Sammelprofil

In Figur 2.4 wurde versucht, die geologische Modellvorstellung der Trogfüllung darzustellen. Dazu ist generell folgendes zu bemerken:

Die dargestellten Schichtabfolgen sind im allgemeinen anerkannt, hingegen sind, wie schon erwähnt, die Korrelationen zwischen den Talflanken und dem Beckeninnern z.T. noch offen; ebenfalls ist die stratigraphische Zuordnung nur für das Alluvium und die Würm II-Ablagerungen annähernd gesichert.

Die Datierung der älteren Quartärablagerungen wird aus folgenden Gründen erschwert:

- Die absoluten Altersbestimmungen an organischem Material (C^{14}) geben nur verlässliche Daten bis ca. 40'000 v. Chr., d.h. von den rezenten Ablagerungen bis zu den Sedimenten des jüngsten Interstadials.
- alle Profile im Aaretal weisen grosse, durch glaziale und fluviatile Erosion oder Verwitterung bedingte Schichtlücken auf.
- In verschiedenen Beckenteilen treten gleichzeitig Akkumulation (Materialablagerung) resp. Erosion (Materialabtrag) auf.
- Die Sedimentumlagerung in den Becken selbst ist bedeutend.
- Wegen den oft mehrere Temperaturzyklen umfassenden Erosionslücken und auch wegen den ausgeprägten Umlagerungen sind die Resultate der Pollenanalysen nur bedingt schlüssig.

In Berücksichtigung dieser Punkte wagen wir in unserm geologischen Modell nur eine stratigraphische Zuordnung für das Sedimentpaket über der als risseiszeitlich betrachteten Schlammoräne und lassen das ältere Diluvium vorläufig zeitlich ungegliedert.

In den Erläuterungen zum Sammelprofil ist die Lithologie und die hydrogeologische Funktion der einzelnen geologischen Einheiten grob charakterisiert.

Eine detaillierte geologische Beschreibung all dieser Einheiten unter Angabe der jeweiligen Aufschlussverhältnisse würde den Rahmen dieser hydrogeologischen Untersuchung, welche sich ohnehin vorwiegend auf das für die Nutzung bei weitem wichtigste, oberste Grundwasservorkommen in den alluvialen Aareschottern (js) konzentriert, sprengen.

Nur soweit es für die hydrogeologischen Zusammenhänge von Bedeutung ist, werden im folgenden Abschnitt die lokalen Befunde über die Trogfüllung von Süden nach Norden kurz beschrieben. Weitere Angaben zeigen auch die Beilagen 1 + 2.

2.4.2 Lokale Verhältnisse

Zum besseren Verständnis wird im folgenden Abschnitt jeweils hinter die Namen der lokalen Formationen in Klammern das Symbol der entsprechenden, in Figur 2.4 dargestellten Formation gesetzt.

Hügelzone zwischen Kanderdurchstich - Uebeschi - Thierachern - Kirchdorf und Thalgut

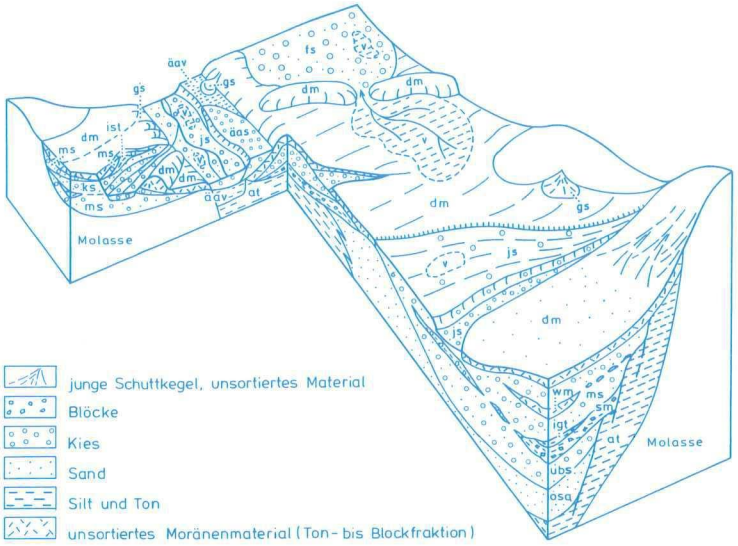
Aus den, ausser am Kanderdurchstich, im Glütschbachtal und in den zahlreichen grossen Kiesgruben eher schlechten Aufschlussverhältnissen ergibt sich die folgende Situation:

Unter der Deckmoräne (dm) folgt ein mächtiges, uneinheitliches und durch verschiedenaltrige Glieder aufgebautes Kies- und Sandpaket, welches in der Regel Seetone von voreemzeitlichem (Eem: Interglazial Riss/Würm) Alter (at), lokal (im Hahni) aber auch Moräne überlagert. Am Aufbau dieses Paketes sind von den Oppligensanden (osa) bis zu den Münsingenschottern (ms) alle Schotterserien beteiligt. Die dazwischen liegenden, gering durchlässigen Schichten (verschiedene Seetone, Molluskenlehme und Moräne) haben in diesem Gebiet nur noch lokal eine hydraulische Bedeutung als Stauerschichten für das Grundwasser, da sie schon primär nur in eng begrenzten Gebieten abgelagert wurden und andernorts höchstens in Form von Verwitterungshorizonten angedeutet sind.

Die alten Seetone (at) unter dem Kieskomplex tauchen gegen das Beckeninnere leicht ab. Dieses Einfallen ist - wie aus der Situation in den Kiesgruben bei Uttigen und Jaberg folgt - teilweise durch glaziale Entlastungs- und Stauchungserscheinungen (Brüche, Gleitungen) bedingt, teilweise auch auf Erosion zurückzuführen.

Ob diese Seetone direkt der Molasse auflagern, oder ob unter denselben nochmals durchlässigere Schichten erwartet werden können, ist unbekannt. Einzig die durch die KAGA Uttigen in Jaberg abgeteufte 120 m lange Bohrung SB 2 (609/185.22) reicht tief in den Seeton. Sie zeigt unter 19 m Kies 82 m steinfreie Seetone (at = toniger Silt mit Sand und z.T. reichlich organisches Material). Darunter folgen bis zur Endtiefe 19 m feinsandiger, z.T. kiesiger Silt mit einzelnen Kiessandlagen. Ob diese Einheit als feinkörnige Moräne, als Uebergangsschicht von Schotterablagerungen in feinkörnige Seesedimente oder als lokale Einlagerungen in die Seetone zu deuten ist, geht aus der Profilaufnahme der Spülbohrung nicht hervor.

2.4. Dreidimensionales, schematisches Sammelprofil durch die Quartärablagerungen des Aaretals zwischen Thunersee und Bern



Erläuterungen zum Sammelprofil (Reihenfolge entspricht vermuteter Altersabfolge)

Bezeichnung Lockergesteine		Geologische Einheit	Lithologie	Hydrogeol. Funktion
Holocaen	v	Verlandungsbildungen	Sand, Lehm, Torf, Seekreide	Deckschichten
	gs	Gehängeschutt, resp.-lehm und lokaler Bachschutt, Bergsturz	weit gefächert, Lehm bis blockreicher Schotter, oft verrutscht	vorwiegend Deckschichten lokal kleine Grundwasserleiter
	js	junge Schotterablagerungen der Flüsse	sauberer Kies, oft plattig, teils siltig-sandig.	Hauptgrundwasserleiter
	äas	ältere alluviale Schotter, teils in Terrassen (Wichtrach), oft nicht gegen js abgegrenzt	sandiger Kies	oft Grundwasserleiter
	äav	ältere alluviale Velandungsbildungen und Seetone	tonig-sandiger Silt, Lehm	Stauer
	güs 1)	Gürbeschotter und -sande inkl. Rinnenschotter unbekannten Alters im mittleren Gürbetal	Kiessande und Sande	Grundwasserleiter
Pleistocaen	fs	Felderschotter	sandige Kiese mit Siltlinsen	Grundwasserleiter
	dm	Deckmoräne, inkl. Wallmoräne	tonig-siltig-sandiger Kies mit Blöcken	Deckschichten, lokal Stauer
	ms (nur lokal innerhalb ms ausgeschieden)	Münsingenschotter (obere und untere) inkl. Brüggstutzschotter	z.T. siltig-sandiger, z.T. sauberer Kies, oft mit Blockzwischenlage	Grundwasserleiter
	ist	Seetone, z.B. Thalgut (interstadial?)	Lehm, Warventone	lokaler Stauer
	ks	Kirchdorf-Deltaschotter	Kiessande	Grundwasserleiter
	wm	Moräne, Blocklage	tonig-siltig-sandiger Kies, oft Blockschutt	reliktischer Stauer
	igt	Seetone, z.B. Thungschneit (interglazial?)	tonig-sandige Silte, lokal Schieferkohle und Molluskenlehm	Stauer
	sm	Schlammoräne inkl. Moräne der Guntelsei	Lehm (Seeton) mit Blöcken	Stauer, z.T. reliktisch
	ubs	Uttigen-Bümberg-Steghalde-schotter	schwach siltig-sandige Kiese	Grundwasserleiter
	osa	Oppligensande	stark verfestigte, schwach kiesige Sande	Grundwasserstauer
	at	alte Seetone	geschichtete, tonig-sandige Silte	Grundwasserstauer

1) auf Sammelprofil nicht dargestellt, jedoch auf Beilage 2 (Profile)

Von Bedeutung sind folgende Schlüsselstellen:

- Im Kanderdurchstich und im Glütschbachtal stehen die Hahnideltaschotter (ubs) resp. die Schotter von Guntelsei (ubs) sowie die Brüggstutzschotter (ms) direkt im Kontakt mit der Kander resp. dem Glütschbach. Dort können wichtige Infiltrationsstellen in ein mögliches, grosses, tiefliegendes Grundwasservorkommen postuliert werden. Die Ausdehnung dieser Schotter und auch ihre Tiefenlage ist noch nicht bekannt. Insbesondere ist unsicher, ob sie unter der ausgedehnten Moränendecke mit dem 10 km weiter nördlich gelegenen Schotterkomplex von Uttigen zusammenhängen und ob der gesamte Schotterkomplex oder einzelne Glieder davon unter die Talebene von Gwatt und Thun abtauchen.

- Bei Thierachern stehen am Abhang zum Talboden die Steghaldeschotter (ubs) an und liegen in direktem Kontakt mit den Kanderschottern. Erstere entsprechen stratigraphisch vermutlich den Uttigen-Bümbergschottern (ubs). Der Aufschluss deutet somit an, dass der grundwasserführende Kieskomplex im Hügelgebiet weit unter die Kote der Aaretalsohle reicht.

- Aus den Untersuchungen von COLOMBI, SCHMUTZ und DORTHE (1976) für das Kiesabbau- und Deponieareal Uttigen (s. WEA-Dokumentation) geht hervor, dass dieser Schotterkomplex (ubs) bis 45 m unter den heutigen Aaretalboden reicht, und dass die Oberfläche der stauenden Seetone (at) gegen das Bekkeninnere rasch abfällt. Dies entspricht dem Befund bei der randlich gelegenen Thalgutgrube, wo der Seeton wesentlich über dem Aareniveau liegt und den in der Beckenaxe gelegenen BKW-Bohrungen bei Jaberg-Kiesen (609/184.2; 610/184.27 + 28), wo mächtige Bümbergschotter (ubs) unter dem Talboden angebohrt wurden.

Aaretalebene südlich des Bümberges

Südlich der Linie Uetendorf-Steffisburg wurde das Liegende der postglazialen Kanderschotter resp. Sande nur im randlichen Gebiet bei Scherzligen (Rosenau) in geringer Tiefe erbohrt und als Moräne (dm) klassiert. Im zentralen Teil des Beckens liegt die Stauerschicht sicher mehr als 50 m unter TOK.

Nördlich dieser Linie wurden im Liegenden der jungen Schotter an verschiedenen Stellen Seetone unbekannten Alters sowie Schlammoräne (sm) in Tiefen von 35 m (Burgergut) bis 6 m (Heimberg) erbohrt. Informationen über das Liegende dieses Stauers sind nicht vorhanden. Wie aus dem vorhergehenden Abschnitt hervorgeht, könnten in der Tiefe durchaus noch durchlässige, wasserführende Schotter (ubs) erwartet werden.

Bümberg

Hier befindet sich eine der Schlüssellokalitäten zum Verständnis der diluvialen Ablagerungen im Aaretal. Ein durchziehendes Profil zeigt die Bohrung HGA-11 (611/183.30). Es lautet:

3,2 m	Silt und Sand mit Blöcken	Deckmoräne (dm)	Würm II
8,6 m	Sauberer Kies	obere Münsingen-schotter (ms)	Würm II Vorstossschotter
0,9 m	Blocklage	ausgewaschene Moräne (wm)	Würm I
10,5 m	Leicht siltiger Kies	untere Münsingen-schotter (ms)	Würm I Vorstossschotter
9,6 m	Kiesiger, teils toniger Silt mit eingestreuten Blöcken, oben und unten braune Färbung	Moräne, teilweise Unterwasser-Moräne. Die Braunfärbung deutet Sedimentationslücken (Erosionsphasen) an (sm)	Rissmoräne
30,4 m	Leicht siltiger Kies	Bümbergschotter (ubs)	
17 m	Mittel- bis Grobsand. Oben mit einzelnen Kieskomponenten	Oppligensande (osa)	

Einzig die Thungschneit-Seetone (igt) fehlen in dieser Bohrung. Sie liegen, wie aus unseren seinerzeitigen Aufnahmen für den Bau der N 6 und die Sanierung des Rutsches im Räbli hervorgeht, zwischen den Münsingenschottern im Hangenden und der Unterwasser-Moräne im Liegenden und zeigten stark wechselnde Mächtigkeiten. Ihre Obergrenze entspricht einer Erosionsfläche an der Basis der Münsingenschotter. Lokal, z.B. an der Bohrlokalität, sind sie erodiert.

Talsohle Thungschneit-Kiesen

In der Talsohle nimmt wenig südlich der Linie Heimberg - Uttigen die Mächtigkeit der postglazialen Schotter gegen N hin ab und beträgt bei Jaberg nur noch wenige m. Die Seetone, welche bei Steffisburg und Heimberg unter den jungen Kander- und Aareschottern liegen, sind vom Engnis von Thungschneit bis nach Jaberg entweder durch die Aare vollständig abgetragen worden, oder gelangten nie zur Ablagerung. Dort liegen - wie aus den Bohrungen der WV Bern bei Thungschneit und denjenigen der BKW bei Jaberg hervorgeht - die jungen Aareschotter (js) direkt den Jaberg-Uttigen- resp. Bümberg-Schottern (ubs) auf. Das Gebiet von Thungschneit hat demnach für beide Würm- und den letzten risseiszeitlichen Gletschervorstoss als Schwelle gewirkt (Fig. 2.3).

Dieses Gebiet, in welchem keine Trennung zwischen dem Grundwasser in den diluvialen und den alluvialen Schottern existiert, kann als wichtige Infiltrationszone für die weiter nördlich gelegenen, tiefen Grundwasservorkommen betrachtet werden.

Aus der Kombination der Bohrungen HGA-11 mit HGA-12 (611/187.1) sowie aus mehreren Bohrungen im Delta der Chise und der Rotache wissen wir, dass die Bümberg-Schotter (ubs) gegen unten in die stark verkitteten Oppligensande (osa) übergehen, welche ihrerseits direkt alte Seetone (at) überlagern.

Rechtsseitige Hügelzone zwischen Oppligen - Rubigen und Vielbringen

In dieser von S nach N sich allmählich verbreitenden Hügelzone liegen unter der Deckmoräne (dm) durchgehend Münsingenschotter (ms: obere und untere) teils ohne Trennhorizont, teils mit reliktischen Vorkommen von oft zu Blocklagen ausgewaschener Würm I-Moräne (wm).

Im Süden, zwischen Oppligen und Oberwichtrach, überlagern diese längs einer Erosionsfläche direkt die als Stauer wirkenden, verkitteten Oppligensande und bei Murachern eine verkittete Moräne (Rissmoräne), welche ihrerseits den Oppligensanden aufliegt.

Zwischen Oberwichtrach und Münsingen taucht die Basis des Schotterkomplexes, welcher hier neben den Münsingenschottern ev. noch Erosionsrelikte älterer Schotterfluren enthält (vgl. SCHLUECHTER, 1976), unter die Schotter (äas) in die Niederterrasse von Münsingen-Kiesen ab (vergl. BECK & RUTSCH, 1958). In der Wichtrachgrube war eindeutig ersichtlich, dass, falls wirklich ältere Schotter (ubs?) am Aufbau des grossen Kieskomplexes beteiligt sind, klare durchziehende Trennschichten zwischen den einzelnen Schotterfluren fehlen.

Im Norden, zwischen Münsingen, Rubigen und Vielbringen, wird die Deckmoräne oft durch ausgedehnte Verlandungsbildungen (v) überlagert (z.B. Vielbringenmoos). Ueberall, wo die Deckmoräne durch natürliche Erosion durchschnitten, oder mit Bohrungen durchstossen ist, können im Liegenden der Deckmoräne Münsingenschotter festgestellt werden. Diese erreichen vielerorts eine bedeutende Mächtigkeit; westlich Rubigen z.B. 34 m. Erst nördlich Münsingen ist die Unterlage der Münsingenschotter wieder bekannt. Es handelt sich um Seetone (sm?/at?), welche gemäss WELTEN (mündliche Mitteilung) im Schattholz, westlich Rubigen, ein interglaziales, eemzeitliches oder älteres Pollenspektrum aufweisen. Diese Seetone steigen gegen Norden zu an und liegen bei Rubigen ca. 20 m über dem Aareniveau.

Ob unter diesen Seetonen noch ältere Schotter (ubs) liegen, ist nicht bekannt. Falls sie tatsächlich altersmässig dem Eem zugehören, wäre dies möglich.

Die eine Niederterrasse bildenden Schotter, welche zwischen der Hügelzone und dem eigentlichen Talboden von Oberwichtrach bis westlich der landwirtschaftlichen Schule Schwand ziehen, keilen dort aus. Die Niederterrasse zieht jedoch als morphologische Form weiter nach Norden, wo sie jedoch durchwegs von Seetonen aufgebaut wird.

Aaretalboden zwischen Kiesen und Hunzigen

Bei Kiesen tauchen die Bümbergschotter Richtung N ab. Unter den jungen Aareschottern liegt am Talrand oft Moräne (dm), gegen die Talmitte zu meist postglazialer Seeton (äav), der seinerseits direkt diluviale Seetone (ist?, teilweise igt?) überlagert.

Wir nehmen an, dass die Münsingenschotter (ms) im Bereich des heutigen Talbodens entweder nie abgelagert wurden, oder, falls durch den ganzen Trog eine einheitliche Schotterflur bestand, diese durch die beiden Gletschervorstösse

der Würmeiszeit grösstenteils wieder erodiert wurde. Daher korrelieren wir die Schotter, welche in der Bohrung M 4 (608/190.23) zwischen 127 m und dem Bohrende auf 135 m unter TOK angetroffen wurden, vorläufig mit den Bümbergschottern (ubs). Ein definitiver Beweis, dass es sich nicht um ein Relikt der Münsingenschotter handelt, fehlt, hingegen wird unsere Korrelation durch die Resultate der Isotopen-Untersuchungen am in diesen Schottern zirkulierenden Wasser gestützt (vgl. Kapitel 6.4). Dabei bleibt offen, ob die Bümbergschotter (ubs) in annähernd gleichbleibender Mächtigkeit von Münsingen bis Jaberg durchziehen. Immerhin deuten die geoelektrischen Untersuchungen von DURET und REBER (1971: s. WEA-Dokumentation) in diesem Talabschnitt längs der Aare durchwegs auf tieferliegende Schichten mit erhöhtem Widerstand, d.h. auf kiesiges Material hin.

Querprofil Rubigen - Hunzigen

Das Querprofil Rubigen - Hunzigen am Ausgang des mittleren Aaretales ist im Bereich der Talebene durch Bohrungen gut belegt, wobei allerdings nur eine Bohrung sehr tief reicht und gemäss seismischer Nachkontrolle ca. 15 m über der Trogsohle (Felsoberfläche) abgebrochen wurde. Fig. 2.5. zeigt einen Querschnitt durch den zentralen Teil des Troges bei Hunzigen.

Schon beim Bau der N 6 wurde mit 2 Bohrungen für die neue Aarebrücke ein tieferliegendes Grundwasserstockwerk, welches von den jungen Aareschottern durch 15 resp. 28 m Seeton getrennt ist, angebohrt.

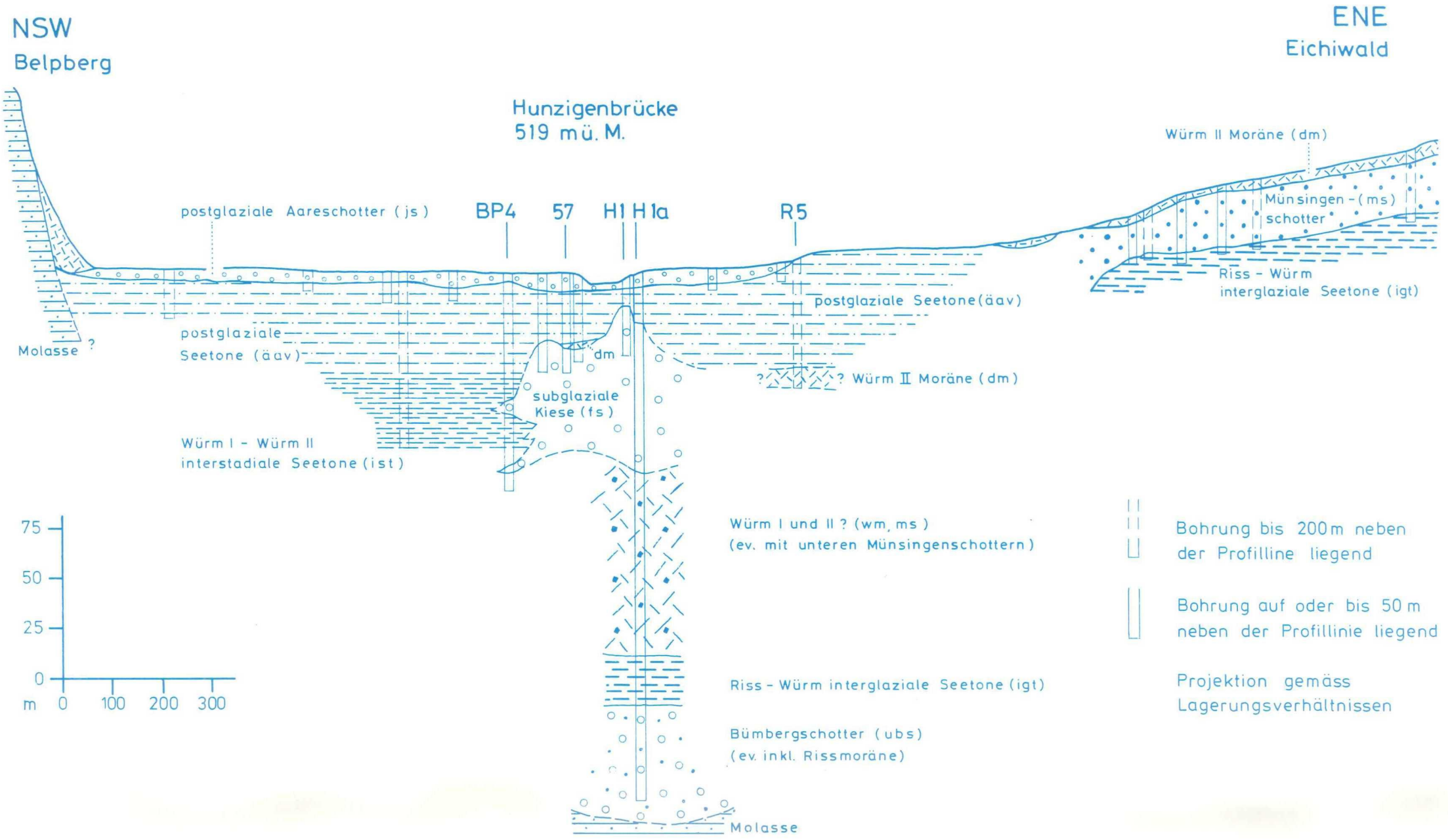
1974 wurde dieses Schottervorkommen von der durch das WEA veranlassten Spülbohrung H la durchstossen und in den Bohrungen R 5 (607/193.38), H 1 (607/193.31), BP 2 (607/193.26) und BP 4 (607/193.29) angefahren. 1979 erfolgte dann im Rahmen der laufenden Untersuchungen der Bau des 48 m tiefen Versuchsbrunnens VB (607/193.57).

Die Bohrung H la zeigt unter den alluvialen Aareschottern und den post- oder spätglazialen Seetonen zwischen 26 m und 194 m ein 168 m mächtiges, nicht weiter differenziertes Paket von Grobsand und Feinkies mit wenig Grobkies, welches über einer 26 m starken Schicht aus Grobsand-Feinkies mit zahlreichen Tonklumpen liegt. Aufgrund der rudimentären Spülproben muss jedoch angenommen werden, dass das feinkörnige Material im Bohrgut wenigstens stellenweise stark ausgewaschen war, so dass im allgemeinen die Schichtabfolge bedeutend weniger durchlässig sein dürfte als dies aufgrund des lithologischen Befundes erscheint.

Darunter folgt von 220 m bis zur Endtiefe von 264 m wiederum Grobsand und Feinkies.

Die ca. 120 m westlich der Bohrung H la mit einem Greifer abgeteufte Brunnenbohrung, VB, zeigte zwischen den jungen Seetonen und dem Kies, d.h. zwischen 36,5 und 38 m Tiefe eine eindeutige Grundmoräne. Darunter wurde bis auf 48,3 m (Endtiefe) sandiger, schlecht sortierter Kies mit vielen Steinen und Blöcken angetroffen.

2.5. Geologisches Querprofil durch das Aaretal bei der Hunzigenbrücke



Diese Bohrresultate werden stratigraphisch wie folgt interpretiert (Fig. 2.5 und 2.6): Unter dem jungen Aareschotter liegen postglaziale Seetone, welche ihrerseits teilweise interstadiale Seetone, teilweise aber auch Felderschotter oder Deckmoräne überlagern.

Der in der Brunnenbohrung angefahrene, schlecht sortierte Kies wird als Felderschotter (fs) betrachtet, welcher lokal bei einer letzten Oszillation des würmeiszeitlichen Gletschers allerdings durch diesen noch überfahren wurde. Zeugen dieser letzten kleinen Gletscherschwankung stellen die nur sporadisch über dem Felderschotter erhaltene Moräne sowie die kleinen im südlichen Teil des Fahrhubels über den dortigen Schottern (äas?, fs?, fluviatil umgelagerte Würm II-Moräne) liegenden Moränenreste dar.

In Bohrung H 1a folgten unter dem Felderschotter bis auf - 194 m grobkörnige würmeiszeitliche Ablagerungen, welche sowohl Würm II- als auch Würm I-Moräne und Münsingenschotter (ms) enthalten können. In der darunter durchbohrten 26 m mächtigen, tonreichen Schicht konnte WELTEN (in SCHLUECHTER 1979) ein würmeiszeitliches Pollenspektrum feststellen, das er, allerdings mit Vorbehalten, dem Eem-Interglazial zuordnet. Es würde sich demnach um interglaziale Seetone (igt) mit einzelnen Sand- und Kieseinlagerungen handeln. Diese überlagern bis zur Endtiefe der Bohrung Schotter, welche mit den Uttigen-Bümbergschottern (ubs) korreliert werden können.

Belpmoos

Ueber den Aufbau des tieferen Teils der Lockergesteinsfüllung im Belpmoos ist sehr wenig bekannt.

Gemäss den geoelektrischen Untersuchungen von DURET und REBER sind Anzeichen eines tieferen Grundwasserleiters im aarenahen Teil des Belpmooses vorhanden. Es kann sich dabei um umgelagerte Moräne (äas?, fs?) des im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen, weitgehend einsedimentierten Moränenwalles des Fahrhubels handeln.

Hügelgebiet zwischen Rubigen, Vielbringen, Worb-Station, Rüfenacht und Muri

Dieses Gebiet umfasst 2 ev. 3 durch Molasserippen voneinander abgetrennte Teilbecken (vgl. Fig. 2.3).

Die älteren, an der Trogfüllung beteiligten, Elemente sind nur aus temporären Aufschlüssen während des Baues der N6 sowie aus für die Nationalstrasse abgeteuften Bohrungen bekannt. Sie wurden unter anderem von SCHLUECHTER (1976) und von DIEGEL (1976) beschrieben.

Die Schichtfolge ist ähnlich derjenigen des Bümbergs:
Unter den Münsingenschottern (ms) liegen stark glazial gestauchte Kiessande, darunter oder an diese angelagert, folgt eine seitlich in Seeablagerungen übergehende Schlammoräne (sm). Unter diesen wurden die stark verkitteten Deltaschichten vom Raintal (ubs?), welche leicht mit der Basis der Bümbergschotter und den Oppligensanden (osa) korreliert werden könnten, festgestellt.

Südöstlich des Raintalwaldes, in der Kiesgrube von Kleinhöchstetten, d.h. im Bereich des das Belperbecken von den Nebentrögen trennenden Molassesporns, liegen die Münsingenschotter direkt den verkitteten Kiessanden und der Molasse auf.

Ueber den Aufbau des Nebenzungenbeckens von Rüfenacht und von Beitenwil - Worb-Station liegt wenig Information vor.

Gebiet Kehrsatz, Muri, Wabern und Marzili

Im Gebiet Kehrsatz, Selhofen und Muri bestand mit Sicherheit während der beiden würmeiszeitlichen Gletschervorstösse eine Schwellenzone.

In der Terrasse von Kehrsatz liegt unter den Felderschottern die Deckmoräne direkt auf der Schlammoräne (sm).

Aehnliche Verhältnisse beschreiben GASSER, MATTER und NABHOLZ (1964) aus den Baugruben für die Monbijoubrücke, wo ebenfalls wesentlich über dem heutigen Aareniveau eine die Felderschotter unterlagernde Altmoräne festgestellt wurde. Ob es sich dabei um eine Riss- oder um eine Würm I-Moräne handelt, konnte allerdings nicht schlüssig nachgewiesen werden. Die spärlichen Feldaufschlüsse nahe dem ehemaligen Bahntrasse ins Marzili zeigen ebenfalls zwei übereinander liegende Moränen, wobei es sich dort allerdings analog den Verhältnissen im Murifeld - wo ein Teil der Felderschotter von der Würm II-Moräne wieder überfahren wurde - auch um Bildungen einer Oszillation des Würm II-Gletschers handeln könnte.

Die Trogfüllung auf der NE-Seite des Tales bei Muri und im Kirchenfeld scheint ähnlich derjenigen bei Kehrsatz zu sein.

Der heutige Aarelauf hat sich offenbar nach der letzten Eiszeit in die früher durchziehende Ebene von Kehrsatz - Muri bis auf das Niveau der Schlammoräne (sm) einerodiert (Beilage 2).

Ueber die tiefen Partien des Troges existiert wenig Information. Die vom WEA veranlasste Spühlbohrung K 1(602/196.1), welche wenig westlich Selhofen auf der linken Aareseite niedergebracht wurde, zeigte unter Seetonen ab 44 m bis zur Endtiefe von 70 m eine mit Schluff und Schotter beschriebene Formation, welche wir, analog den Verhältnissen im Raintal oder im Aarebord beim Dählhölzli, als Schlammoräne (sm) interpretieren. In die die Schlammoräne überlagernden Seetone ist eine 4 m mächtige Schotterserie eingelagert, welche als Relikt der Münsingenschotter (ms) interpretiert werden könnte.

Zwischen Selhofen und dem Marzili kann anhand der einzigen, nur bis 36 m Tiefe reichenden Bohrung (602/197.26) im Nesslerenhölzli (SE Wabern) nicht entschieden werden, ob die hier existierende Schwelle im würmeiszeitlichen Aaretrog auch eine Schwellenzone im Haupttrog widerspiegelt (Fig. 2.3).

Im Marzili wurde schon 1920 bei der Stickerei Ryff in 50 m Tiefe ein tiefes Grundwasserstockwerk angebohrt (600/198.13). Ein vollständiges Profil durch

die Lockergesteinsfüllung des Troges zeigt die Bohrung B 1 (600/198.84). Es lautet von oben nach unten: 20 m Schotter, 6 m Ton, 105 m Ton mit Kieseinlagen, 113 m Lehm mit Kiesbänken, 8 m harter Kies, 14 m Schotter mit Lehmlagen. Darunter folgt in 266 m Tiefe die Molasse.

Eine geologische Interpretation dieses Bohrprofiles ist äusserst schwierig. Mit Sicherheit sind die jungen Aareschotter (js) nur ca. 6 m mächtig und überlagern direkt ältere Schotter, welche altersmässig sowohl als ältere alluviale Schotter (äas) wie ev. als zeitliches Aequivalent der Felderschotter (fs) oder der Münsingenschotter (ms) eingestuft werden könnten.

Da insbesondere nicht feststeht (vgl. Abschnitt 2.3), ob im Marzili direkte Korrelationen mit den Verhältnissen im Aaretal oberhalb der Schwellenzone von Kehrsatz sinnvoll sind, oder ob nicht vielmehr Richtung Westen (Karlsruhe und Forst) korreliert werden müsste, möchten wir vorläufig auf den Versuch einer geologischen Interpretation der Beckenfüllung im Marzili verzichten.

Gürbetal zwischen Wattenwil und Belp

Die geologische Feldkartierung ergab, dass wesentliche, aus älteren Elementen der Beckenfüllung aufgebaute, randliche Hügelgebiete, welche Aufschluss auf die Beckenfüllung geben, fehlen.

Die wenigen Bohrungen in der Gürbetalebene liefern die folgenden Hinweise:

In der Mühlematt südlich Belp wurde in rund 35 m Tiefe eine Moränenschicht erbohrt (604/192.32), welche zwischen zwei Seetonpaketen eingelagert ist. In etwas geringerer Tiefe hat SCHLUECHTER (1976) aufgrund von Pollenanalysen und der Lagerungsdichte in Belp die Grenze zwischen nacheiszeitlichen und eiszeitlichen Seetonen gezogen. Dort fehlt jedoch die trennende Moränenschicht.

Wir interpretieren das erwähnte Moränenvorkommen in der Mühlematt als reliktisch vorhandene Würm II-Moräne (dm). Die darunter liegenden Seetone hätten somit mindestens ein interstadiales Alter (ist).

Die bei Lohnstorf bis auf 80 m Tiefe niedergebrachte Bohrung (606/189.7): vgl. Zwischenbericht 1978) zeigte unter 16 m siltigem Ton mit Torfeinlagerungen bis in 40 m Tiefe Kiessand und darunter bis in 80 m Tiefe gegen unten feinkörniger und siltiger werdender Sand. Gemäss unveröffentlichten Pollenanalysen von WELTEN ist das ganze Bohrprofil dem Alluvium zuzuordnen.

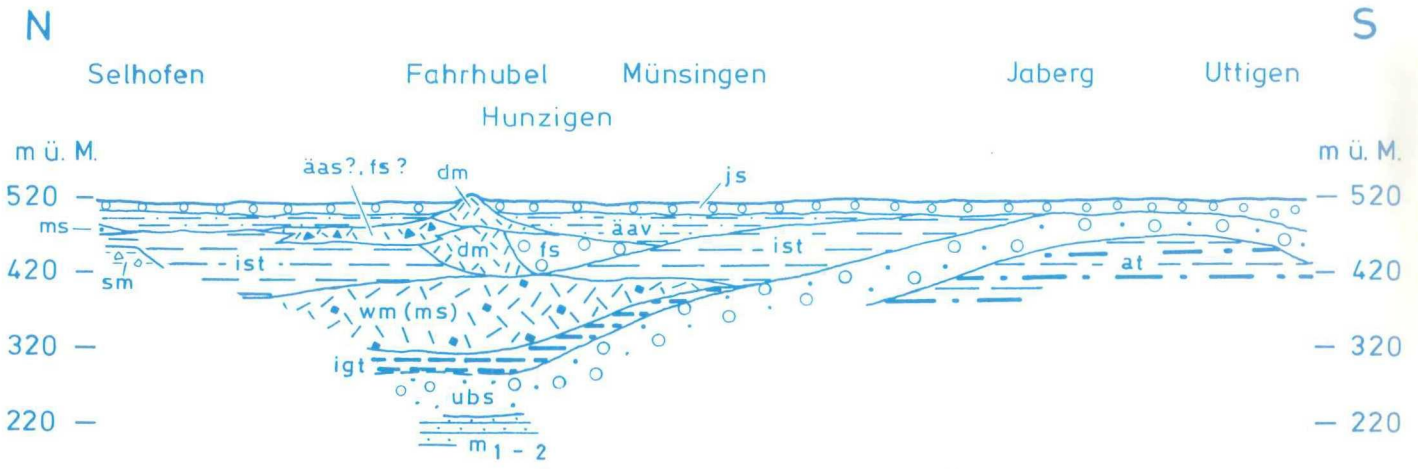
Weitere interessante Aufschlüsse gibt die Grundwasserfassung Toffen (604/189.1), die in einer seitlich eng begrenzten, mit Kies angefüllten und durch Seeton (äav) überdeckten Rinne liegt.

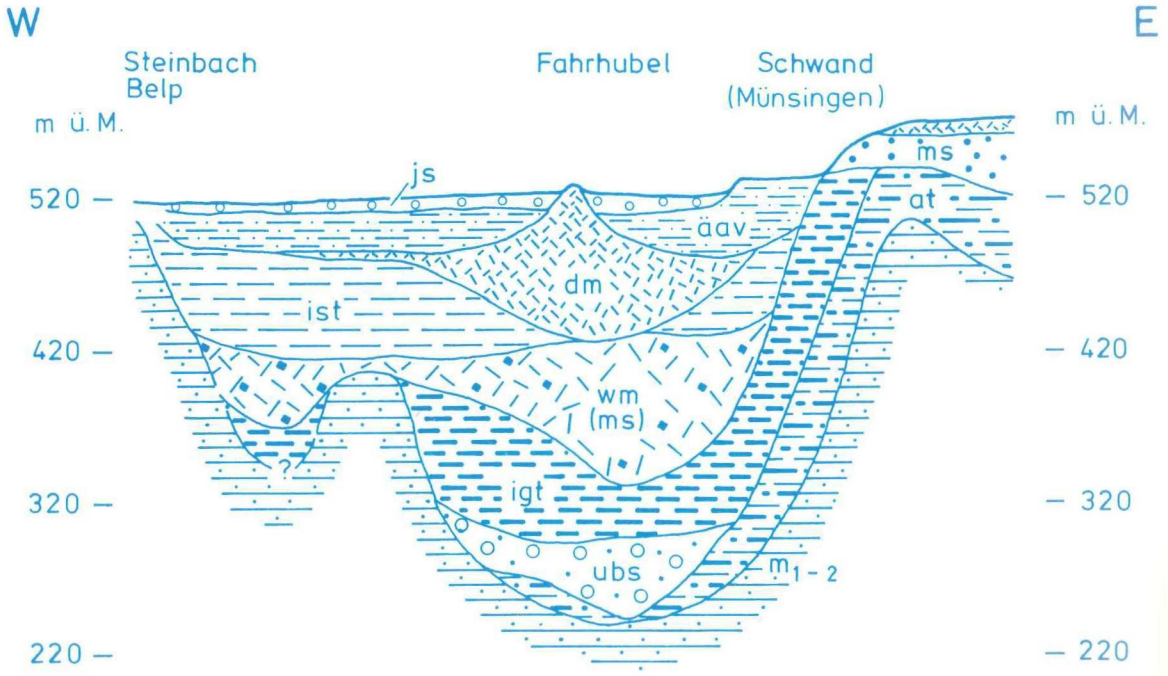
Aus diesen Bohrungen folgt, dass der Würm II-Gletschervorstoss im älteren Seeton einen sehr schwach nach Süden einfallenden Trog ausgehobelt hat, wobei im Gebiet Toffen möglicherweise eine wenig ausgeprägte Schwellenzone bestand. Dieser Trog wurde von Süden her durch ein vorwiegend aus feinkörnigem Kies und Sand bestehendes Delta aufgefüllt. Die grobkörnigen Ablagerungen keilen gegen Norden zu aus.

2.4.3. Spekulative, zusammenfassende Bemerkungen

Figur 2.6 zeigt ein spekulatives Längsprofil durch den Haupttrog von Selhofen bis Uttigen sowie ein gleichartiges Querprofil von Belp nach Münsingen. Diese Profile geben eine Interpretation der Trogfüllung, die in Einzelheiten durchaus nicht gesichert ist, jedoch in keinem Widerspruch zu den Feldbefunden und den Resultaten der Bohrungen und der Geophysik steht. Für tiefere Grundwasservorkommen von Bedeutung ist das anhand weniger Bohrresultate und geophysikalischer Hinweise vermutete Durchziehen der Uttigen-Bümbergschotter (ubs) von Uttigen bis ins Belperbecken sowie das aufgrund geophysikalischer Messresultate vermutete Vorhandensein recht ausgedehnter, älterer alluvialer Schotter, nördlich des Fahrhubels, die durch junge Seetone überdeckt sind. Im Längsprofil wurden die Uttigen-Bümbergschotter (ubs) als durchgehende, von Süden her geschüttete Schotterflur interpretiert. Die Form dieses Schottervorkommens könnte jedoch durchaus durch seitliche Schuttkegel, welche gleichzeitig wie die Uttigen-Bümbergschotter abgelagert wurden, überprägt sein.

2.6. Interpretierte Schichtabfolge entlang eines Längsprofils Selhofen – Uttigen und eines Querprofils Belp – Münsingen, schematisch





- postglaziale Kander - resp. Aareschotter
- postglaziale Seetone
- umgelagerte Moräne
- subglaziale Kiese ev. Münsingenschotter
- Würm II-Moräne, beim Fahrhubel – Hunziken, z.T. umgelagert
- Münsingenschotter (stellenweise durch Blocklage getrennt, entspricht WürmI- Moräne
- Würm I – Würm II interstadiale Seetone
- Würm I-Moräne (ev. sandige Ausbildung von unteren Münsingenschottern)
- Riss - Würm interglaziale Seetone
- Schlammoräne (Riss)
- Bümbergschotter (im N ev. inkl. Rissmoräne und Oppligensande)
- vorrisseiszeitliche Seetone
- Molasse

3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN

3.1. Allgemeines

Die Niederschlags- und Oberflächenabflussverhältnisse wurden durch K. MUELLER und R. LUGINBUEHL (1975) als Beitrag zur siedlungswasserwirtschaftlichen Planung des Aaretals zwischen Thun und Bern im Auftrag des WEA eingehend beschrieben. Zur Vermittlung eines Gesamtüberblickes sollen deshalb nachfolgend nur die wichtigsten hydrologischen Daten erwähnt werden, unter besonderer Berücksichtigung der Untersuchungsperiode 1976 - 79.

Infolge des dominierenden Einflusses der Aare auf die Neubildung und die Abflussverhältnisse des Grundwassers fällt eine Grundwasserbilanzierung mittels hydrologischer Parameter ausser Betracht. Es wurde deshalb von einer gebietsweisen Analyse der Niederschlags-, Abfluss- und Verdunstungsdaten abgesehen.

3.2. Niederschlag

Zur Ermittlung des Niederschlags im Untersuchungsgebiet müssen die in der nachstehenden Tabelle 3.1 aufgeführten Stationen berücksichtigt werden. Davon liefern vorwiegend die Stationen Thun, Münsingen, Belp und Bern die massgebenden Werte für das Grundwasserleitergebiet der Talsohlen. Die übrigen Stationen sind vor allem für die Einzugsgebiete im randlichen Hügelland massgebend. Laut dieser Aufteilung ergibt sich für die Periode 1976 - 79 nach der THIESSEN-Methode eine mittlere jährliche Niederschlagshöhe von 1029 mm für die Talsohle, 1081 mm für die Hänge des Aaretals und 1100 - 1200 mm für das randliche Hügelgebiet.

Die Niederschläge lagen während der Periode 1976 - 79 durchschnittlich etwa 5 % über dem langjährigen Mittelwert. Das trockene Jahr 1976 wies gegenüber dem Periodenmittel ein Defizit von 25 % und gegenüber dem langjährigen Mittel ein solches von 22 % auf. Beim relativ niederschlagsreichen Jahr 1979 lagen die entsprechenden Werte um 12 % resp. um 17 % über den Mittelwerten.

Die monatliche Verteilung der Niederschläge ist aus der Tabelle 3.2 ersichtlich, wobei als Referenzstation diejenige von Thun gewählt wurde. Die übrigen in der Tabelle 3.1 aufgeführten Stationen ergeben eine ähnliche saisonale Verteilung. Unterschiede treten vor allem in der auf das Jahresmittel bezogenen Amplitude zwischen den Sommer- und Wintermonaten auf. So ist diese z.B. bei der Station Bern um ca. 10 - 12 mm (langjährige Mittelwerte) geringer als bei der Station Thun.

Wie die Beobachtungsperiode 1976 - 79 indessen zeigt, sind die monatlichen Niederschläge, gemessen an den langjährigen Mittelwerten, grossen Schwankungen unterworfen, nämlich zwischen 64 und 189 % wenn die Monatsmittel der 4-Jahresperiode herangezogen werden und zwischen 15 % (November 1978) und 288 % (Dezember 1979) wenn die Monate der einzelnen Jahre (1976 - 79) berücksichtigt werden.

Tabelle 3.1: Jährliche Niederschläge in mm

	Nr.	Station	Höhe M ü.M.	Koordinaten	1976	1977	1978	1979	Mittelwerte 1976-79	Mittelwerte 1901-60	% 1976-79 / 1901-60
Eidg. Messstationen	E1	Wimmis	622	615.260/170.680	1056	1379	1462	1677	1393	1281	109
	E2	Thun	560	613.760/178.800	862	1089	1009	1096	1016	948	107
	E3	Schwarzenegg	920	621.130/182.730	876	1286	1267	1385	1203	1183	102
	E4	Grosshöchstetten	743	615.150/195.040	958	1489	1293	1426	1291	1165	111
	E5	Blumenstein	661	606.120/176.680	949	1502	1377	1596	1356	1336	101
	E6	Riggisberg	768	603.520/184.520	933	1466	1179	1385	1241	-	-
	E7	Mühleturnen	574	605.290/184.770	859	1420	1128	1498	1226	-	-
	E8	Belp	520	604.920/193.330	820	1318	1040	1240	1104	1098	101
	E9	Bern	570	598.610/197.470	724	1285	1058	1243	1077	1000	108
Kant. Messstationen	K1	Wattenwil	603	605.230/180.020	826	1098	1141	1325	1097	-	-
	K2	Belpberg	805	606.080/192.010	830	1280	1053	1214	1094	-	-
	K3	Münsingen	542	609.270/191.960	794	1100	909	1116	980	-	-
	Mittelwerte				874	1309	1160	1350	1173	-	106

Tabelle 3.2: Monatliche Niederschläge in mm der MZA Station Thun

	1976	1977	1978	1979	1976-79	1931-60	1976-79/1931-60 in %
J	31	60	44	83	54,5	47	116
F	38	102	85	62	71,75	44	163
M	35	56	93	72	64,0	52	123
A	78	188	73	75	103,5	66	157
M	89	79	103	52	80,75	99	82
J	45	128	212	137	130,5	132	99
J	171	154	111	61	124,25	128	97
A	85	89	151	160	121,25	127	95
S	83	23	49	101	64,0	100	64
O	54	88	40	96	69,5	62	112
N	50	69	8	76	50,75	53	96
D	103	53	40	121	79,25	42	189
Jahr	862	1089	1009	1096	1014	952	116

Im allgemeinen gelten jedoch folgende langjährige Gesetzmässigkeiten: Niederschlagsmaximum während den Monaten Juni - August (ca. 35 - 40 % der Jahressumme), Niederschlagsminimum während den Wintermonaten Dezember - März (ca. 15 - 25 % der Jahressumme) und ziemlich durchschnittliche Werte im Mai und September.

3.3. Abfluss

Das Abflussregime der Aare wird nebst dem Niederschlagsgeschehen vor allem durch die Regulierung des Thunersees bestimmt. Dagegen haben die Zuflüsse, ausser bei extremen Starkregen (z.B. Zulg, 22. Aug. 1974), kaum einen Einfluss auf den Aareabfluss, da ihre gesamte Abflussmenge im Durchschnitt knapp 10 % derjenigen der Aare erreicht.

Trotz Seeregulierung beträgt der Quotient zwischen der Abflussspitze (400 m^3/s Juni 1970) und dem Minimalabfluss (23,4 m^3/s, Januar 1944) bei einem durchschnittlichen Abfluss von 109 m^3/s immerhin 17.1 (Station Thun, Zeitraum 1935 bis 1979). Bezeichnenderweise verändert sich bei der Station Bern für den gleichen Zeitraum der obige Wert zu 15.2, da die seitlichen Zuflüsse (mittlerer Abfluss ca. 11 m^3/s) ein vom künstlich regulierten Thunerseeabfluss stark abweichendes natürliches Abflussregime zeigen. Eine Uebersicht der wichtigsten Aarezuflüsse ergeben die Tabellen 3.3 und 3.4, zudem sind sie aus der Beilage 3 ersichtlich.

Tabelle 3.3: Abfluss-Messstationen

Nummer und Referenz	Fluss	Messstelle	Koordinaten	Messperiode	durchschn. Abfluss
1	Allmendingerbach	Guntelsei-Wässerifluh	611.650/175.440	1972 - 74	0,023 m^3/s
2 *	Aare	Thun	613.230/179.280	1935 - 78	109 m^3/s
3	Zulg	Heimberg	612.910/180.245	1973/74	1,45 m^3/s
4	Mülibach	Steffisburg	615.200/180.820	1972 - 74	0,88 m^3/s
5	Bösbach	Steffisburg	615.710/180.190	1972 - 74	0,023 m^3/s
6	Limpach	Heidenbüeli	610.050/181.580	1972 - 74	0,041 m^3/s
7	Glütschbach	Uttigen	610.230/182.870	1971 - 74	0,46 m^3/s
8	Rotache	Stockeren	610.200/184.030	1971 - 74	0,59 m^3/s
9	Chise	Kiesen	610.370/185.350	1972 - 74	0,87 m^3/s
10	Thalgutbach	Thalgut	609.365/186.840	1972 - 74	0,009 m^3/s
11	Deienbach	Oberwichtrach	610.630/188.030	1972 - 74	0,021 m^3/s
12	Waldeckgraben	Niederwichtrach	610.910/188.700	1972 - 74	0,016 m^3/s
13	Gansgraben	Niederwichtrach	610.980/189.140	1972 - 74	0,010 m^3/s
14	Aarwaldbach	Unteraar	607.370/191.645	1972 - 74	0,012 m^3/s
15	Grabenbach	Münsingen	609.925/191.750	1973/74	0,073 m^3/s
16	Mühlebach	Hunzigen	607.845/193.250	1973/74	0,139 m^3/s
17	Ruschibach	Schwand	608.720/193.270	1972 - 74	0,010 m^3/s
18	Schwarzbach	Rubigen	607.980/193.570	1972 - 74	0.085 m^3/s
19	Giesse, rechts	Hunzigenau	607.325/193.880	1973/74	0,838 m^3/s
21 *	Gürbe	Belp-Stockmatt	604.520/194.790	1923 - 78	2,54 m^3/s
22	Giesse, links	Im Zopfen	603.220/197.095	1972 - 74	1,03 m^3/s
23 *	Aare	Bern-Dählhölzli	600.820/198.030	1935 - 78	120 m^3/s

Anmerkung: Alle Angaben nach MÜLLER & LUGINBÜHL (1975), mit Ausnahme der mit * bezeichneten Stationen, die dem Eidg. Hydrol. Jahresbuch entnommen wurden.

Tabelle 3.4: Monatliche und jährliche Oberflächenabflüsse

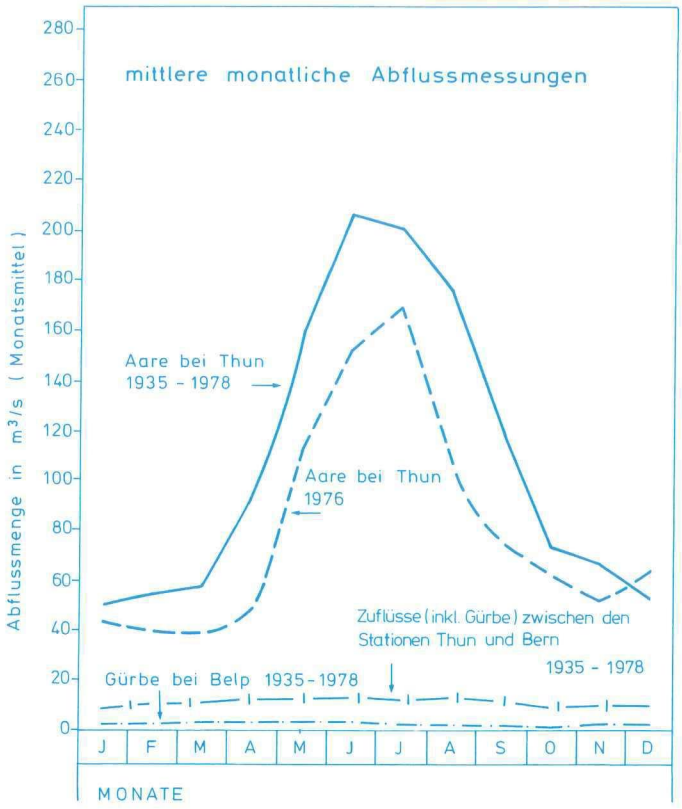
Messstelle	Zeit-abschnitt	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	in % von 1935 - 78
Aare bei Thun	1976	43,4	40,2	38,8	47,8	112	152	170	107	76,1	63,4	51,9	64,6	80,7	74
	1977	53,0	73,8	72,3	95,0	204	201	198	174	96,0	72,9	86,6	76,6	117	107
	1978	58,8	62,4	80,5	77,4	165	268	219	182	96,5	61,2	40,8	44,1	113	104
	1979	46,9	56,4	61,1	59,8	173	243	146	178	95,6	90,3	98,3	85,9	111	102
	1935-78	49,5	54,1	57,5	92,7	159	206	200	174	121	73,3	66,4	52,6	109,0	100
Aare bei Bern - Schönau	1976	49,8	45,7	44,8	58,1	124	162	183	119	86,9	71,2	60,6	78,1	90,4	75
	1977	62,8	95,0	83,7	117	225	214	214	187	104	81,4	98,3	87,0	131	109
	1978	66,9	79,9	97,1	85,9	180	288	237	198	103	64,6	44,9	51,1	125	104
	1979	54,1	70,8	74,6	74,6	186	257	153	190	108	101	114	99,5	124	103
	1935-78	58,1	64,3	68,7	105	171	219	212	188	133	82,3	76,5	62,1	120,0	100
Gürbe bei Belp	1976	1,17	1,49	1,35	1,69	2,09	1,35	1,48	1,02	1,26	0,92	0,94	2,92	1,47	58
	1977	1,73	5,97	2,82	5,93	6,06	3,29	4,05	3,12	1,42	1,62	3,10	2,74	3,47	137
	1978	2,26	5,03	5,07	2,84	5,06	5,18	3,63	3,04	1,23	1,08	0,72	1,68	3,06	120
	1979	2,40	5,31	3,60	3,12	4,63	3,59	1,35	2,35	2,28	2,45	4,52	3,71	3,26	128
	1923-78	2,04	2,49	2,67	3,07	3,34	3,26	2,66	2,40	2,14	1,88	2,33	2,17	2,54	100
Zuflüsse * (Aare bei Thun - Aare bei Bern)	1976	6,4	5,5	6	10,3	12	10	13	12	10,8	7,8	8,7	13,5	9,7	
	1977	9,8	21,2	11,4	22	21	13	16	13	8	8,5	11,7	10,4	14	
	1978	8,1	17,5	16,6	8,5	15	20	18	16	6,5	3,4	4,1	7	12	
	1979	7,2	14,4	13,5	14,8	13	14	7	12	12,4	10,7	15,7	13,6	13	
	1935-78	8,6	10,2	11,2	12,3	12	13	12	13	12	9	10,1	9,5	11	

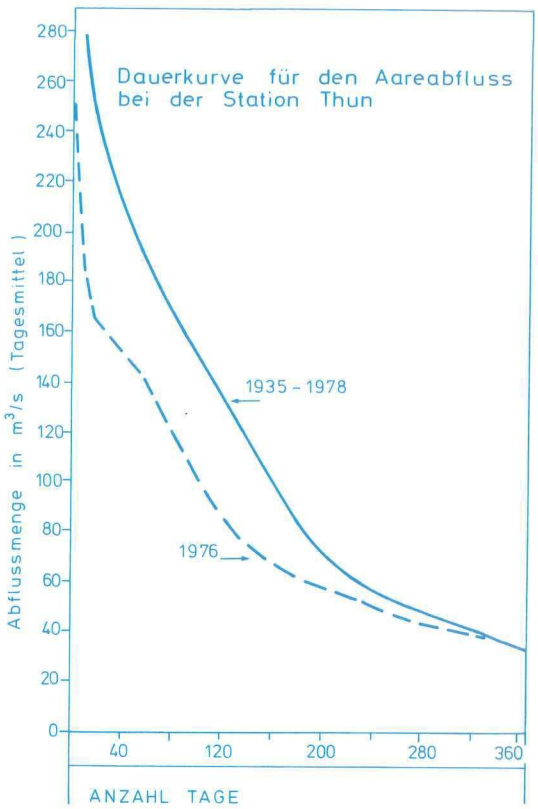
* inkl. Grundwasseranteil

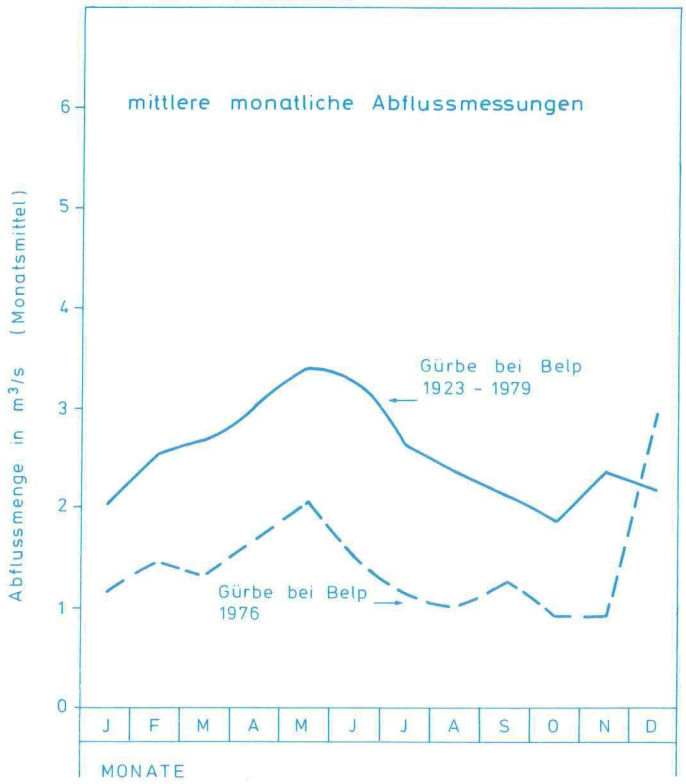
Das jahreszeitliche Abflussregime der Aare stimmt nur grob mit der Niederschlagsverteilung überein, d.h. Hochwasser während den Sommermonaten und Niederwasser zwischen Oktober und März.

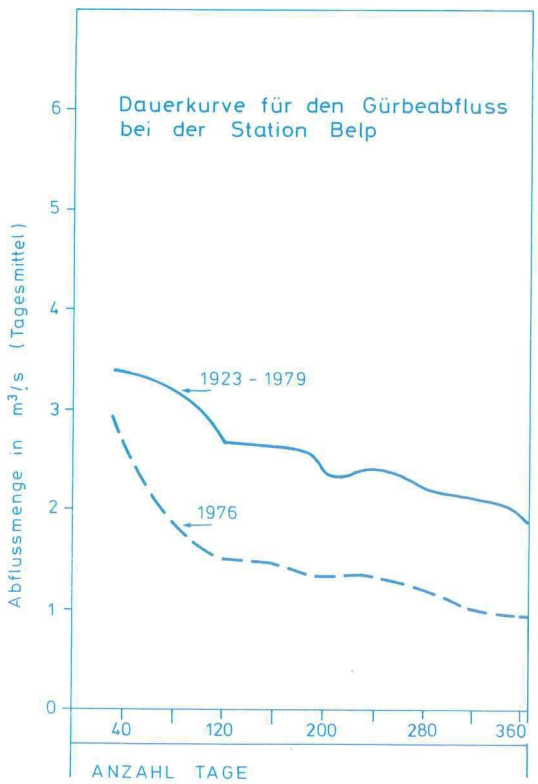
Dank der natürlichen Abflussdämpfung durch den Thuner- und Brienzersee, die durch die künstliche Seeregulierung noch verstärkt wird, wirken sich extreme monatliche Witterungsbedingungen meist nur schwach auf das saisonale Abflussverhalten der Aare aus. So hatte z.B. der extrem trockene Juni 1976, der ca. 65 % unter dem langjährigen Juni-Niederschlagsmittel lag (MZA Thun), nur eine entsprechende Abflussreduktion von ca. 25 % zur Folge (Fig. 3.1). Infolge des grossen und hochgelegenen Einzugsgebietes der Aare (ab Station Thun 2490 km^2 mit 1760 m ü.M. mittlere Höhe) fällt ein grosser Teil der Schneeschmelze in die frühen Sommermonate und überlagert sich mit dem Beginn der niederschlagsreichen Sommerperiode. Dies bewirkt z.B. weitgehend, dass der Aareabfluss im Mai im langjährigen Mittel gut 30 % grösser ist als im September (Tabelle 3.4), obwohl die mittlere Niederschlagssumme im Mai praktisch identisch derjenigen des Septembers ist (Tabelle 3.2). Dieser Unterschied zwischen Abfluss und Niederschlag wäre noch grösser ohne die ausgleichende Wirkung der Stauseen im Oberhasli.

3.1. Abflussregime der Aare und Gürbe







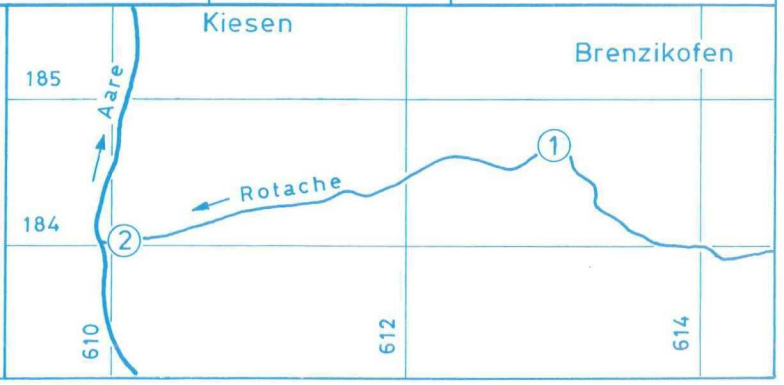


3.2. Rotacheinfiltration bei Kiesen, Differenzmessungen des Abflusses mittels Tauchstab

Datum	Brenzikofen ①	Mündung ②	Differenz	Randbedingung
15.8.78	660 l / sec.	600 l / sec.	- 60 l / sec.	Mittelwasser
16.11.78	150 l / sec.	90 l / sec.	- 60 l / sec.	extremes Niederwasser
14.8.79	185 l / sec.	95 l / sec.	- 90 l / sec.	Niederwasser
30.1.80	710 l / sec.	690 l / sec.	- 20 l / sec.	Mittelwasser

Abflussmessungen an der Rotache

Tauchstabmessungen



Infolge der Flusslaufregulierung, des mittleren Gradienten von ca. 2 ‰ und der beträchtlichen Hochwasser vermag die mit der hohen Fliessgeschwindigkeit verbundene Geschiebeführung die Flussohle immer wieder aufzureissen. Bei einem mittleren Wasserstand variiert die Fliessgeschwindigkeit der Aare zwischen Thun und Bern etwa zwischen 1,0 und 2,2 m/s; die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt ca. 1,5 m/s (siehe auch Fig. 4.8). Demnach dürfte der Geschiebetrieb bei mittlerem Abfluss Gerölle bis etwa 5 cm Durchmesser umfassen, stellenweise, insbesondere bei Flusskrümmungen, auch bedeutend grössere. Die vorwiegend aus Kies bestehende Flussohle ist somit, insbesondere bei grösseren Abflüssen, ständig in Bewegung, was eine Kolmatierung weitgehend unterbindet. Dadurch bleibt eine intensive Wechselwirkung der Ex- und Infiltration zwischen Grund- und Flusswasser bestehen. Bezeichnenderweise folgt der Grundwasserspiegel im Aaretal weitgehend den Aarespiegelschwankungen, insbesondere in ausgeprägten Infiltrationsgebieten (Kapitel 4, Fig. 4.2).

Das Abflussverhalten der Aarezuflüsse wird weitgehend durch das Niederschlagsgeschehen und durch Tauwetterperioden bestimmt. Selbstverständlich sind daneben die Eigenschaften der Einzugsgebiete (u.a. Geometrie, Lage, Morphologie, Bodenbeschaffenheit und Vegetation) von ausschlaggebender Bedeutung. Im allgemeinen zeigen die Zuflüsse im Aaretal eine Infiltrationstendenz, die bei der Rotache durch Abflussmengen, speziell bei Niederwasser, eindeutig nachgewiesen werden konnte (Fig. 3.2). Der Grundwasseranteil ist jedoch, gemessen am gesamten Oberflächenwasserzufluss, eher bescheiden und kann kaum die Bedeutung einnehmen, die MUELLER und LUGINBUEHL (1975) mit Hilfe einer hydrologischen Bilanzierung nachzuweisen versuchten (siehe auch Kapitel 5.7).

Von besonderer Bedeutung sind die verschiedenen Giessen, Altwasserläufe der Aare, die jedoch nicht zu den reinen Oberflächenwasserzuflüssen gerechnet werden können (vgl. Kapitel 4.2).

3.4. Verdunstung

Da der Verdunstungsermittlung zu viele Unsicherheiten anhaften, als dass damit bilanzmässig mit einiger Verlässlichkeit auf den Grundwasserabfluss geschlossen werden könnte, wird nicht näher auf sie eingegangen. Vollständigkeitshalber seien jedoch einige durch MUELLER und LUGINBUEHL (1975) nach der Formel vor. PRIMAULT berechnete partielle Verdunstungswerte angegeben. Für das Einzugsgebiet der Aare zwischen Thun und Bern (495 km^2, mittlere Höhe 810 m ü.M.) wurden für die drei hydrologischen Jahre 1971 - 74 eine mittlere Verdunstungshöhe von 478 mm resp. 43,3 % des Niederschlags ermittelt. Für das Gebiet der Gürbe (bis Abfluss-Station Stockmatt bei Belp, 124 km^2, mittlere Höhe 800 m ü.M.) lauten die entsprechenden Werte 478 mm und 44,1 %. Für die Einzugsgebiete der Zulg, Rotache, Chise und Glütschbach (mittlere Höhe der Einzugsgebiete: 770 - 1130 m ü.M.) variiert der Verdunstungsanteil zwischen 34,3 und 45,1 %.

4. HYDRAULISCHE WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN AARE UND GRUNDWASSER

4.1. Allgemeine Beziehungen

4.1.1 Uebersicht

Einen Ueberblick über die langzeitigen Spiegelschwankungen (1976 - 79) vermittelt Figur 4.1. Folgendes charakteristisches Verhalten kann daraus entnommen werden:

- Infolge der Seeregulierung reagieren die Aare und der Grundwasserspiegel (Piezometer Thun bis Oberwichtrach) nicht konform zu den Niederschlägen.
- Der mehr oder weniger parallele Verlauf der Ganglinien der Aare und der Piezometer zwischen Thun und Heimberg.
- Die sehr geringen Grundwasserspiegel-Amplituden im Gebiet Münsingen - Belp, die teilweise unabhängig von den Aarespiegelschwankungen verlaufen.
- Das unabhängige Abflussregime der Gürbe, das die Piezometer im Belpmoos (Hüenerhübeli, Grossenbacher) nur schwach zu beeinflussen vermag.

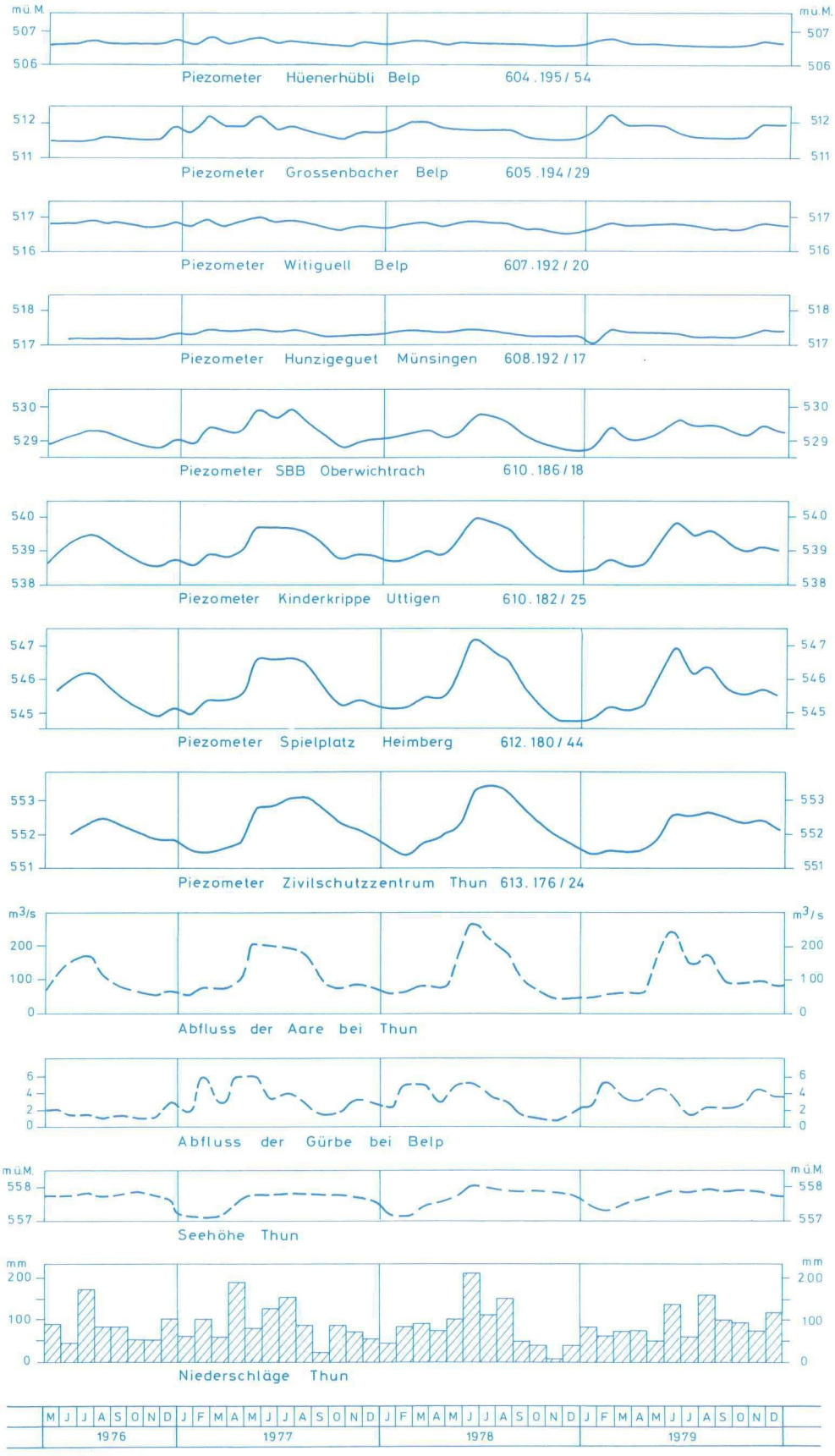
Aus den Beilagen 3 sind die allgemeinen In- und Exfiltrationsverhältnisse entlang der Aare ersichtlich. Während die dargestellten Grundwasserisohypsen einen höheren Mittelwasserstand (19. - 21.11.79) darstellen, geben die mit Pfeilen angegebenen In- und Exfiltrationstendenzen die Verhältnisse bei allen Wasserständen wieder. Dabei bedeuten die Doppelpfeile auf der rechten Aareseite zwischen Kiesen und Niederwichtrach sowie auf der Höhe von Münsingen und Muri, dass während Aarehochwasser die In- und während Niederwasser die Exfiltration vorherrschend sind. In der Figur 4.2 sind die durch die Aare beeinflussten In- und Exfiltrationsbereiche (oder Staubereiche) im Aaretalgrundwasserstrom dargestellt. Dabei wurde auch die Beeinflussung durch den Thunersee berücksichtigt. Zudem wurden die durch die Aare provozierten Niveauschwankungen angegeben, die jedoch nicht mit den maximalen Grundwasserspiegelschwankungen zu verwechseln sind (Einfluss von Niederschlägen). Bemerkenswert sind u.a. die ausgedehnte Ueberlagerung zwischen Infiltrations- und Staubereich sowie der stromabwärts abnehmende laterale Einfluss der Aare (siehe 4.1.3.).

Der Grundwasserspiegel befindet sich aufgrund sämtlicher Messungen in unmittelbarer Nähe der Aare jeweilen über dem Flussbett oder im Bereich desselben, so dass praktisch auf der gesamten Strecke zwischen Thun und Bern eine direkte hydraulische Verbindung zwischen Aare und Grundwasser bestehen muss, d.h. es dürften keine namhaften perkolativen In- und Exfiltrationen vorkommen.

4.1.2 Fortpflanzung von Druckwellen

Zwischen der Aare und dem Grundwasserstrom findet infolge der angeschlossenen Infiltration ein ständiger Druckausgleich statt. Jede Niveauänderung des Aarespiegels bewirkt eine Druckwelle im Grundwasserleiter, die sich gemäss Beobachtungen an den Limnigraphen mit einer Geschwindigkeit von 500 - 1500 m/Tag

4.1. Grundwasserspiegel- und Abflussganglinien der Monatsmittel (März 1976 bis Dezember 1979)



fortpflanzt. Dabei spielt es im Gegensatz zu den Oberflächengewässern keine wesentliche Rolle, ob die Druckwelle durch einen Pegelanstieg oder Pegelrückgang hervorgerufen wird. Der Grundwasserspiegel reagiert in beiden Fällen etwa gleich rasch. Nachstehende Tabelle 4.1 illustriert die Reaktion einiger Grundwasser-Limnigraphen auf die Aareregulierungen in Thun, die im allgemeinen schlagartige Niveauveränderungen der Aare zur Folge haben. Diese machen sich je nach Wasserstand in 3 - 4 Stunden bei der Station Bern-Schönau bemerkbar, eine Verzögerung, die in der Tabelle berücksichtigt worden ist.

Ein ähnlicher Druckausgleich findet auch mit dem Thunersee statt.

Tabelle 4.1: Fortpflanzung hydraulischer Druckwellen im Grundwasser, die durch Niveauschwankungen der Aare verursacht wurden.

Limnigraph	1)	2)	3)	4)
Auwald Niederwichtrach	15 m	20 - 50 m	< 1 Std	Ex. u. In.
Schützenhaus Uetendorf	40 m	100 - 150 m	< 1 Std	vorw. Ex.
Kinderkrippe Uttigen	280 m	300 - 350 m	4 - 6 Std	Ex.
Schlachthaus Uetendorf	380 m	500 - 600 m	4 - 6 Std	Ex. u. In.
Tannenhof Kiesen	460 m	600 - 700 m	6 - 9 Std	In.
Schulhaus Steffisburg	620 m	1 - 1,2 km	20 - 25 Std	vorw. Ex.

1) Entfernung zum Aareufer
2) approx. Fliessdistanz
3) Reaktionszeit (Verzögerung auf Aarespiegelschwankungen)
4) Exfiltrations- (Stau-) oder Infiltrationsbereich

4.1.3 Amplituden

Je nach den Untergrundverhältnissen, dem hydraulischen Gefälle und der Distanz zur Aare variieren die durch den Pegelstand des Flusses verursachten Schwankungen des Grundwasserspiegels. Diese werden natürlich auch durch das lokale Niederschlagsgeschehen beeinflusst, was sowohl für die Aare wie für das Grundwasser zutrifft. Indessen kann an Hand von Aarehochwässern, infolge Schneeschmelze in hoch gelegenen Einzugsgebieten während niederschlagsarmen Perioden, die hydrodynamische Abhängigkeit deutlich demonstriert werden. Zu diesem Zweck wurde die Periode vom 1. - 25. Mai 1979 ausgewählt. Die Niederschlagsmessstation der MZA Thun verzeichnete, abgesehen von den Niederschlägen am 2. (12,5 mm) und 24. Mai (9,4 mm), nur Regenhöhen < 5 mm/Tag, wobei während 20 Tagen insgesamt lediglich 16,7 mm fielen. Durch die Aareregulierung stieg indessen der Aarepegel während dieser Trockenzeit (9. - 21. Mai) bei der Abflussmessstation Thun um 2,25 m und bei der Station Schönau-Bern

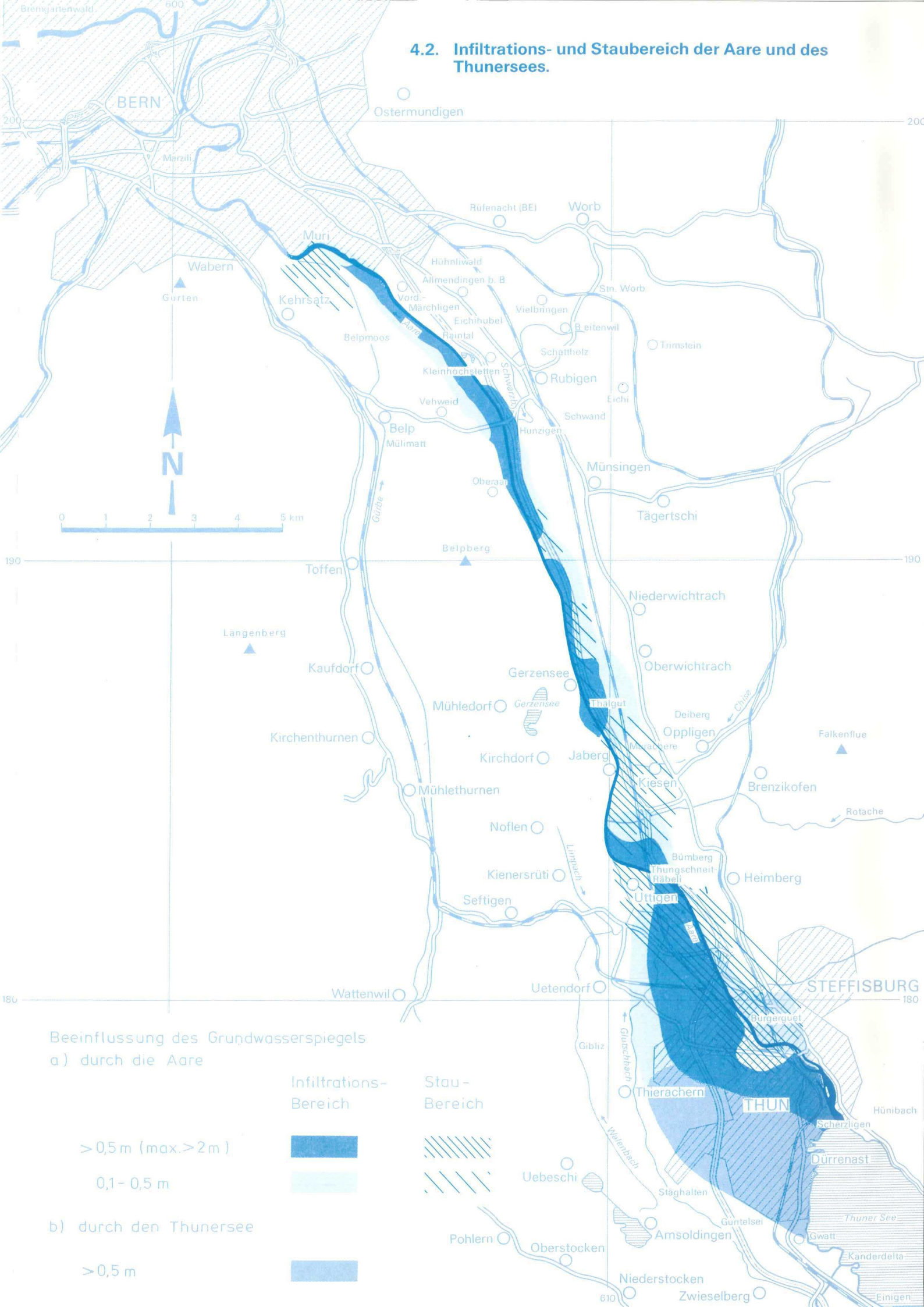
um 1,50 m. Die Auswirkung dieser langsam ansteigenden "Hochwasserwelle" auf das Grundwasser ist aus Figur 4.3 ersichtlich. Die grösste Amplitude mit 2.1 m konnte bei der Grundwassermessstation Schützenhaus Uetendorf festgestellt werden. Im allgemeinen nimmt die Amplitude mit zunehmender Distanz zur Aare ab. Im Gebiet von Thierachern ist sie, in einer Entfernung von ca. 2 km, immer noch > 0,5 m und am Rand des Grundwasserleiters bei Heimberg beträgt sie mindestens 1,5 m. Infolge des geringer werdenden Aarespiegelanstieges (breites Flussbett) und der dämpfenden Einwirkung der Giessenläufe, nimmt der durch die erhöhte Wasserführung der Aare provozierte Grundwasseranstieg unterhalb Kiesen deutlich ab. Nur noch ein schmales Band von ca. 0,5 - 1,0 km Breite mit einer Amplitude von 0,1 - 1,0 m folgt der Aare. - Während derselben Periode stieg der Thunersee um knapp 0,4 m, was einen entsprechenden Grundwasserspiegelanstieg im Raum Dürrenast-Allmendingen zur Folge hatte.

Mit jeder Niveauveränderung findet nicht nur ein Druckausgleich sondern auch eine Veränderung der In- und Exfiltrationsvorgänge statt, wobei z.B. der langandauernde Anstieg der Aare im Mai 1979 von einem entsprechenden Auffüllvorgang des Grundwasserleiters begleitet ist. Jede Druckveränderung verursacht einen mehr oder weniger proportionalen Massentransport, der jedoch entsprechend der Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers im Aaretal (Kapitel 5.5) etwa 20 - 100 mal langsamer als die hydraulische Druckwelle vor sich geht.

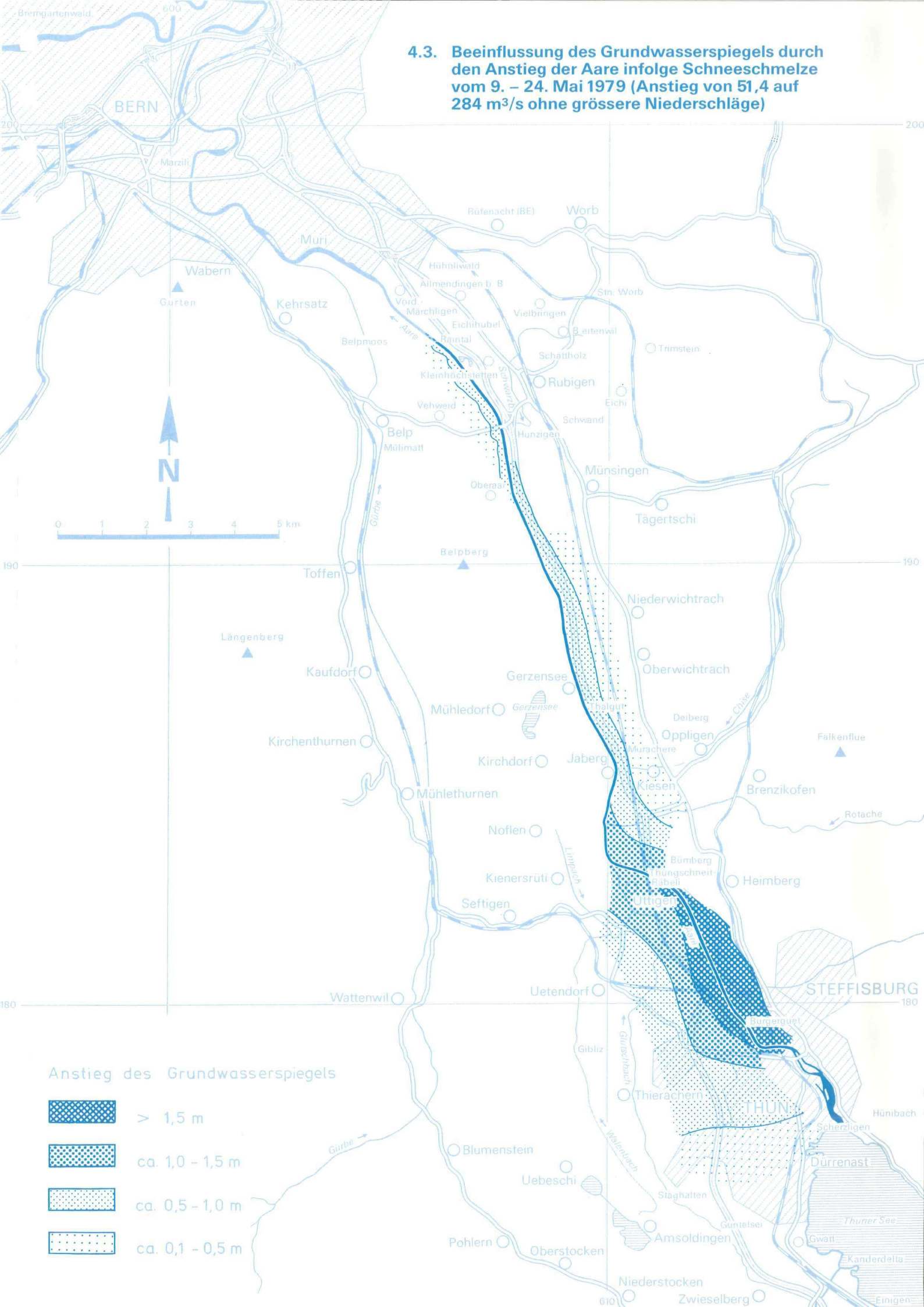
Die in der Figur 4.4 dargestellten Ganglinien zeigen detailliert den Verlauf des Niveauanstieges und die Abhängigkeit zwischen Aare- und Grundwasserspiegel während des erwähnten Zeitabschnittes. Die durch die täglichen Schleusenregulierungen verursachten Pegelveränderungen werden mit einer geringen Verzögerung (Tabelle 4.1) auf den Grundwasserspiegel übertragen. Dies kommt besonders deutlich bei der Station Schützenhaus Uetendorf zum Ausdruck (Distanz 40 m zur Aare), wo die Amplitude nur eine geringe Dämpfung erfährt. Demgegenüber lässt die Station Steffisburg (Distanz 620 m zur Aare) die täglichen Schwankungen der Aare nur noch teilweise und sehr schwach mit der entsprechenden Verspätung erkennen. Im allgemeinen sind tägliche Niveauschwankungen der Aare von 0,15 - 0,2 m im Raum Thun - Kiesen bis zu einer Flussentfernung von etwa 500 m erkennbar. Unterhalb Kiesen sind sie nur noch zwischen der Aare und den Giessenläufen zu beobachten. So zeigt z.B. die Station Witigüll (Distanz zur Aare ca. 300 m) überhaupt keine Reaktion. Sogar der langzeitige Niveauanstieg im Mai wird vom Giessensystem praktisch vollständig aufgefangen. Ein ähnliches Verhalten zeigt die 250 m von der Aare entfernte Station Flugplatz Belp (Figur 4.5).

Wie die anderen Ganglinien der Figur 4.5 zeigen, folgt der Grundwasserspiegel im Belpmoos in keiner Weise dem Abflussregime der Aare. Auch eine direkte Abhängigkeit zur stark kolmatierten Gürbe ist nicht erkennbar. In diesem Gebiet dürfte das Niederschlagsgeschehen und das im Zusammenhang mit Meliorationen errichtete Drainagesystem den dominierenden Einfluss auf die Grundwasserspiegel-Lage haben. Bemerkenswert ist das Abflussregime der Gürbe, das einerseits die Niederschläge anfangs Mai widerspiegelt, andererseits jedoch mit einer Verzögerung von etwa 8 Std. (Station Belp) die tägliche Schneeschmelze im Gantrischgebiet mit regelmässigen Niveauschwankungen von ca. 6 - 10 cm anzeigt, jedoch ohne sichtliche Beeinflussung des Grundwasserspiegels.

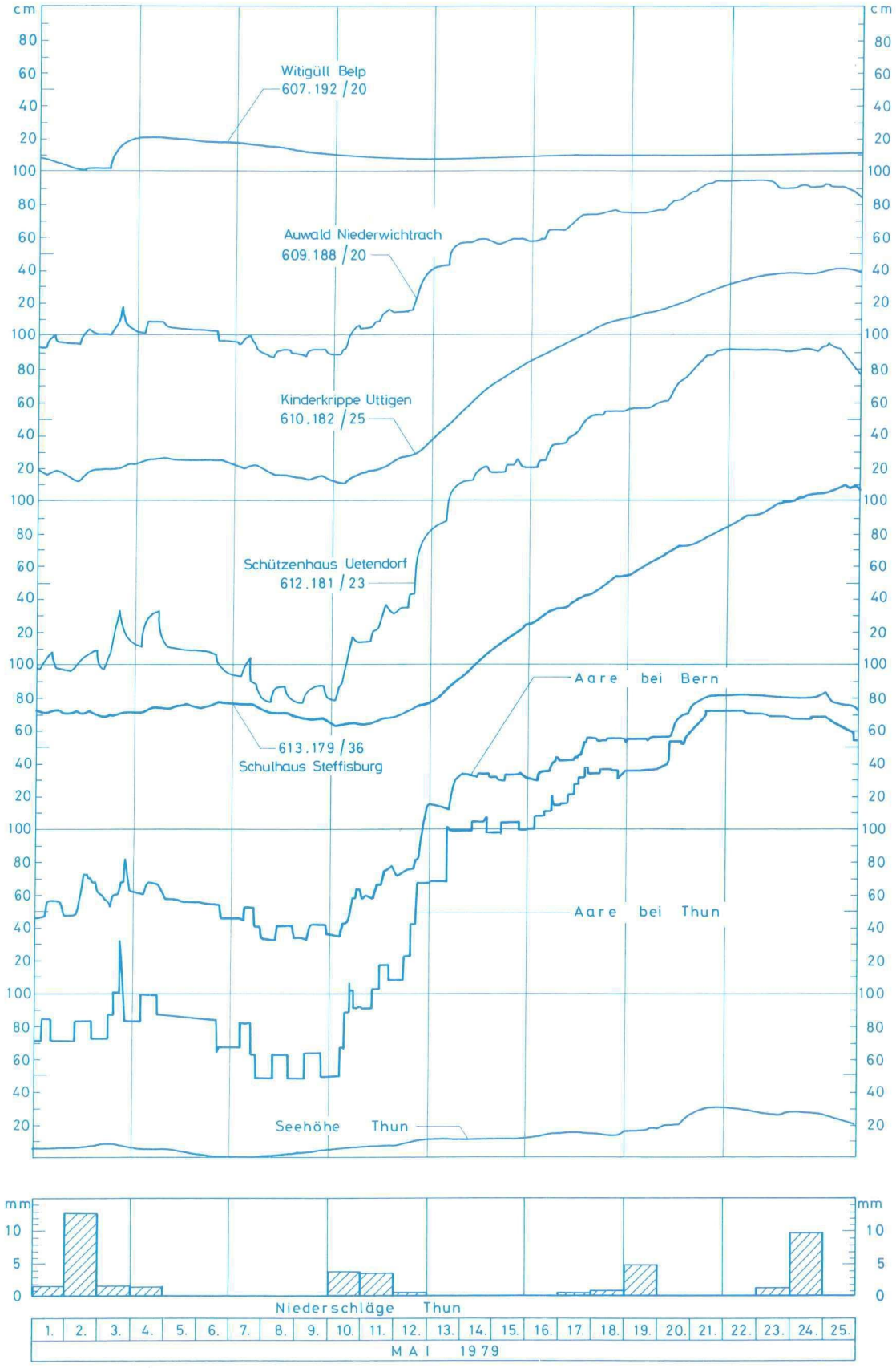
4.2. Infiltrations- und Staubereich der Aare und des Thunersees.



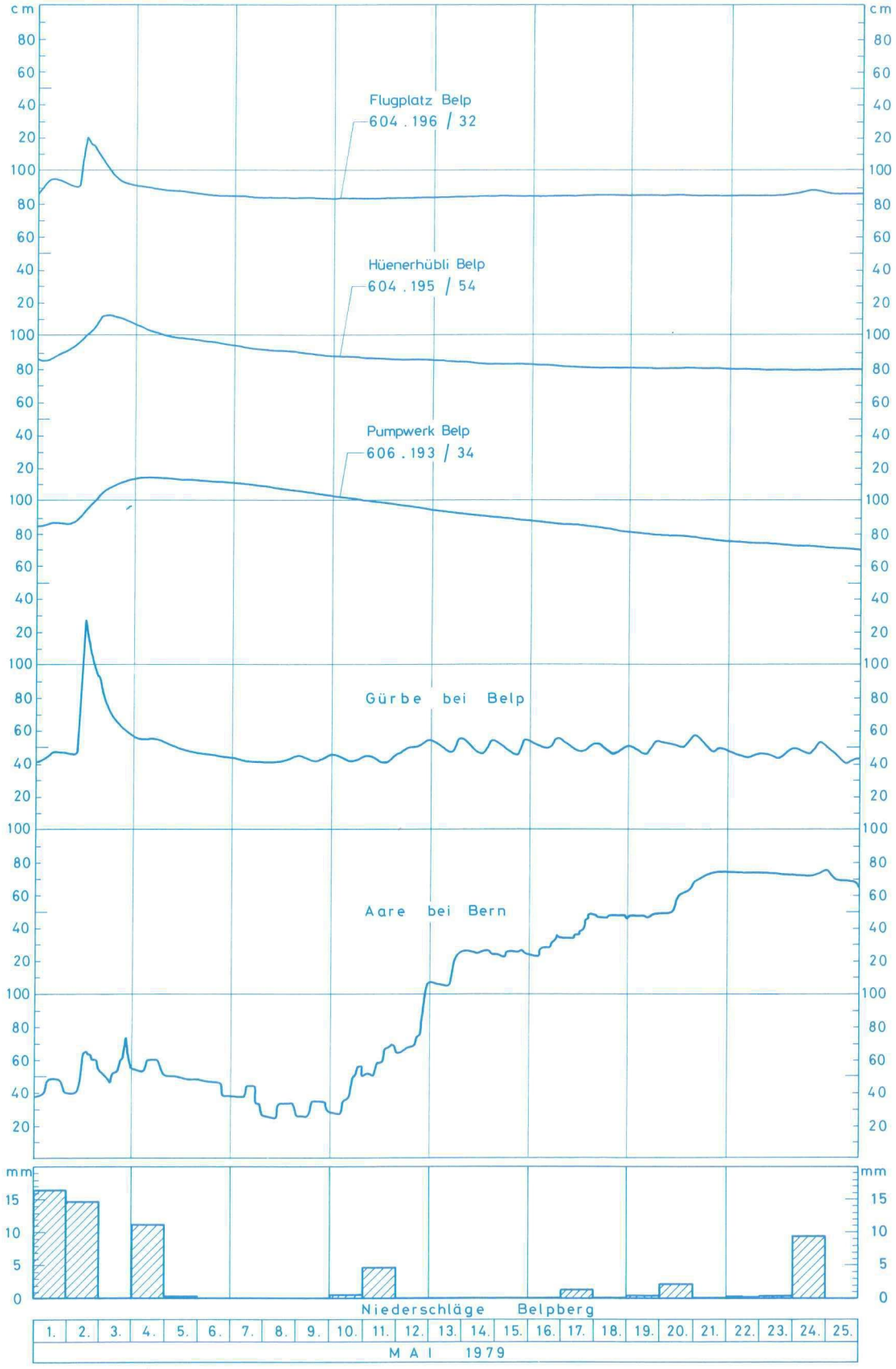
4.3. Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch den Anstieg der Aare infolge Schneeschmelze vom 9. – 24. Mai 1979 (Anstieg von 51,4 auf 284 m³/s ohne grössere Niederschläge)



4.4. Ganglinien der Aare, des Thunersee- und Grundwasserspiegels im Mai 1979, Beziehungen zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasserspiegelschwankungen von Thun bis Belp



4.5. Ganglinien der Aare und Gürbe sowie des Grundwasserspiegels im Mai 1979, Beziehungen zwischen Oberflächenwasser- und Grundwasserspiegelschwankungen im Gebiet von Belp



4.1.4. In- und Exfiltration

Die In- und Exfiltrationsmenge wird vor allem bestimmt durch die Druckdifferenz (hydraulischer Gradient), die Transmissibilität (Mächtigkeit x hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert) des Grundwasserleiters, die Fläche (benetzter Umfang x Flussstrecke) und Durchlässigkeit der Flussohle und die Wassertemperatur. Infolge des schwankenden Fluss- und Grundwasserspiegels und der Erosions- und Kolmatierungsvorgänge im Flussbett verändern sich all diese Parameter laufend. Demzufolge schwankt der Wasseraustausch dauernd und ist auch nicht bei gleichbleibenden Wasserspiegeln konstant.

Da der Grundwasserleiter im Talabschnitt von Muri bis Bern nur noch rudimentär ausgebildet ist und der Grundwasserdurchfluss z.B. im Eichholz vernachlässigbar klein ist, gelangt das stromaufwärts infiltrierte Fluss- und Seewasser, samt dem versickernden Niederschlag und den seitlichen Grundwasserzuflüssen, beinahe vollumfänglich wieder in die Aare. Gesamthaft gesehen, herrscht demnach die Exfiltration vor. Durch das Giessensystem zwischen Niederwichtrach und Selhofen wird diese indessen zu einem grossen Teil aufgefangen, so dass der landwärts liegende Grundwasserleiter nicht (zwischen Niederwichtrach und Hunzigenau) oder nur vermindert (zwischen Hunzigenau und Selhofen) alimentiert wird. Zusammengefasst müssen namentlich folgende Vorgänge festgehalten werden, die die hydraulische Wechselwirkung zwischen der Aare, beziehungsweise dem Thunersee und dem Grundwasser beeinflussen:

- Die dauernde und direkte Infiltration von Thunerseewasser
- Das versickernde Niederschlagswasser, das über den Grundwasserleiter in die Aare exfiltriert
- Die massive Exfiltration beim einseitigen Auskeilen des Grundwasserleiters (Bümberg, Belpberg) sowie am Ende des Grundwasserleiters (Muri-Selhofen)
- Die mehrheitliche Infiltrationstendenz der seitlichen Zuflüsse, vor allem im Mündungsgebiet (z.B. Zulg, Rotache, Chise)
- Die "Exfiltration" der Giessen, d.h. die Rückführung des durch die Giessen aufgefangenen Aareinfiltrats
- Die durch die künstliche Grundwasserentnahme induzierte Infiltration von Aarewasser (z.B. die Fassungen WV Bern bei Kiesen).

4.2. Das intermediäre System der Giessen

Ein System von Altwasserläufen (innere und äussere Giesse) begleitet die Aare auf der rechten Seite von Oberwichtrach (Gebiet Mälchplatz) bis nach Allmendingen - Kleinhöchstetten und auf der linken von der Hunzigenau bis zur Einmündung der Gürbe bei Kehrsatz. Sie werden vorwiegend durch Grundwasseraufstösse gespiesen, die weitgehend durch Aareinfiltrat (bei der inneren Giesse aber auch von Hangwasser) alimentiert werden. Daneben nehmen die Giessen alle der Aare zufliessenden Oberflächenwässer und Drainagewässer auf. Mit wenigen lokalen Ausnahmen sowie bei Niederwasserstand der Aare (z.B. Giesse bei Münsingen und Niederwichtrach: Profile 8 und 9, Figur 4.7) liegt der Wasserspiegel der Giessen immer deutlich unter dem Aarespiegel.

Sie stellen ein Drainagesystem dar, das den Grundwasserspiegel im benachbarten Talboden stabilisiert, d.h. auch bei Hochwasser der Aare nur wenig ansteigen lässt. Ohne dieses Giessensystem wären die Talauen während Hochwasserperioden der Aare überschwemmt, da der Grundwasserleiterquerschnitt bei praktisch gleichbleibendem hydraulischen Gradient das anfallende Wasser in keiner Weise abzuführen vermöchte, was im Belpmoos wahrscheinlich eine permanente Versumpfung oder Ueberschwemmung zur Folge hätte (Fig. 4.6).

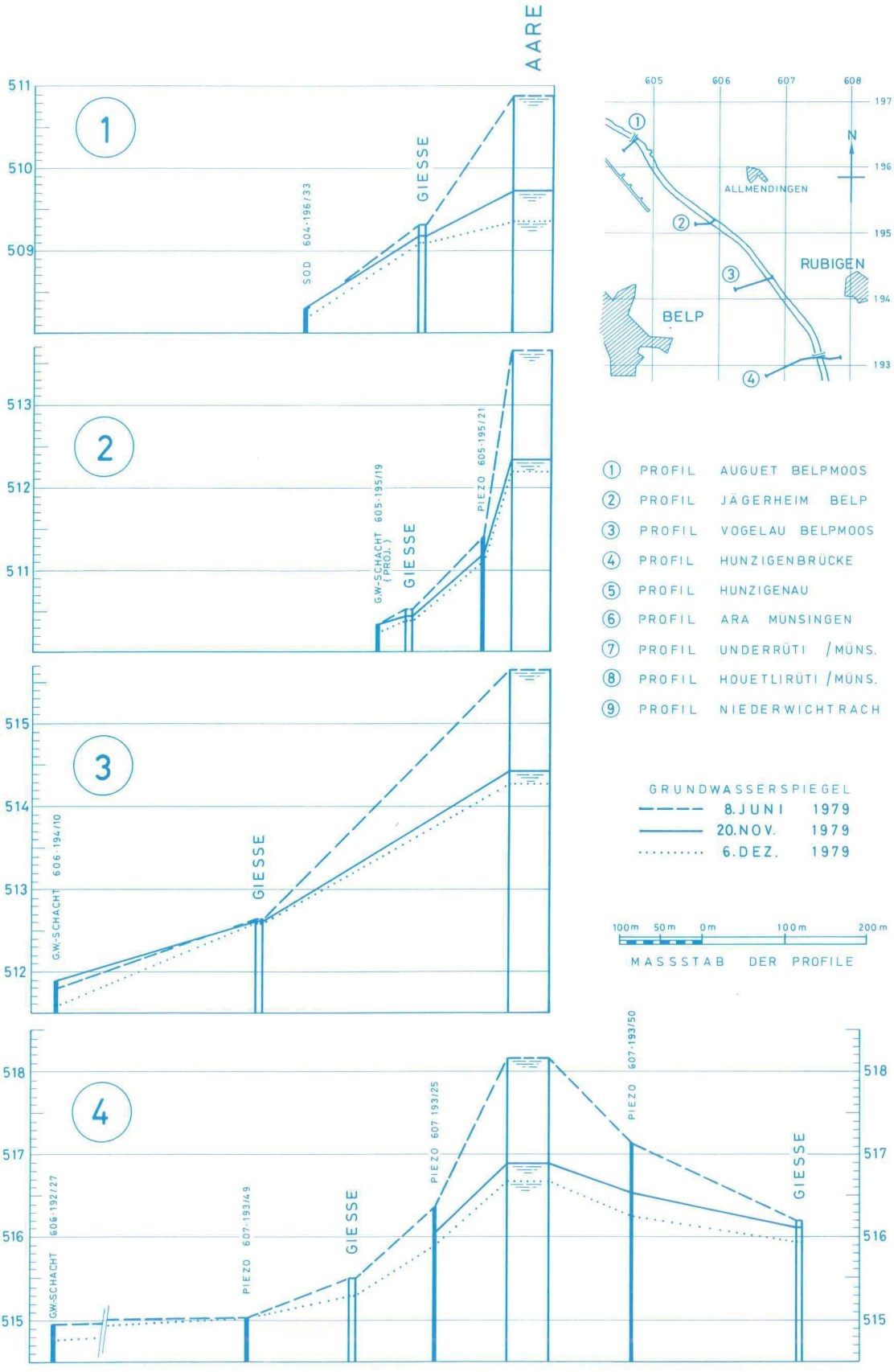
Da die Giessen, wie erwähnt, vor allem über den Grundwasserleiter von Aareinfiltrat gespiesen werden, ist ihr Abflussregime sehr gedämpft. Wie aus den Figuren 4.6 und 4.7 entnommen werden kann, übersteigen die Spiegelschwankungen, die sich auch im Grundwasserleiter gegen die Talränder hin fortpflanzen, selten den dm-Bereich.

Gemäss den Abflussmessungen durch MUELLER und LUGINBUEHL (1975) betrug der mittlere Abfluss der linksufrigen Giessen während den hydrologischen Jahren 1972/73 und 1973/74 bei der Hunzigenbrücke ca. 0,18 m^3/s und beim Zopfen vor der Einmündung in die Aare ca. 1,03 m^3/s. Die diesbezüglichen monatlichen Minima und Maxima betrugen bei der Hunzigenbrücke 0,083 m^3/s und 0,37 m^3/s, beim Zopfen 0,47 m^3/s und 1,67 m^3/s. Der mittlere monatliche Schwankungsbereich entspricht damit proportional etwa demjenigen der Aare; die Wasserstandsganglinien beider Gewässer verlaufen denn auch weitgehend parallel zueinander.

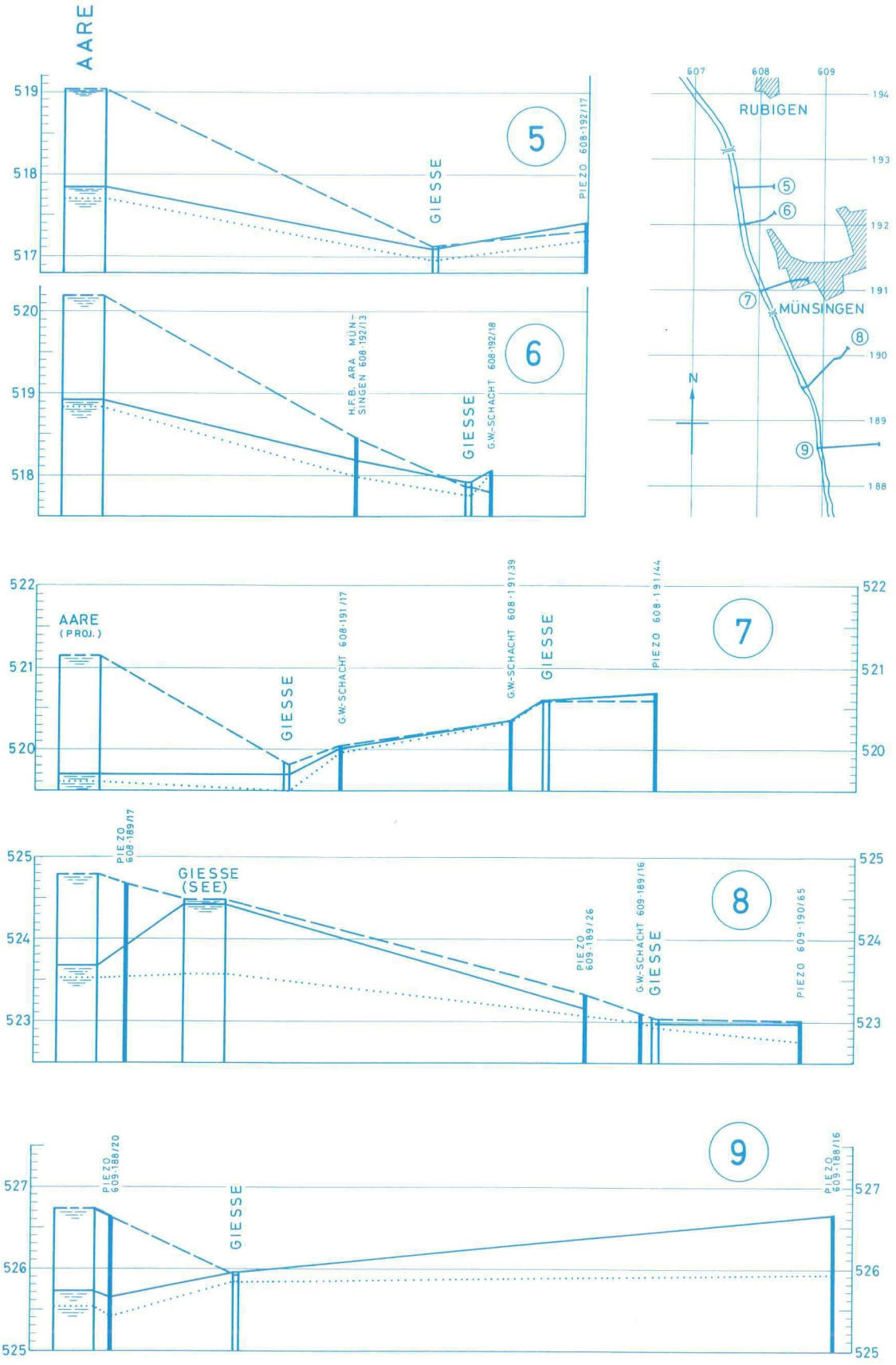
Da die linksseitige Giesse im allgemeinen einen höheren Wasserstand aufweist als das landwärts liegende Grundwasser (Fig. 4.6) und der einzige Oberflächenwasserzufluss nur von einigen kleineren Bächen aus der östlichen Flanke des Belpberg stammt, beträgt der Anteil des Aareinfiltrats bis zur Hunzigenbrücke mindestens 80 % des Giessenabflusses. Weiter stromabwärts dürfte die Giesse ausschliesslich Aareinfiltrat führen. Infolge der geringen Grundwasserleitermächtigkeit (ca. 3 - 6 m), der tiefgreifenden Drainagewirkung der Giessen (welche die Bachbettiefe um ein Mehrfaches übersteigt) sowie der beschränkten talparallelen Abflusskapazität des Grundwasserleiters (Kapitel 5.7), fängt die Giesse bis zum Jägerheim praktisch das gesamte Aareinfiltrat auf und gibt selbst sehr wenig Wasser an den Grundwasserleiter ab. Stromabwärts bis zum Zopfen jedoch infiltriert ein beträchtlicher Anteil Aarewasser ins Grundwasser, wahrscheinlich grösstenteils nicht direkt, sondern über die Giesse (vgl. Kapitel 4.3). Nimmt man die obigen Abflussmessungen als Basis und berücksichtigt die geförderten Mengen von Aareinfiltrat durch die verschiedenen Pumpwerke im Zopfen, so beträgt die gesamte linksseitige Aarewasserinfiltration zwischen Schützenfahrbrücke bei Münsingen und Zopfen durchschnittlich etwa 0,1 - 0,15 m^3/s pro km Aarelauf.

Aufgrund der Untersuchungen von MUELLER und LUGINBUEHL (1975) betrug der Gesamtabfluss der rechtsseitigen Giesse für das hydrologische Jahr 1973/74 im Mittel bei der Hunzigenau 0,84 m^3/s (monatliche Extremwerte: 0,53 und 1,39 m^3/s). Davon flossen ca. 25 % aus dem Grabenbach (Münsingen) und Mühlebach (Hunzigenau) zu. Da zuverlässige Abluss-Differenzmessungen fehlen, lässt sich der rechtsseitige Infiltratsverlust der Aare pro Flussabschnitt kaum abschätzen.

4.6. Querprofile mit verschiedenen Wasserständen im Bereich der Giessen zwischen Belpmoos und Hunzigenbrücke



4.7. Querprofil mit verschiedenen Wasserständen im Bereich der Giessen zwischen Hunzigen und Oberwichtrach



4.3. Spezifische Infiltrationsstudien

4.3.1. Färbversuche in der Aare

Um das Infiltrationsgeschehen entlang der Aare genauer erfassen zu können, wurde ein Grossfärbversuch in der Aare durchgeführt (vgl. WEA-Zwischenbericht 1978, Aaretal). Dabei war man sich jedoch von Beginn an der Problematik einer derartigen Untersuchung bewusst, insbesondere der grossen Verdünnungen, der langen Fliesswege im Grundwasserleiter mehr oder weniger parallel zur Aare, der Sorption des Farbstoffes während der Sohlenpassage und in tonig-siltigen Ablagerungen. Deshalb können im vorliegenden Fall nur die positiven Resultate als signifikant betrachtet werden, während ein fehlender Nachweis der Farbe kaum aussagekräftig ist. Die Ergebnisse müssen vor allem mit den Isotopenuntersuchungen verglichen werden (Kapitel 4.3.2.).

Am 19.5.1978 wurden insgesamt 250 kg Fluorescein an zwei Stellen bei Thun in die Aare gegeben (120 kg ins Unterwasser der neuen Scherzligenschleuse bei Thun um 07.15 Uhr während 10 Minuten sowie 130 kg von der Aarebrücke unterhalb der ARA Thun bei Steffisburg um 07.50 Uhr während 11 Minuten). Die Einspeisung erfolgte an zwei Stellen, um die Grundwasserfassungen im Raume Thun nicht wesentlich zu beeinträchtigen. Für die Berechnung der Farbmenge wurde angenommen, dass zwischen Thun und Bern etwa 1 - 4 % des Aareabflusses ins Grundwasser infiltriert und die Nachweisgrenze für Fluorescein in klarem Grundwasser bei ca. 0,02 µg/l liegt. Während des Färbversuchs besass die Aare einen erhöhten Abfluss (am 19.5.: ca. 150 - 220 m^3/s, sodann bis 22.5. konstant ca. 220 m^3/s). Der Grundwasserspiegel zeigte einen mittleren bis leicht erhöhten Stand. Der Zufluss aus den Zwischeneinzugsgebieten lag leicht über dem Mittelwert. Gesamthaft wurden 84 Stellen beobachtet (Aare 8, Gürbe 1, Giessen 11, Grundwasser 64).

Eine Zusammenfassung der Resultate ist aus den Figuren 4.8 und 4.9 ersichtlich. Von der in Thun und Steffisburg eingespiesenen Farbmenge von 250 kg wurde beim Altenbergsteg in Bern während des Durchgangs der Farbwelle mit einer Konzentration von 0,5 µg/l noch 223 kg festgestellt.

Eine einfache Differenzrechnung gibt indessen keine Hinweise auf die Infiltrationsmenge. Die in Bern nicht mehr festgestellte Farbmenge von 27 kg floss entweder in sehr starker Verdünnung nach dem eigentlichen Wellendurchgang ab oder wurde unterwegs durch verschiedene Abbauvorgänge zerstört oder an feste Partikel gebunden. Nur ein Teil dieser Farbmenge infiltrierte effektiv ins Grundwasser.

Im ganzen Giessensystem auf der rechten Aareseite wurden nur unwesentliche Farbspuren festgestellt. Die Giessen links der Aare zeigten eine deutliche Färbung mit einer maximalen Konzentration von 3,1 µg/l.

Die im Grundwasser gemachten Beobachtungen seien nachstehend gebietsweise zusammengefasst (siehe auch Fig. 4.9).

Gebiet Thun - Uttigen:

Insgesamt standen 19 Beobachtungspunkte zur Verfügung. Rechts der Aare konnte bei keiner Stelle Farbstoff nachgewiesen werden, obwohl in einigen beprobten Fassungen dauernd 800 - 2500 l/min. gepumpt wurden. Dagegen wurde anlässlich des Färbversuchs in der Aare vom 20. Juni 1972 (15 kg Fluorescein, Impfstelle: Scheibenstrasse, Thun) bei einer Wasserführung von 141 m^3/s eindeutig Farbstoff in den Fassungen Burgerguet (WV Steffisburg) und Lädeli (WV Heimberg) nachgewiesen (H. FISCHER: 1972, WEA-Dokumentation). Im Gebiet links der Aare waren 6 der 11 zur Verfügung stehenden Beobachtungspunkte positiv. Von den drei Brunnen im Lerchenfeld der WV Thun konnte nur im nahe der Aare liegenden Brunnen (Distanz 90 m) Farbe nachgewiesen werden.

Gebiet Bümberg - Oberwichtrach:

Von den vier Horizontalbrunnen der WV Bern in Kiesen (rechts der Aare) zeigten die Brunnen I (W 95) und II (W 94) schon am 19.5. erste Farbspuren, der Brunnen III (W 93), sprach ca. 30 h nach dem Durchgang der Farbwelle an (Fig. 4.10). Im Brunnen IV (W 92) konnte keine Farbe festgestellt werden. Diese Feststellung entspricht dem Wasserchemismus (Kapitel 5.6), welcher beim Brunnen IV auf einen kleineren Anteil Aareinfiltrat hinweist, als bei den Brunnen I - III.

In den übrigen Beobachtungspunkten rechts der Aare konnte trotz z.T. grossen Wasserentnahmen (Mosterei und ARA Kiesen) keine Farbe nachgewiesen werden, d.h. die Farbkonzentration lag - sofern überhaupt Farbe vorhanden war - unter der Nachweisgrenze. Aufgrund dieser Resultate, wie auch der Hydrochemie (Kapitel 5.6), der Isotopenuntersuchungen (Kapitel 4.3.2) und der Resultate der Grundwasserabsenkung bei der Unterführung Kiesen, muss mindestens zeitweise eine sehr bedeutende Fremdwasserzufuhr (Infiltrat aus Rotache und Chise und/oder unterirdischer Zufluss aus diluvialen Schottern) postuliert werden.

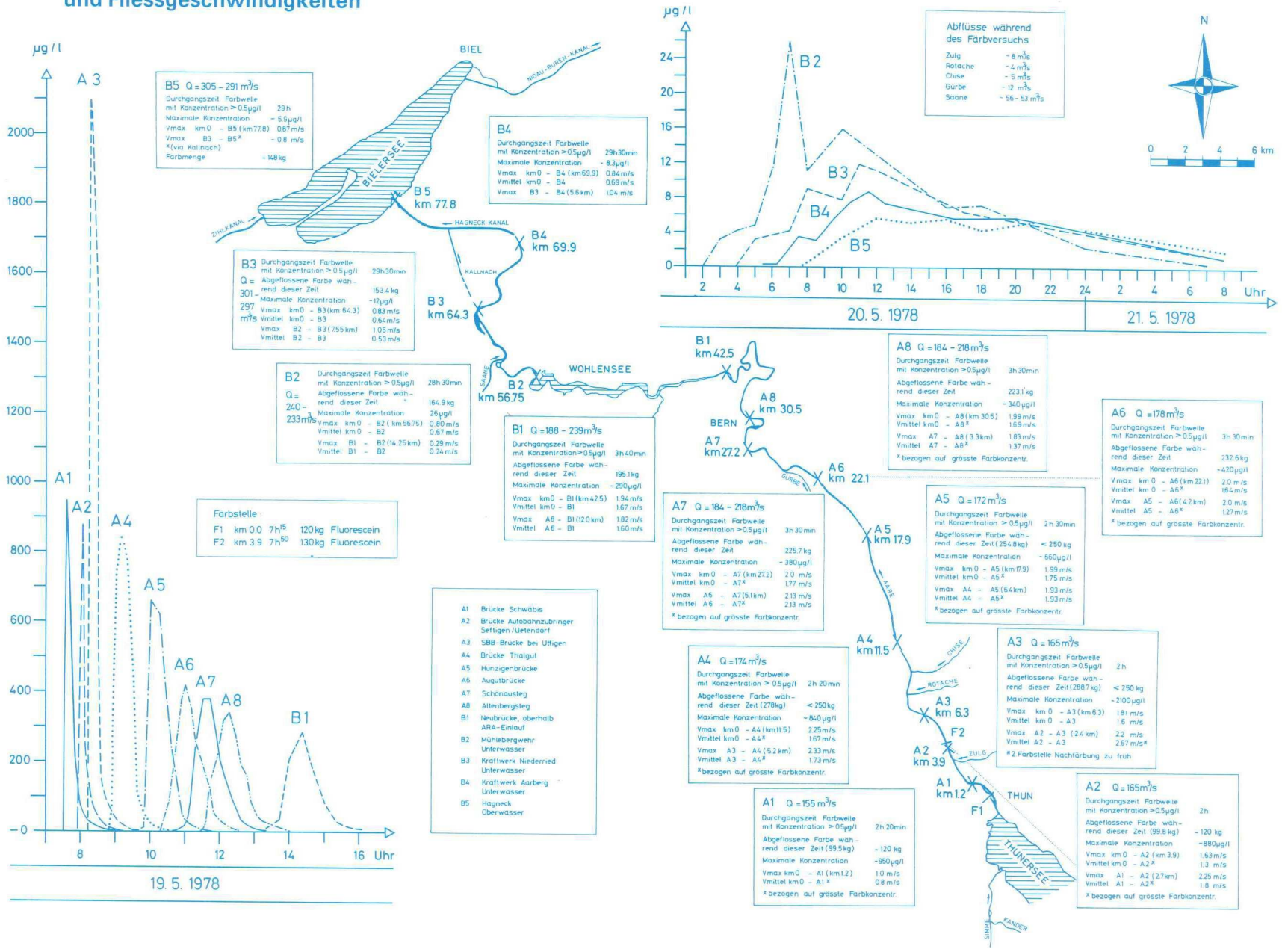
Die einzige Messstelle links der Aare (Thalgutau) zeigte ab 20.5. Farbspuren.

Gebiet Oberwichtrach - Rubigen:

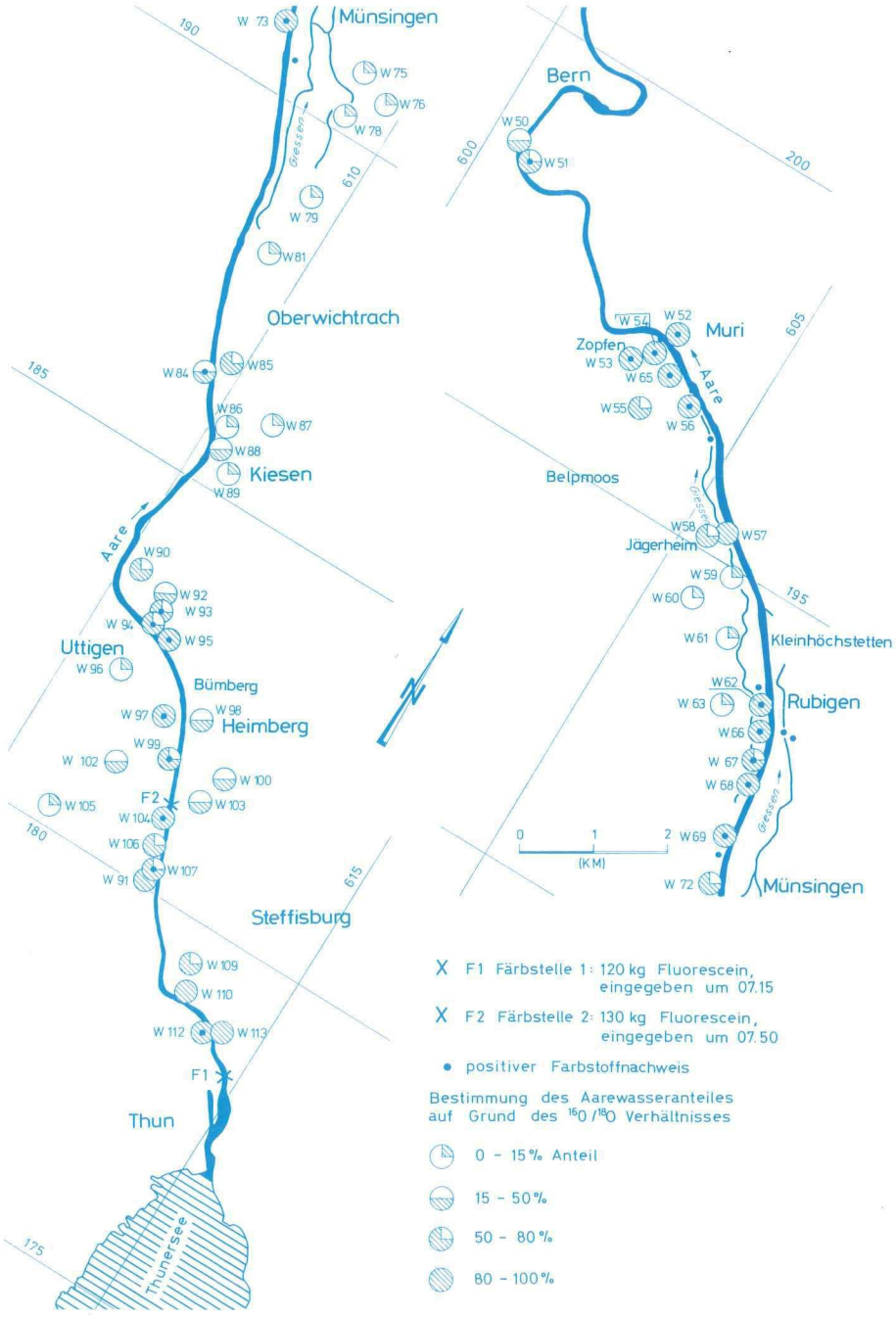
In den 10 Beobachtungsstellen rechts der Aare konnte mit Ausnahme der aarenahen Fassungen W 74 (Versuchsbrunnen WV Münsingen) und W 64 (Schachtbrunnen Fischzucht Rubigen), wo die Infiltration durch die Absenkung des Grundwasserspiegels künstlich erhöht wurde, keine Farbe festgestellt werden, was wiederum mit den Isotopenuntersuchungen (Kapitel 4.3.2.) übereinstimmt. Auch in diesem Talabschnitt muss - neben der Bildung von echtem Grundwasser durch einsickernde Niederschläge - mit einem wesentlichen Zufluss von Fremdwasser aus den Münsingenschottern gerechnet werden. Es kann in diesem Zusammenhang auch auf das negative Resultat aus den rechtsseitigen Giessen verwiesen werden (siehe oben).

Im Gegensatz zur rechten Talseite scheint eine starke Aareinfiltration in die Schotterebene auf der linken Aareseite festzustehen. Von den 9 Beobachtungspunkten wiesen 7 ein positives Resultat auf. Die ersten Farbspuren traten je nach Distanz zur Aare und Entnahmemenge am Beobachtungspunkt 0,5 bis 3 Tage nach dem Durchfluss der Farbwelle in der Aare auf.

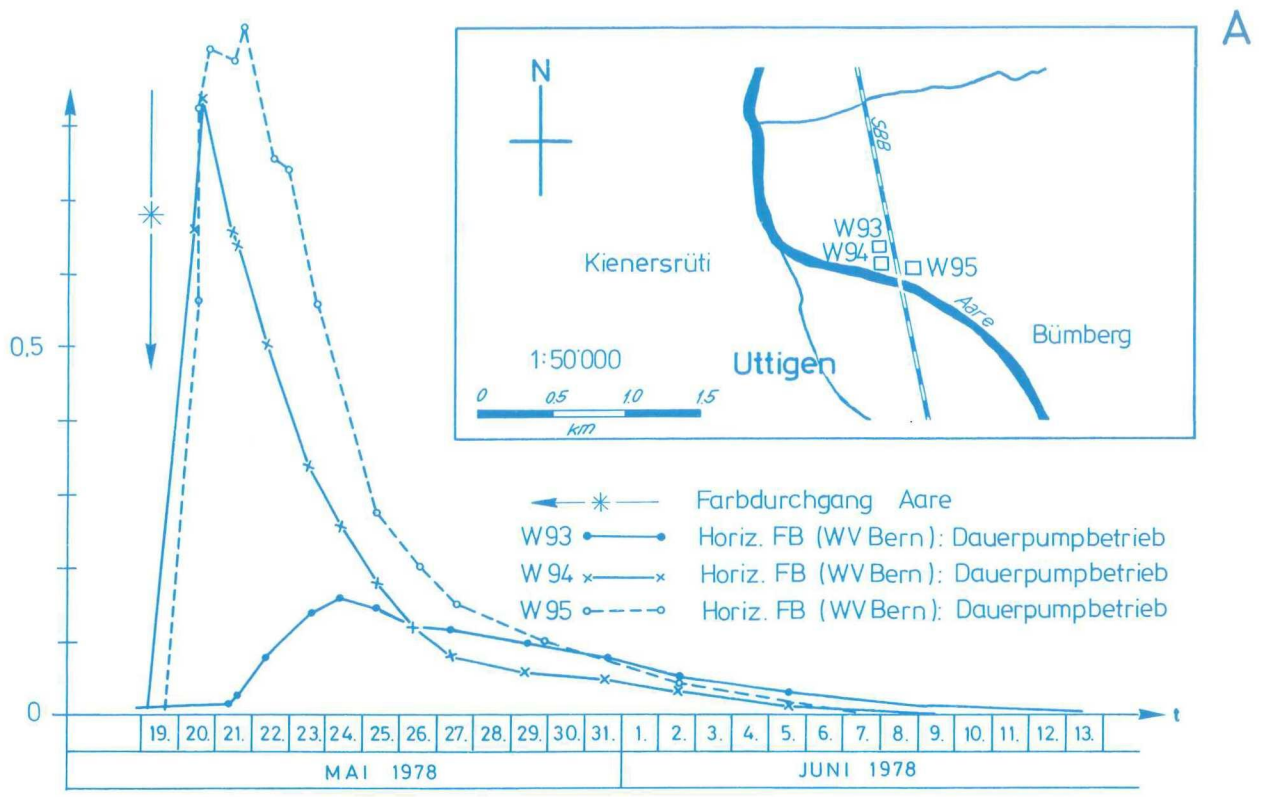
4.8. Grossfärbversuch vom 19.5.1978: Konzentrationskurven, Durchgang der Farbwelle und Fliessgeschwindigkeiten

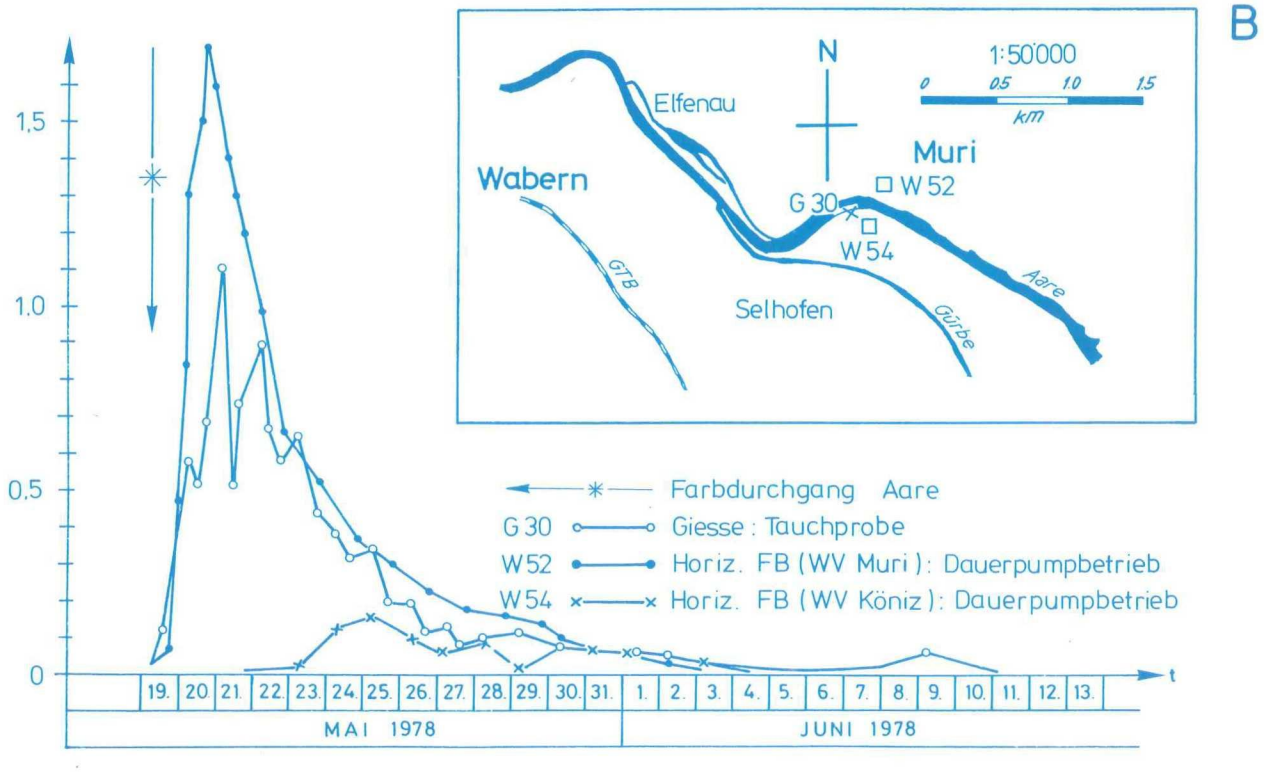


4.9. Positiver Farbstoffnachweis im Grundwasser aus dem Grossfärbversuch vom 19.5.1978 und Anteil Aareinfiltrat aufgrund des Sauerstoffisotopen-Verhältnisses $^{16}O/^{18}O$



4.10. Grossfärbversuch vom 19.5.1978: Konzentrationskurven in den Fassungen der WV Bern (Kiesen) sowie in den Fassungen der WV Muri (Wehrliau) und WV Köniz (Selhofen)





Gebiet Kleinhöchstetten - Bern

Junge Aareschotter sind rechts des Flusses nur noch in einigen wenig breiten Auen ausgebildet. An 2 Stellen, in der Wehrliau (W 52) und beim Tierpark (Ka-We-De: W 51), existieren Fassungen, welche beide wenige Stunden nach Durchgang der Farbwelle (Fig. 4.9) erste Spuren von Fluorescein zeigten (durchschnittliche Wasserentnahme Mai 1979: Wehrliau ca. 4000 l/min., Ka-We-De ca. 150 l/min.).

Im Schotterfeld des Belpmooses, links der Aare, zeigten von den 11 Beobachtungspunkten 4 Farbe und zwar die Fassungen der WV Köniz: W 54 (nach 5 Tagen) resp. W 65 (nach 3 Tagen), wo im Mai ca. 2700 l/min. (W 54) resp. 6500 l/min. (W 65) Wasser gefördert wurde (Fig. 4.10). Gemäss der Sauerstoff-Isotopenmessung weisen beide Fassungen reines Aareinfiltrat auf (Kapitel 4.3.2.). Ebenso zeigte die aarenah gelegene Fassung des Giessenhofes (W 56) schon weniger als 24 Stunden nach Durchgang der Farbwelle in der Aare erste Farbspuren. Auch das positive Resultat im Drainagepumpwerk W 53 (Farbspuren nach ca. 6 Tagen) erstaunt nicht. Seit langem ist bekannt, dass besonders in Trockenperioden in diesem Drainagepumpwerk vorwiegend Grundwasser gefördert wird und der Anteil an eigentlichem "Drainagewasser" gering ist. Die Drains liegen z.T. unter der gering durchlässigen Deckschicht im Schotter des wassergesättigten Grundwasserleiters. Die Sauerstoffisotopenmessung weist ebenfalls auf einen überwiegenden Anteil Aarewasser hin. Die Stellen W 55, W 57 - W 61 zeigten ein negatives Resultat. An all diesen Stellen wurde nur wenig Wasser gefördert, sie liegen zudem z.T. in beträchtlicher Distanz zur Aare. Es scheint, dass der Verdünnungseffekt dermassen gross war, dass die Farbkonzentration unter der Nachweisgrenze lag (vgl. Kapitel 4.3.2.). Der Beobachtungspunkt W 50 im Eichholz zeigte ebenfalls trotz geringer Distanz zur Aare keine Farbspuren.

4.3.2. Sauerstoffisotopenmessungen

Sofern die mittlere Höhe des Einzugsgebietes eines Oberflächengewässers - im vorliegenden Fall der Aare - bedeutend höher liegt als das Grundwassergebiet (Aaretal zwischen Thun und Bern), so kann mit Hilfe von Sauerstoffisotopen-Konzentrationen im Fluss und Grundwasser der Anteil des Flusswasserinfiltrats quantitativ bestimmt werden. Unabhängig zum Färbversuch, jedoch als Ergänzung dazu, wurden im Sommer und Herbst 1978 durch K. HAENNI, H. OESCHGER und U. SIEGENTHALER des Physikalischen Instituts der Universität Bern Sauerstoff-Isotopenmessungen zur Ermittlung des Aarewasser-Anteils im Grundwasser durchgeführt. Aus den meisten, für den Färbversuch verwendeten Beobachtungsstellen konnten auch Grundwasserproben für die Isotopenmessungen entnommen werden, allerdings wurden einzelne Proben erst im Herbst bei veränderten Randbedingungen (tieferem Grundwasserstand, geringerer Aareabfluss) erhoben.

Zur Methode der Sauerstoff-Isotopenmessung zitieren wir den Bericht:

"Ermittlung des Aarewasser-Anteils im Grundwasser mit Sauerstoff-Isotopenmessungen" von U. SIEGENTHALER, H. OESCHGER und K. HAENNI, Physikalisches Institut, Universität Bern (1978: s. WEA-Dokumentation):
Ein Bruchteil der Wassermoleküle in der Natur zeichnet sich dadurch aus, dass sie statt einem Sauerstoff-16-(^{16}O) ein schweres Sauerstoff-18-Atom

(^{18}O) eingebaut haben. Die Konzentration des Isotops ^{18}O in den Niederschlägen und damit auch im Grund- und Oberflächenwasser variiert etwas; insbesondere nimmt sie mit zunehmender Höhe über Meer ab. Deshalb unterscheidet sich der ^{18}O-Gehalt der Aare unterhalb Thun (mittlere Höhe des Aare-Einzugsgebietes: 1760 m ü.M.) deutlich vom lokal durch Versickerung von Niederschlägen gebildeten Grundwasser. Dies ermöglicht es, die relativen Anteile von Aarewasser und lokal gebildetem Grundwasser in einer Wasserprobe aufgrund einer ^{18}O-Messung zu berechnen. In der Gegend von Uttigen wurde vor einigen Jahren bereits eine solche Untersuchung durchgeführt *.

Die ^{18}O-Konzentration einer Wasserprobe wird angegeben als Delta-Wert in Promille:

$$\delta^{18}O = \frac{(^{18}O/^{16}O)\ \text{Probe} - (^{18}O/^{16}O)\ \text{Standard}}{(^{18}O/^{16}O)\ \text{Standard}} \times 1000$$

also als Abweichung vom Verhältnis von Sauerstoff-18 zu Sauerstoff-16 im Standard, wobei Meerwasser als Standard dient (SMOW = Standard Mean Ocean Water). Natürliches Wasser in unseren Regionen hat meist ein negatives $\delta^{18}O$, d.h. es ist ^{18}O-ärmer als Meerwasser.

Die Aare unterhalb Thun hat einen ziemlich konstanten $\delta^{18}O$-Wert von δ Aare = -12,9 ‰ *. Dieser Wert wird im folgenden beibehalten, da vom Sommer 1978 keine Werte für die Aare vorliegen. Lokales Grundwasser hat, gemäss wiederholten Messungen an verschiedenen Quellen, im Mittel etwa δ10k = -10,0 ‰. So hatte eine Quelle in Rubigen am 18.10.78 -9.9 ‰. Auch im lokalen Grundwasser treten im allgemeinen nur geringe Schwankungen auf, da das Grundwasser meist Niederschlagswasser von verschiedenen Jahreszeiten enthält und somit die in den Niederschlägen auftretenden ^{18}O-Variationen im Grundwasser stark gedämpft sind.

Bei einem Mischwasser aus Aare- und lokalem Grundwasser, mit dem ^{18}O-Wert δx, berechnet sich der relative Anteil von Aarewasser gemäss

$$f_{Aare} = \frac{\delta x - \delta\ 10k}{\delta\ Aare - \delta\ 10k} = \frac{\delta x + 10{,}0\ ‰}{2{,}9\ ‰}$$

Die Unsicherheit der δ-Werte für Aare und lokales Grundwasser beträgt etwa $\pm$ 0,2 ‰; der Messfehler ist ca. $\pm$ 0,15 ‰. Dementsprechend sind die Zahlen für f_{Aare} auf $\pm$ 0,1 (resp. $\pm$ 10 %) genau. Das Resultat "9 %" von Fassung W 63 bedeutet also, dass der Anteil Aarewasser mit grosser Sicherheit zwischen 0 und 19 % beträgt.

* U. SIEGENTHALER und U. SCHOTTERER, Hydrologische Anwendungen von Isotopenmessungen in der Schweiz, Gas - Wasser - Abwasser 57 (1977), 501 - 506.

Die Rechnung beruht allerdings auf der Annahme, dass nur die Komponenten Aare und lokales Grundwasser vorhanden sind. Falls weitere Komponenten in wesentlicher Menge existieren, so wird dadurch die Rechnung ungenau oder ungültig. Insbesondere kommen die Seitenbäche Zulg, Rotache und Chise in Frage. Verschiedene Messungen 1975 - 77 ergaben δ-Werte von -10,2 bis-12,2 ‰ (Zulg), -9,1 bis -11,7 ‰ (Rotache) und -9,2 bis -10,9 ‰ (Chise); die langfristigen Mittelwerte können auf -11,0 ± 0,4 ‰, -10,3 ± 0,4 ‰ und -10,2 ± 0,3 ‰ geschätzt werden. Chise und Rotache haben also einen ähnlichen ^{18}O-Gehalt wie lokales Grundwasser, der errechnete Aarewasseranteil wird also durch allfällige Beimischungen aus diesen Bächen kaum verfälscht. Zulgwasser dagegen könnte zu einem zu hohen Resultat für den Aarebeitrag führen."

Die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen sind in der Tabelle 4.2 aufgeführt. Der Messfehler für eine Genauigkeit von 95 % liegt bei ca. 0,15 ‰, was einem Aarewasseranteil bezüglich dem Grundwasser von etwa ± 5 % entspricht. Eine Zusammenfassung der Resultate ist aus Figur 4.9 ersichtlich. Dabei handelt es sich um eine "Momentaufnahme", d.h. die Werte dürften je nach Jahreszeit beträchtlich schwanken. So zeigt z.B. Punkt W 88 an zwei verschiedenen Daten 32 und 23 % Aarewasseranteile. Ob die vorliegenden Werte eher hoch oder tief liegen, kann nicht beurteilt werden, da für jede Entnahmestelle die Aufenthaltsdauer des Aareinfiltrats verschieden ist und vom Fliessweg abhängt.

Gebiet Thun - Uttigen

Mit Ausnahme von W 105 (Uetendorf), das praktisch kein Aare- oder Thunerseeinfiltrat enthält, zeigten alle Stellen (W 96 - W 113) einen Infiltratanteil von mindestens 10 %. Bemerkenswert ist indessen der Umstand, dass diejenigen Probeentnahmestellen mit einem Infiltratanteil < 50 % sich in unmittelbarer Nähe eines Baches befinden. So enthalten W 96, W 102 und W 105 zwischen Uetendorf und Uttigen wahrscheinlich vorwiegend Sickerwasser aus dem Glütschbach, während bei Heimberg W 100 Wasser aus dem benachbarten Kohlgrabenbach aufweisen dürfte. Eine Ausnahme bildet W 98 (untere Au, Heimberg), das neben einem trocken gelegten Giessenlauf liegt, in dem sich Niederschlagswasser sammelt, das sodann versickert. Berücksichtigt man diese verschiedenen lokalen Verhältnisse, so dürfte der Infiltratanteil wahrscheinlich noch bedeutend höher liegen als dies aus den Analysenwerten erscheint. Im Gebiet von Heimberg wird gemäss dem Verlauf der Grundwasserspiegelisohypsen (Beilage 3) jedoch auch die Infiltration von Zulgwasser eine wesentliche Rolle spielen. So beträgt bei W 103 der Infiltratanteil von Aarewasser ca. 1 km unterhalb der Zulg-Mündung nur 50 %.

Gebiet Bümberg - Oberwichtrach

Gemäss den Isotopenmessungen beträgt der Anteil an Aareinfiltrat in den Brunnen I - III der WV Bern (W 93, W 94 und W 95) 60 - 90 % und nur 44 % im Brunnen IV (W 92) (vgl. Kapitel 5.6.), der allerdings von der Aare am weitesten entfernt liegt (ca. 400 m). Ebenfalls oberhalb der Rotachemündung befindet sich die private Fassung Neuenhof (W 90), die einen Infiltratanteil von ca. 57 % aufweist. In diesem ausgesprochenen Infiltrationsgebiet wäre eher ein grösserer Anteil von Aarewasser zu erwarten, dies um so mehr, weil die Brunnen der WV Bern ständig in Betrieb sind.

Bezeichnenderweise zeigte der unmittelbar neben der Chise liegende Punkt W 89 kein Aareinfiltrat. Auch die unterhalb der Chisemündung befindliche Stelle W 86 führte kein Aarewasser und bei W 88 schwankte der Anteil zwischen 23 und 32 %, ein deutlicher Hinweis, dass die Chise in diesem Gebiet kräftig infiltriert. Gegen Oberwichtrach und weiter stromabwärts (siehe unten) wird das Aareinfiltrat grösstenteils durch die Giessen aufgefangen, deshalb zeigt nur die in Aarenähe liegende Beobachtungsstelle W 85 einen hohen Anteil (74 %), während die weiter landeinwärts liegenden Punkte durchwegs Werte < 20 % besitzen. Dieser Effekt macht sich auch bei den aareabhängigen Grundwasserspiegelschwankungen bemerkbar (Kapitel 4.1.3.).

Tabelle 4.2: ^{18}O-Resultate der Grundwasserproben

Nr.	Datum	^{18}O (‰)	% Anteil Aarewasser
W 50	17.10.78	-10.96	33
W 51	"	-11.84	63
W 52	"	-12.89	100
W 53	"	-12.75	95
W 54	"	-13.00	100
W 55	"	-12.00	69
W 56	"	-12.95	100
W 57	"	-12.74	94
W 58	"	-12.25	78
W 59	"	- 9.85	0
W 60	"	- 9.98	0
W 61	"	-10.00	0
W 62	5. 6.78	-12.82	97
W 63	"	-10.26	9
W 65	17.10.78	-13.08	100
W 66	25. 5.78	-12.72	94
W 67	26. 5.78	-12.39	82
W 68	"	-12.53	87
W 68	5. 6.78	-12.70	93
W 69	25. 5.78	-12.74	94
W 72	5. 6.78	-11.49	51
W 73	"	-12.94	100
W 75	"	-10.10	3
W 76	"	- 9.61	0
W 78	6. 6.78	-10.38	13
W 79	4. 6.78	-10.23	8
W 81	25. 5.78	-10.40	14
W 84	"	-11.11	38
W 85	"	-12.16	74
W 86	5. 6.78	- 9.97	0
W 87	"	-10.25	9
W 88	25. 5.78	-10.93	32
W 88	5. 6.78	-10.66	23
W 89	"	- 9.96	0
W 90	"	-11.66	57
W 91	"	-12.52	87
W 92	"	-11.29	44
W 93	6. 6.78	-11.79	62
W 94	5. 6.78	-11.76	61
W 95	"	-12.56	88
W 96	"	-10.30	10
W 97	"	-11.60	55
W 98	"	-10.51	18
W 99	"	-12.28	79
W 100	25. 5.78	-10.73	25
W 102	6. 6.78	-10.92	32
W 103	5. 6.78	-11.44	50
W 104	"	-12.87	99
W 105	2. 6.78	-10.04	1
W 106	5. 6.78	-12.20	76
W 107	"	-12.05	71
W 109	7. 6.78	-11.73	60
W 110	5. 6.78	-12.90	100
W 112	25. 5.78	-12.97	100
W 113	6. 6.78	-13.04	100
Quelle Rubigen 608.193/1	18.10.78	- 9.90	0

Gebiet Oberwichtrach - Rubigen

Infolge der erwähnten Auffangwirkung von Aarewasser durch die Innere und Aeussere Giesse, der grossen Distanz zur Aare (0,6 - 1,4 km) sowie wegen des beträchtlichen Hangwasserzuflusses (vgl. z.B. Profil 7 der Figur 4.7), ist der Infiltratanteil bei allen Stellen auf der rechten Aareseite (W 75, W 76, W 78 und W 79) äusserst bescheiden oder nichtexistent (0 - 13 %).

Auf der linken Seite zeigen alle zwischen Aare und Giesse befindlichen Punkte (W 62, W 66, W 68, W 69 und W 73) einen Infiltratanteil zwischen 87 und 100 %, was bei einem Vergleich mit den Giessenprofilen (Fig. 4.6) durchaus verständlich erscheint. Bezeichnenderweise nimmt auch hier die Anreicherung der Schotter durch Aarewasser aus den obigen Gründen mit der Entfernung zum Fluss stark ab. So weist W 72 (Distanz zur Aare ca. 130 m) infolge Hangwasserzufluss vom Belpberg nur noch einen Infiltratanteil von 51 % auf, während W 63 (Distanz zur Aare ca. 600 m) namentlich infolge der Interzeptionswirkung der Giesse einen solchen von lediglich 9 % besitzt.

Gebiet Kleinhöchstetten - Bern

Die Fassungen der WV Muri (W 52) auf der rechten Aareseite und der WV Köniz auf der linken Seite (W 54, W 65) fördern reines Aareinfiltrat (100 %!); dasselbe gilt für die aarenah liegende Fassung Giessenhof (W 56). Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, fördert auch das Drainagepumpwerk (W 53) fast ausschliesslich Infiltrat der Aare. Alle diese Fassungen liegen landwärts der Giesse. Offensichtlich vermag diese im unteren Teil des Belpmooses und im Zopfen nicht einen ebenso grossen Anteil des Aareinfiltrates aufzunehmen wie weiter stromaufwärts, was auf den zunehmenden hydraulischen Gradient (Fig. 4.6) und möglicherweise auf veränderte Durchlässigkeitsverhältnisse zurückzuführen ist. Andererseits muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch den Pumpbetrieb in den Fassungen von Köniz und im Drainagepumpwerk eine zusätzliche Aarewasserinfiltration induziert wird. Die Tendenzwende scheint zwischen Jägerheim und Grossmatt zu liegen. Während beim Jägerheim die Stellen W 57 und W 58 noch einen Infiltratanteil von 94 und 78 % besitzen, weisen die Punkte W 59 und W 61 in entsprechender Lage zur Giesse kein Infiltratwasser mehr auf. Dasselbe gilt für den mehr landeinwärts liegenden Punkt W 60, was mit dem Ergebnis beim früher erwähnten W 63 übereinstimmt. Somit dürfte im Gebiet zwischen Belpmoos und Belpberg das Grundwasser vor allem durch versickernde Niederschläge alimentiert werden. Merkwürdigerweise tritt jedoch dieses "Fremdwasser" weiter stromabwärts gemäss den Isotopenuntersuchungen nur noch schwach in Erscheinung. Vermutlich wird der grösste Teil des Grundwasserabflusses aus diesem Gebiet durch das tiefe und weitverzweigte Drainagesystem abgeführt. Vermutlich stellt deshalb der festgestellte Aarewasseranteil von 95 % im Drainagepumpwerk keinen repräsentativen Durchschnittswert dar, muss doch das Entwässerungssystem auch noch das Hangwasser des Längenberggebietes ableiten. Andererseits deutet die ca. 250 m von der Gürbe und ca. 750 m von der Aare entfernte Stelle W 55 mit einem Aareinfiltratanteil von 69 % (!) auf eine erstaunlich kräftige Beeinflussung der Grundwasserabflussverhältnisse hin. Wahrscheinlich handelt es sich hier eher um einen jahreszeitlichen Höchstwert. Da das Bett der Gürbe in diesem Gebiet praktisch vollständig kolmatiert ist, scheint keine merkliche Beeinflussung von dieser Seite her vorzuliegen.

Die Resultate des Grossfärbversuches stehen in gutem Einklang mit denjenigen der Isotopenmessungen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass der Färbversuch nur die Infiltrationsverhältnisse für die am 19.5.76 herrschenden Randbedingungen (Aareabfluss und Grundwasserspiegel-Lage) zeigt. Die Versuchszeit lag am Ende einer Periode mit verstärkter Grundwasserneubildung durch Niederschlag und Schneeschmelze im Mittelland, jedoch geringer Aareinfiltration (niedriger Aareabfluss). Die Resultate der Isotopenmessungen sind dagegen im allgemeinen weniger von momentanen Infiltrationsrandbedingungen abhängig, als von den mittleren Bedingungen in den der Probeentnahme vorhergehenden Monaten (entsprechend der Aufenthaltszeit vom Aareinfiltrat im Boden). Um so mehr erstaunt die gute Uebereinstimmung der Versuchsresultate. Sie verdeutlicht den wiederholt festgestellten dominierenden Einfluss der Aare auf das Grundwasser.

5. DER HAUPTGRUNDWASSERLEITER DER AARETALEBENE

5.1. Räumliche Begrenzung und Mächtigkeit

Die Ausdehnung des Hauptgrundwasserleiters und der daran anschliessenden Grundwasserleiter der Randgebiete ist aus der Beilage 1 ersichtlich. Als Ausgangslage wurde ein mittlerer Grundwasserstand genommen, wobei die Schnittlinie zwischen Grundwasserspiegel und randlichem Stauer die Begrenzung ergab. Der Hauptgrundwasserleiter entspricht weitgehend der Ausdehnung des heutigen Talbodens. Die Grenze verläuft somit meist entlang des Fusses der östlichen und westlichen Hügelzone (zwischen Wichtrach und Rubigen längs des bergseitigen Randes der Terrassenschotter von Wichtrach). Bei der Einmündung der Seitentäler der Gürbe, Chise, Rotache, Zulg und des Glütschbaches wurde auf eine Abgrenzung verzichtet, da der Hauptgrundwasserleiter der Aaretalebene an diesen Stellen ohne eindeutig bestimmbare Grenze in diejenigen der Seitentäler übergeht. Der Hauptgrundwasserleiter umfasst hauptsächlich die jungen Schotterablagerungen der Aare und der Nebenflüsse, südlich von Kiesen schliesst er teilweise auch die Uttigen-Bümbergschotter ein (Kapitel 2).

Da der Grundwasserleiter im allgemeinen nicht durch tiefreichende schwerdurchlässige Deckschichten abgeschirmt ist (Beilage 2), wird die gesättigte Zone meist durch die jeweilige Grundwasserspiegellage nach oben begrenzt. Ausnahmen dazu bilden der untere Teil des Belpmooses sowie das Gebiet entlang des Thunersees zwischen Gwatt und Thun (Beilage 1 sowie Profil II der Beilage 2). An diesen Orten reichen schwerdurchlässige Deckschichten bis auf einige Meter unter den potentiellen Grundwasserspiegel, so dass das Grundwasser lokal gespannt ist.

Der Stauer des Hauptgrundwasserleiters besteht stromabwärts von Kiesen vorwiegend aus älteren alluvialen Verlandungsbildungen, meist undurchlässigen Seetonen. Die Staueroberfläche entspricht einer fluvialen Erosionsoberfläche und besitzt deshalb meist ein ausgeprägtes Relief. Zwischen Oberwichtrach und Muri ist ihr Verlauf durch zahlreiche Sondierungen gut belegt, so dass sie durch Isohypsen dargestellt werden konnte. Weiter südlich bis zum Thunersee ist die Dichte der Sondierbohrungen im allgemeinen geringer; auf eine zusammenhängende Kurvendarstellung musste daher verzichtet werden (Beilage 3). So konnte ein durchgehender Stauer (Moräne und Seeablagerungen) nur noch auf der östlichen Talseite zwischen Heimberg und Steffisburg mittels Bohrungen nachgewiesen werden. Im Gebiet von Thun erreichte nur eine Sondierung (613/178.27) nach ca. 50 m Bohrtiefe eine Feinsandabfolge, die möglicherweise von grösserer Ausdehnung ist und als Stauer betrachtet werden kann.

Ueber längere Strecken hinziehende, grössere Rinnen oder Becken sind im Stauer nicht zu beobachten. Bei engmaschigen Sondierarbeiten, z.B. bei Standortuntersuchungen für Grundwasserfassungen, kommt jedoch das lokal sehr stark ausgeprägte Relief der erosiven Staueroberfläche deutlich zum Vorschein. Offensichtlich wurde es durch eine Vielzahl von mäandrierenden Wasserläufen gebildet.

Der offenbar sehr mächtige Grundwasserleiter im Raume Thun entspricht vermutlich der Fortsetzung des glazial geformten Thunerseebeckens. Die Stauerobefläche steigt generell Richtung Nord an. Seiner räumlichen Ausdehnung entsprechend lässt sich der Hauptgrundwasserleiter in die nachstehenden Abschnitte gliedern:

a) das Becken von Thun - Uetendorf

b) der Tallauf von Kiesen - Münsingen

c) das Belpmoosbecken

d) die Rinne Muri - Marzili

Der Grundwasserleiter in diesen Teilgebieten weist die folgenden approximativen geometrischen Eigenschaften auf:

Teilgebiete		a)	b)	c)	d)
Fläche	(km^2)	24	15	10	1
Breite	(km)	3-5	1-2	1.5-2.5	0.1-0.5
Mächtigkeit [1]	(m)	12-25	5-12	3-5	
max. nachgewiesene Mächtigkeit [1]	(m)	40[3]	28[4]	7[5]	
Volumen [2]	(10^6 m^3)	400	150	40	

1) Mächtigkeit der gesättigten Zone ohne Randgebiete

2) Grössenordnungsmässige Angabe

3) Sondierbohrung 613/178.27

4) " 610/183.61

5) " 607/193.44

Der Hauptgrundwasserleiter des Aaretals besitzt demnach eine Gesamtfläche von gegen 50 km^2, ein Gesamtvolumen von ca. 600 · 10^6 m^3 und stellt somit eines der grössten zusammenhängenden Grundwasservorkommen des schweizerischen Mittellandes dar.

5.2. Lithologischer Aufbau

Aufgrund der petrographischen Zusammensetzung der fluvialen Talfüllung kann im allgemeinen zwischen den Aare-/Kanderablagerungen und den Schuttfächern der Nebenflüsse unterschieden werden. Für die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters sind vor allem die Kornverteilung und die Schichtfolge von Bedeutung.

Zum überwiegenden Teil besteht der Hauptgrundwasserleiter aus Aare-/Kanderablagerungen, einer Abfolge von mehr oder weniger sandigen, häufig sauberen bis schwach siltigen, Fein- bis Grobkiesen mit oft leicht plattigen Komponenten.

Stellenweise können dünne sandige bis siltige Lagen oder Linsen eingeschaltet sein. Diese weisen jedoch keine grössere Ausdehnung auf, so dass - mit Ausnahme des Gebietes Thun-Dürrenast - nirgends von einem Stockwerkbau gesprochen werden kann. Gegen die Talflanken hin ist häufig eine Zunahme von sandig-siltigen Sedimenten infolge seitlich eingeschwemmten Materials (umgelagerte Moräne, Erosionsprodukte der Molasse etc.) festzustellen.

Die ganze Schotterabfolge weist eine deutliche Schichtung auf. Innerhalb der Schichten sind die einzelnen Gerölle entsprechend ihrer oft leicht plattigen Form ziegelartig abgelagert. Diese Schichtung, untergeordnet auch die Einregelung der Gerölle, bewirkt, dass die Durchlässigkeit des Leiters in horizontaler Richtung wesentlich grösser ist, als in vertikaler.

In petrographischer Sicht dominieren Kalkgerölle. Viel seltener treten granitartige Gerölle, Sandsteine, Breccien und Schiefer auf.

Die ebenfalls durch die Aare resp. Kander geschütteten Terrassenschotter von Münsingen und Wichtrach unterscheiden sich von den jungen Kander-/Aareablagerungen vor allem durch den wesentlich höheren Sandgehalt in ihrem oberen Teil. Die Schuttfächer der Nebenflüsse sind im allgemeinen viel heterogener aufgebaut als die Ablagerungen der Aare/Kander. Zudem ist der Anteil an sandigem und bindigem Material wie auch an grösseren Steinen und Blöcken bedeutend grösser. Dies kommt auch in der Beilage 1 in der dargestellten Durchlässigkeitsverteilung deutlich zum Ausdruck. Randliche Zonen sowie die grösseren Schuttfächer der Zulg und Rotache weisen meist eine geringere Durchlässigkeit auf. Stark siltige Kiese mit Steinen und Blöcken wechseln dort oft mit siltig-sandigen Schichten. Die Schuttfächer sind an ihrer Peripherie meist mit den Aareablagerungen verzahnt und überdecken diese teilweise.

Die Uttigen-Bümbergschotter, welche zwischen Jaberg und Uttigen teilweise im unteren Teil des Hauptgrundwasserleiters der Talebene anstehen, weisen gegenüber den jungen Aare-/Kanderablagerungen eine kleinere Korngrösse, einen erhöhten Sand- und Siltanteil, oft mehr Kristallingerölle und vor allem eine dichtere Lagerung, teilweise sogar eine Zementierung auf.

Die detaillierten Schichtabfolgen in den einzelnen Gebieten sind aus den zahlreichen Bohrprofilen ersichtlich, die in den Zwischenberichten 1978 und 1979 dargestellt sind oder in der WEA-Dokumentation eingesehen werden können. Es wird deshalb nicht auf weitere Einzelheiten eingegangen. Die Ergebnisse der mechanischen Sondierungen wurden soweit als möglich in den Profilschnitten (Beilage 2) und in der Grundkarte (Beilage 1) verarbeitet.

5.3. Deckschichten

Unter den Deckschichten werden die im ungesättigten Bereich liegenden feinkörnigen Ablagerungen verstanden. Entsprechend ihrer Ausbildung, insbesondere ihrer Mächtigkeit und Durchlässigkeit, stellen sie einen in seiner Qualität wechselnden Schutz gegen Verunreinigung des Grundwassers dar und haben naturgemäss einen entsprechend unterschiedlichen Einfluss auf die Grundwasserneubildung.

Die Vegetationsschicht, d.h. die humosen Ablagerungen, überdecken praktisch das gesamte Untersuchungsgebiet. Sie besitzt eine sehr unterschiedliche Mächtigkeit (meist 0,15 - 0,60 m) und gibt nicht selten bis zu einem gewissen Grad die Lithologie des Liegenden wieder. Dementsprechend überwiegen teils die tonigen, sandigen oder kiesigen Nebengemengteile. Im Mäanderbereich des früheren, nicht kanalisierten Aarelaufes fand nur eine spärliche Humusbildung statt. So ist in den Auenwäldern - ausser in verlandeten ehemaligen Flussläufen - selten eine Humusdecke von mehr als 15 cm Mächtigkeit anzutreffen.

Infolge von Einschwemmungen nimmt die Humusschicht im Bereich der Talränder im allgemeinen zu. Die humose Vegetationsschicht beeinflusst die Qualität des infiltrierenden Niederschlagswassers in mehrfacher Hinsicht. Einerseits wird das einsickernde Wasser durch Sorptionsmechanismen "filtriert", d.h. von gewissen Wasserinhaltsstoffen befreit und gereinigt. Andererseits findet eine Mineralisation statt, wobei insbesondere die Aufnahme von CO_2 und Stickstoffverbindungen erwähnenswert ist; zudem können aber auch umweltbelastende Schadstoffe (z.B. Schädlingsbekämpfungsmittel) ausgeschwemmt und ins Grundwasser abgeführt werden.

Die Grundkarte (Beilage 1) gibt die Verbreitung der unmittelbar unter der Humuslage anstehenden Bodenschichten wieder. Es können hauptsächlich folgende vier Ablagerungsbildungen unterschieden werden:

- Seitliche Einschwemmungen: Heterogen aufgebaute Schuttkegel von Seitenbächen und Flüssen bedecken stellenweise grössere Gebiete der Talebene. Entlang der Talflanken tritt oft feinkörniges, abgeschwemmtes Moränen- und Gehängeschuttmaterial auf.

- Ueberschwemmungslehme der Aare und ihrer Nebenflüsse: Das weitaus grösste Gebiet befindet sich im Belpmoos. Bedeutend weniger ausgedehnte Bildungen sind bei Münsingen, Kiesen, Steffisburg sowie am Rand des Thunersees anzutreffen. Es handelt sich dabei um Rückstauablagerungen. Ueberall stromaufwärts von Talengpässen, wo es zu häufigen und andauernden Ueberschwemmungen kam, wurden die Schwebstoffe (Tone, Silte, Feinsande) sedimentiert.
  Dies war vor allem oberhalb der Querschnittsverengung Muri/Selhofen der Fall, wo zeitweise eine permanente Seeoberfläche von mehreren km^2 bestanden haben muss. Schuttfächer einmündender Nebenflüsse (Mülibach, Chise, Rotache, Zulg) verursachten die restlichen Rückstauablagerungen. Bei den Seetonen entlang des Thunersees handelt es sich dagegen mehrheitlich um Verlandungsbildungen, die jedoch stellenweise in Ueberschwemmungslehme übergehen dürften.

- Verlandungsbildungen: Diese meist aus Torf, Silt und Ton bestehenden Ablagerungen sind z.T. in den gleichen Gebieten wie die Ueberschwemmungslehme, oft aber in Flussrinnen (Totwasser in abgeschnittenen Mäandern) zu finden.

- Moränen: Dort wo der Hauptgrundwasserleiter auch die Uttigen - Bümberg - Steghaldeschotter umfasst (Gebiet Thierachern - Uttigen und Bümberg), besitzen die vorwiegend aus Moränenschuttmaterial bestehenden, überlagernden Deckschichten oft eine Mächtigkeit > 10 m (vgl. Beilagen 1 und 2).

Der Hauptgrundwasserleiter des Aaretals ist infolge der weit verbreiteten, nur schwach bindigen Deckschichten (Schotter- und Schuttkegelgebiete) und der geringen Trockentiefe (häufig 1,5 - 4 m) eher schlecht vor infiltrierenden Verunreinigungen geschützt.

5.4. Hydraulische Kennwerte

Der Durchlässigkeitsbeiwert k ist ein Mass für die Leichtigkeit, mit welcher das Wasser durch den Bodenkörper fliesst. Diese ist zum überwiegenden Teil vom Bodenaufbau abhängig; dagegen spielt die Dichte und die temperaturabhängige Viskosität des Wassers meist nur eine untergeordnete Rolle. Nachstehend wird der k-Wert als reine Bodenkennziffer verstanden, die für die hydraulische Charakterisierung des Grundwasserleiters und -stauers den wichtigsten Kennwert darstellt:

$$k = i \cdot v$$

wobei i : hydraulischer Gradient (m/m)

v : Fliessgeschwindigkeit (m/s)

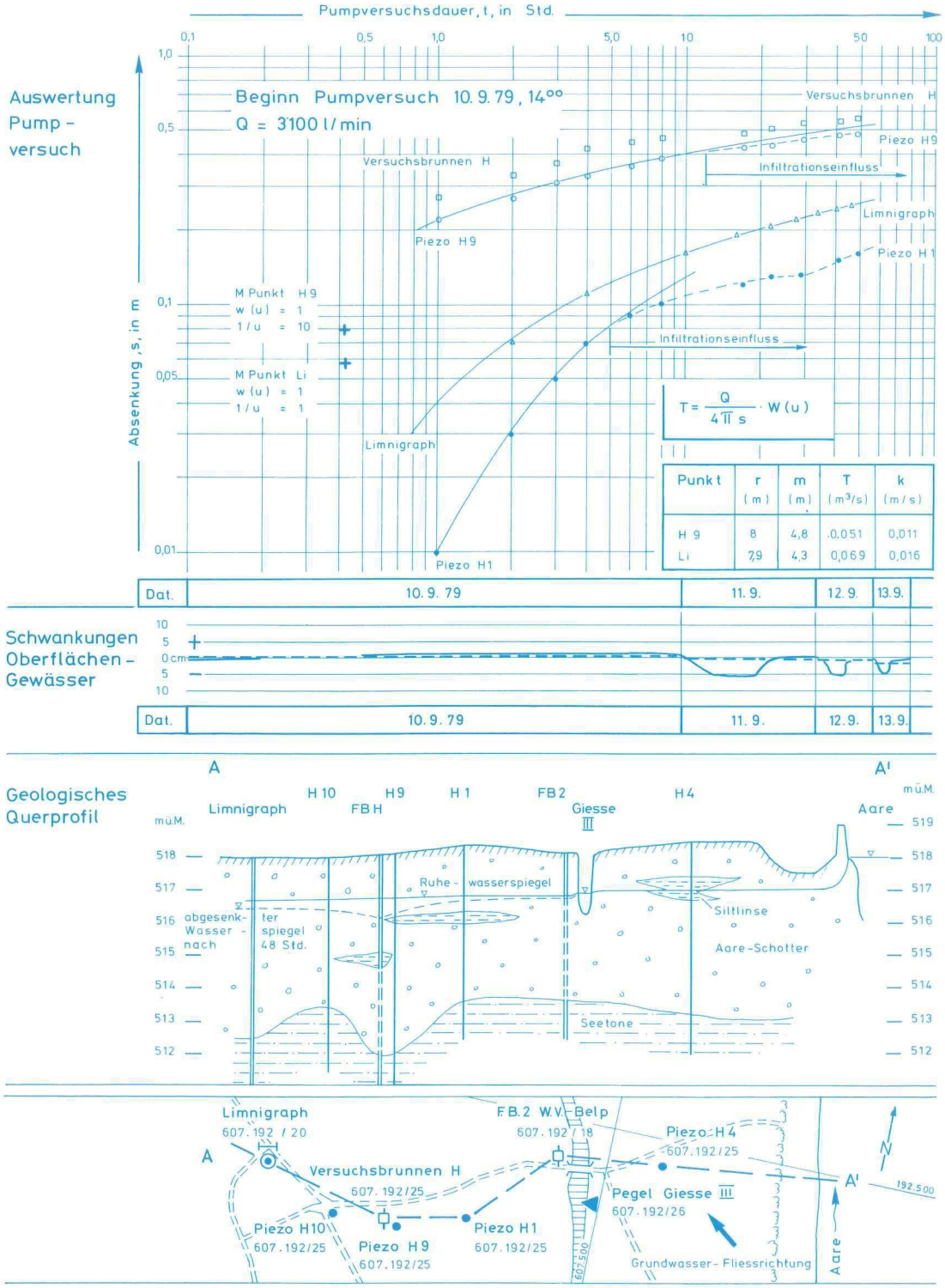
Zur Bestimmung des Boden-k-Wertes stehen verschiedene Methoden zur Verfügung; infolge des heterogenen und anisotropen Bodenaufbaus haftet jedoch allen eine primäre Ungenauigkeit an, da sie streng genommen nur für homogene und isotrope Körper volle Gültigkeit besitzen. Dazu kommen sekundäre untersuchungsspezifische Fehlerquellen, die jedoch bei guter Wahl der Bestimmungsmethode häufig teilweise ausgeschlossen werden können. Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Durchlässigkeitsbeiwerte wurden alle mittels Pumpversuche bestimmt. Da der weitaus grösste Teil der Daten der WEA-Dokumentation entnommen wurde, konnte im allgemeinen nur die Auswertungsmethode, selten aber die Versuchsdisposition überprüft werden. Bei Dauerpumpversuchen wurde im allgemeinen eine Neuauswertung vorgenommen, wobei häufig die Methoden für den nichtstationären Zustand von THEIS / JACOB zur Anwendung gelangten. Durchlässigkeitsbeiwerte, die aus Kleinpumpversuchen stammen, sind in der Beilage 1 in Klammer gesetzt, da sie nicht dieselbe Aussagekraft besitzen und im allgemeinen eher zu klein sind (Reibungsverluste, Eintrittswiderstände etc.).

Tabelle 5.1: Kennwerte ausgewählter Dauerpumpversuche im Hauptgrundwasserleiter des Aaretals

Gebiet / Fassung / Name	WEA-Nr.	Pumpmenge l/min.	Mächtigkeit GWL (m)	k-Wert 10^{-3} m/s	T-Wert 10^{-2} m²/s
Becken von Thun - Uetendorf					
FB Bälliz 36, Thun	614/178.12	1800	> 8,6	1,6	>1,4
FB Restaurant Löwen, Thun	614/178.10	1000-2500	>16,7	1,7	>2,8
FB Seefeld, Thun (LWW Thun)	614/177.1	2050	23,7 *)	2,6	6,2
FB Schwäbis (Verbandsmolkerei)	613/179.3	1000-3000	>12,4	4,3	>5,3
FB Burgerguet, Steffisburg (WV)	613/179.2	13'000-30'000	13,1	5,9	7,7
FB Schwäbis (WV Steffisburg)	613/179.1	3000-4500	17,0	1,1	1,9
FB Sportanlage Ittenmatt, Thun	613/177.15	550-3000	>12,8	17,0	>21,8
FB Schulhaus Heimbergau	612/181	1500-2500	8,1	13,0	10,6
VB-XI Au, ARA Thun	612/181.21	3000-6000	12,0	37,8	45,4
FB Au, ARA Thun	612/181.17	350-1800	12,6	19,4	24,4
VB Allmend Uetendorf (WV Blattenheid)	612/180.16	2000	7,0	2,5	1,7
FB B3 Lerchenfeld (LWW Thun)	612/180.22	4500	17,2	5,4	9,3
FB B2 " (")	612/180.23	3400	15,0	4,9	7,3
VB Lerchenfeld (")	612/179.1	2500-3500	18,5	6,6	12,2
VB-V Uttig-Au (WV Bern)	611/181.14	3000-6000	13,4	11,0	14,7
VB-XIV Uttig-Au (")	611/181.9	3000-4800	11,5	17,4	20,0
VB-XIII Uttig-Au (")	611/181.8	3000-4800	13,1	5,9	7,7
VB-IV Uttig-Au (")	611/181.2	1500-6000	10,7	15,6	16,7
VB-VIIb "	611/181.5	1500-6000	10,1	27,5	27,8
FB Selve, Uetendorf	610/180.21	1200-5400	13,7	5,9	8,1
VB Untere Au, Heimberg	612/182.19	400	2,5	2,0	1,0
VB Untere Au, ARA Uttigen	610/183.62	1500-2500	>15,6	0,5	>0,8
Tallauf von Kiesen - Münsingen					
FB Mosterei, Kiesen	610/185.1	750-5000	9,4	8,3	7,8
FB-A Stockeren - Kiesen (WV Bern)	610/183.4	10'000	>16,9	4,2	>7,1
FB-D Stockeren - Kiesen (")	610/183.3	10'000	>17,2	4,3	>7,4
FB-C Stockeren - Kiesen (")	610/183.2	10'000	>20,2	2,5	>5,0
FB-B " " (")	610/183.1	5000	>17,3	3,2	>5,5
FB Chesselau, WV Niederwichtrach	609/189.6	2500	5,7	8,0	4,6
Schacht Kiesgrube Wichtrach	609/189.5	500-2000	7,8	5,3	4,1
FB in der Au, WV Niederwichtrach	609/188.2	600-2640	15,0	5,2	7,8
FB Erlenau, WV Münsingen	609/190.6	500	4,2	4,6	1,9
VB Reithalle Münsingen (WEA)	608/190.39	5200	4,0	8,0	3,2
VB Münsingen West (WEA)	608/190.38	5500	5,2	8,0	4,2
Schacht Fischzucht Rubigen	607/193.11	1000	3,7	7,5	2,8
VB Fischzucht Rubigen	607/193.10	520-1500	3,5	4,8	1,7
VB-C Hunzigenau (WV Bern)	607/192.22	3400	4,5	15,0	6,8
VB-A " (")	607/191.12	3600	6,5	5,3	3,4
VB-B " (")	607/191.11	3400	6,3	10,0	6,3
VB-H " (")		3100	4,8	11,0	5,2
Belpmoosbecken					
VB Hinderi Au, Belp (WEA)	606/193.51	1450	5,2	3,4	1,8
VB Jägerheim (WEA)	605/195.19	800	3,4	4,4	1,5
FB Wehrliau, Muri (WV)	603/197.35	1800	6,3	4,0	2,5
FB Selhofen (WV Köniz)	603/196.14	10'000	7,0	4,4	3,1
Rinne Muri - Marzili					
VB Marzilibad (WEA)	600/199.27	1200	7,25	2,0	1,5
FB Tierpark (Ka-We-De)	600/198.1	1500	7,0 *)	2,4	1,7

FB: definitiver Filterbrunnen, VB: Versuchsbrunnen
*) gespannter Grundwasserspiegel
GWL: Grundwasserleiter

5.1. Pumpversuch im Versuchsbrunnen H der WV Bern in der Hunzigenau: Situation mit Querprofil, Bestimmung der hydraulischen Parameter des Grundwasserleiters



Die generelle Durchlässigkeitsverteilung im Hauptgrundwasserleiter ist aus der Beilage 1 ersichtlich. Diese ist weitgehend aufgrund von insgesamt über 180 Pumpversuchauswertungen ermittelt worden.

Von Interesse für die Wasserwirtschaft ist vor allem die in Blau dargestellte Zone mit k-Werten > $2 \cdot 10^{-3}$ m/s; ökonomisch vertretbare Wasserentnahmen sind im vorliegenden Untersuchungsgebiet je nach Zielsetzung, jedoch bis zu einem k-Wert von $2 \cdot 10^{-4}$ m/s (grüne Zone) vertretbar. Die übrigen Zonen fallen für eine Grundwassernutzung praktisch ausser Betracht. Diese kommen in der Regel auch nur in peripherer Lage vor und werden, von geringfügigen Ausnahmen abgesehen, definitionsgemäss nicht zum Grundwasserleiter gerechnet. Auffallend ist die grosse Ausdehnung der bestdurchlässigen Zone, die mehr als 2/3 des Grundwasserleiters umfasst.

Berücksichtigt man die Mächtigkeit des Grundwasserleiters (Kapitel 5.1), so erhält man als Mass für die Grundwasserergiebigkeit, die Transmissibilität

$$T = k \cdot H \ (m^2/s),$$

die namentlich im südlichen Untersuchungsgebiet beachtliche Maximalwerte erreicht:

Becken von Thun - Uetendorf	$30 \cdot 10^{-2}$ m^2/sec
Tallauf von Kiesen - Münsingen	$10 \cdot 10^{-2}$ "
Belpmoosbecken	$4 \cdot 10^{-2}$ "
Rinne Muri - Marzili	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$ "

Die Tabelle 5.1 vermittelt eine Uebersicht über die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters im Bereich grösserer Fassungsanlagen oder Versuchsbrunnen. Diese sind aufgrund von Dauerpumpversuchsdaten ermittelt worden. Die angegebene Pumpmenge entspricht einer Förderrate während des Pumpversuchs und nicht der Brunnenergiebigkeit oder konzessionierten Entnahmemenge.

Die effektive Porosität oder der Speicherbeiwert, S, gibt an, wieviel Porenwasser gemessen am Gesamtvolumen durch seine eigene Schwerkraft drainiert werden kann. Die Feldbestimmung dieser Grösse ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, da die hydraulische Trägheit im ungesättigten Bereich (z.B. Absenkungstrichter bei Pumpversuch) sowie verschiedene Randbedingungen (Infiltration, Schichtaufbau, Begrenzung des Grundwasserleiters) die Ermittlung stark zu beeinflussen vermögen. Auf eine entsprechende Pumpversuchauswertung wurde deshalb verzichtet. Aufgrund der vorherrschenden Kornverteilung und namentlich der Durchlässigkeit können folgende mittlere Richtwerte angegeben werden:

S ~ 15 - 25 %	für Durchlässigkeitsbereich > $2 \cdot 10^{-3}$ m/s
S ~ 8 - 15 %	" " $2 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-3}$ m/s

Damit ergeben sich folgende approximative, potentielle, nutzbare Porenvolumen (Grundwasserreserven), die jedoch aus verschiedenen Gründen (Kapitel 5.7) nur

z.T. wirtschaftlich genutzt werden können:

Becken von Thun - Uetendorf	$80 \cdot 10^6$ m^3
Tallauf von Kiesen - Münsingen	$30 \cdot 10^6$ m^3
Belpmoosbecken	$7 \cdot 10^6$ m^3
Rinne Muri - Marzili	$< 1 \cdot 10^6$ m^3

5.5 Grundwasser-Abflussverhältnisse

Einerseits werden die Abflussverhältnisse durch die Geometrie, den Aufbau und die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters bestimmt, anderseits durch das Verhalten des zirkulierenden Wassers, d.h. vor allem durch In- und Exfiltrationsmechanismen. Aufgrund dieser in den vorangehenden Kapiteln erläuterten Parametern ergibt sich ein spezifischer ort - und zeitabhängiger Grundwasserabfluss, der weitgehend durch die Konfiguration der Grundwasseroberfläche widerspiegelt wird. Dabei spielt, wie eingehend erläutert, das regulierte Abflussregime der Aare eine dominierende Rolle. Eine Uebersicht über die Grundwasserspiegel - und Abflussverhältnisse vermittelt Beilage 3. Nachstehend sind die wichtigsten Aspekte gebietsweise zusammengefasst, wobei für die Lage des Grundwasserspiegels die Untersuchungsperiode 1976 - 79 berücksichtigt wurde (Einzelheiten über die Wechselwirkung zwischen Aare und Grundwasser sind im Kapitel 4 enthalten). In der Regel wird jeweilen zwischen der linken und rechten Talseite unterschieden. Dort, wo die Mächtigkeit des Grundwasserleiters bedeutend grösser ist als die Tiefe der heutigen Aarerinne, muss jedoch angenommen werden, dass eine Grundwasserunterströmung der Aare besteht. Dies ist vor allem im Becken Thun - Uetendorf der Fall. Eine Unterströmung findet meist dort statt, wo beidseitig der Aare nicht gleichzeitig In- oder Exfiltrationsverhältnisse vorherrschen. Andernfalls kann die Aare bis mehrere Meter unter ihr Flussbett als hydraulische Barriere wirken.

Becken von Thun - Uetendorf

- In-und Exfiltrationen: Oberhalb der Aareschleuse bei Thun findet eine ausgeprägte Infiltration aus dem Thunersee bzw. der Aare statt, während unterhalb der Schleuse bis zur Zulgeinmündung die Exfiltrationstendenz vorherrscht. Linksufrig hält sie bis auf die Höhe von Uttigen an, rechtsufrig, und das sehr deutlich, bis Bümberg. Je nach Wasserspiegelstand wechseln In- und Exfiltration linksseitig im Gebiet von Uttigen (hoher Wasserspiegel : Infiltration der Aare). Unterhalb von Uttigen herrscht eine kräftige Exfiltration mit einer Unterströmung der Aare vor. Bei den Nebenflüssen - Zulg und Glütschbach - überwiegt eindeutig die Infiltrationstendenz.

- Gefälle des Grundwasserspiegels, Fliessgeschwindigkeit: Abgesehen von der "Scharnierstelle" im Bereich der Aareschleuse beträgt der hydraulische Gradient, i, im oberen linksseitigen Beckenteil nur 1 - 2 ‰, was mit den dortigen, z.T. sehr grossen Durchlässigkeitsbeiwerten zu Fliessgeschwindigkeiten bis zu 20 m/Tag führt. Im Mittel dürften diese jedoch zwischen 5 - 12 m/Tag liegen. Unterhalb Thierachern - Lerchenfeld beträgt der Gradient im

Einklang mit dem Sohlengefälle der Aare 2 - 3 %o. Unter Berücksichtigung der vorherrschenden k-Werte ergeben sich im obigen Gebiet Fliessgeschwindigkeiten von ca. 8 - 30 m/Tag. Dies stimmt mit den Ergebnissen eines Markierversuchs bei Lerchenfeld überein, wo eine maximale Durchgangsgeschwindigkeit von 60 m/Tag - allerdings bei intermitierendem Pumpbetrieb und einer Impfstelle im Abstand von 220 m zum Brunnen - beobachtet wurde (s. WEA-Dokumentation: Schutzzonenuntersuchungen Pumpwerk Lerchenfeld für die Licht- und Wasserwerke Thun, 1982). Dieser Wert gilt jedoch nur für den Stromfaden des durchlässigsten Horizontes. Die mittlere Fliessgeschwindigkeit über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters dürfte jedoch 15 m/Tag kaum übersteigen.

Auf der gegenüberliegenden Talseite, im Gebiet Schwäbis - Heimberg liegen sehr ähnliche Verhältnisse vor: Ein mittleres Gefälle von 2 - 3 %o und eine Durchlässigkeit des Leiters von derselben Grössenordnung wie auf der linken Seite entsprechen hohen Fliessgeschwindigkeiten für das Grundwasser. Markierversuche bei Heimberg (s. WEA-Dokumentation: Schulhaus und Sportzentrum Heimberg, 1981/82) ergaben je nach Beobachtungsstelle maximale Abstandsgeschwindigkeiten von 40 - 200 (!) m/Tag. Diese Messungen wurden im Zusammenhang mit einer Wiederversickerung ausgeführt, d.h. unter lokal verstärktem hydraulischem Gefälle. Die Beobachtungsstellen lagen in 120 - 220 m Entfernung von der Versickerungsstelle. Ein unweit davon in der Kiesgrube Heimberg ausgeführter Färbversuch (s. WEA-Dokumentation: Kieswerk Heimberg AG, 1969) ergab maximale Abstandsgeschwindigkeiten, die je nach Entnahmestelle um 8 bis 100 m/Tag variierten. Von besonderem Interesse war dabei die Feststellung, dass der Grundwasserstrom - den zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden In- und Exfiltrationsverhältnissen entsprechend - die Aare teilweise in westlicher Richtung unterströmte.

Derart hohe Fliessgeschwindigkeiten lassen sich nur durch das Vorhandensein diakener Horizonte erklären, d.h. Schichten oder Linsen, die praktisch nur aus einer Kiesfraktion bestehen, d.h. aus der die Feinanteile während und nach der Ablagerung ausgewaschen wurden. Im vorliegenden Gebiet sind solche meist von geringer Mächtigkeit und stellen vermutlich alte Flussbetten dar.

Aehnlich hohe Fliessgeschwindigkeiten wurden in einzelnen Fällen übrigens auch im Seeland festgestellt (WEA 1976: Hydrogeologie Seeland).

- Schwankungen des Grundwasserspiegels: Die jährlichen Schwankungen betragen beidseits der Aare in der Regel 1,5 - 2 m, können jedoch bei extremen Witterungsbedingungen in einigen Gebieten bis über 2,5 m betragen. Dies war 1978 bei folgenden Stationen der Fall (Tab. 5.2): Schulhaus Allmendingen 612/176.19 (2,5 m), Schlachthaus Uetendorf 612/179.6 (2,7 m), Spielplatz Heimberg 612/180.44 (3,1 m), Schützenhaus Uetendorf 612/181.23 (3.3 m), Schulhaus Steffisburg 613/179.36 (3,1 m).

- Flurabstand: Abgesehen von den Auengebieten entlang der Aare und den hügeligen Randzonen liegt der Grundwasserspiegel im allgemeinen 5 - 11 m unter der Terrainoberfläche. In den Auen beträgt der mittlere Flurabstand meist 3 - 5 m, im Schuttfächer der Zulg bei Steffisburg dagegen mehr als 12 m.

Tallauf von Kiesen - Münsingen

- In- und Exfiltrationen: Bis unterhalb der Chisemündung herrscht beidseitig der Aare eine eindeutige Exfiltration vor, sodann bis Niederwichtrach wechselnde Verhältnisse (Hochwasserstand: Infiltration). Anschliessend bis zur Hunzigenbrücke folgt eine ausgeprägte Infiltrationsstrecke. Bei den Nebenflüssen - Rotache, Chise, Mülibach - liegt eine eindeutige Infiltrationstendenz vor.

- Gefälle des Grundwasserspiegels, Fliessgeschwindigkeit: Der mittlere hydraulische Gradient beträgt 2,3 %o. Extremwerte werden mit ca. 1 %o oberhalb der Rotachemündung und ca. 25 %o (!) bei der Einmündung des Kiesentals erreicht, Gefällsverhältnisse, die auf Durchlässigkeits- und Abflussquerschnittsveränderungen zurückzuführen sind. Sieht man von derartigen Grenzfällen ab, so beträgt die mittlere Fliessgeschwindigkeit 5 - 15 m/Tag.

- Schwankungen des Grundwasserspiegels: Im allgemeinen beträgt der saisonale Schwankungsbereich 1,0 - 1,5 m. Indessen sind grosse gebietsspezifische Unterschiede feststellbar, die auf den Dämpfungseffekt der Giessen oder in Randgebieten auf die gegenüber der Aare dominierende Grundwasserneubildung durch Niederschläge oder Bachinfiltrationen zurückzuführen sind. So sind die Schwankungen beim Schulhaus und Hunzigenguet, Münsingen sowie in der linksseitigen Hunzigenau landwärts der Giessen (Witigüll) < 1,0 m, während sie beim Parkbad Münsingen, bei Niederwichtrach (Neumatt, Auwald), bei den SBB Oberwichtrach und beim Schulhaus Kiesen 1,6 - 2,0 m erreichen.

- Flurabstand: Die mittlere Trockentiefe ist ziemlich konstant und beträgt im Gebiet der Aareauen häufig 1,5 - 3 m, während sie im übrigen Talbecken - von den Randzonen abgesehen - meist zwischen 2,5 - 5 m erreicht (Tabelle 5.2).

Belpmoosbecken

- In- und Exfiltrationen: Auf der gesamten linksseitigen Flussstrecke herrscht eine eindeutige Infiltration bis zum Selhofenzopfen vor, die anschliessend längs eines kurzen Flussabschitts durch die abrupte Einengung des Grundwasserleiterquerschnittes von einer massiven Exfiltration abgelöst wird. Indessen werden im Gebiet des Zopfens die natürlichen Abflussverhältnisse durch Giessen, Drainagen und Grundwasserpumpwerke sehr stark gestört. Da das Bett der Gürbe weitgehend kolmatiert ist, hat dieser Fluss nur eine geringfügige Wirkung auf den Grundwasserabfluss.

  Rechtsseitig ist der Grundwasserleiter nur rudimentär ausgebildet. Je nach Flussstrecke und Wasserstand dürften die In- und Exfiltrationsverhältnisse örtlich und zeitlich stark wechseln, was bei Muri auch nachgewiesen wurde.

- Gefälle des Grundwasserspiegels, Fliessgeschwindigkeit: Infolge der geringen Mächtigkeit des Grundwasserleiters haben das starke Relief des Stauers sowie die zum grossen Teil bis in die gesättigte Zone reichende schwerdurchlässige Deckschicht einen deutlichen Einfluss auf den Grundwasserabfluss. Daneben spielen die über die Giessen erfolgende Aareinfiltration und die erwähnten Drainagen und Pumpwerke im Selhofenzopfen eine dominierende Rolle.

Tabelle 5.2: Permanentes Grundwasser-Messstellennetz des Kantons Bern, WEA (Stand Jan. 1980) mit registrierten Grundwasserspiegelständen für die Periode 1976 - 79 (weitere Einzelheiten können dem hydrographischen Jahrbuch des Kantons Bern entnommen werden)

Ort	Koordinaten	Mittel (m ü.M.)	Flurabstand (m)	Amplitude (m)
Becken von Thun - Uetendorf:				
Kinderkrippe Uttigen	610.475/182.725	539.04	2.27	2.03
Lerchenfeld Thierachern	611.625/178.765	548.99	14.02	2.49
Fältschersmad Uetendorf	611.315/181.230	543.87	6.70	2.43
Schulhaus Allmendingen	612.070/176.780	551.81	8.52	2.53
Burgerweg Thun	612.965/178.035	550.89	14.44	2.29
Schlachthaus Uetendorf	612.330/179.930	547.23	9.29	2.69
Spielplatz Heimberg	612.920/180.825	545.65	6.20	3.11
Schützenhaus Uetendorf	612.185/181.170	544.16	3.96	3.28
Zivilschutzzentrum Thun	613.775/176.695	552.19	10.73	2.42
Schulhaus Steffisburg	613.720/179.760	549.28	17.40	3.07
Waisenanstalt Thun	614.125/178.140	552.07	8.25	2.05
Tallauf von Kiesen-Münsingen:				
Witigüll Belp	607.300/192.445	516.79	1.18	0.88
Parkbad Münsingen	608.250/190.750	520.84	2.48	1.73
Schulhaus Münsingen	608.995/191.435	521.33	5.82	0.95
Hunzigenguet Münsingen	608.190/192.700	517.30	0.71	0.95
Neumatt Niederwichtrach	609.890/188.625	526.35	3.20	1.78
Auwald Niederwichtrach	609.010/188.580	525.82	2.70	1.70
Houetlirüti Münsingen	609.350/190.130	522.90	2.41	1.22
Tannenhof Kiesen	610.430/183.640	537.38	3.11	1.57
Aarhus Kiesen	610.230/185.120	533.61	2.58	1.28
SBB Oberwichtrach	610.095/186.970	529.18	2.37	1.98
Schulhaus Kiesen	611.025/185.425	534.79	8.52	1.66
Belpmoosbecken:				
Hüenerhübeli Belp	604.120/195.290	506.60	4.05	1.41
Flugplatz Belp	604.150/196.335	506.95	1.43	1.39
Grossenbacher Belp	605.805/194.295	511.75	1.11	1.40
Pumpwerk Belp	606.185/193.300	513.30	2.83	1.71

Daraus ergibt sich ein sehr uneinheitliches Grundwasserströmungsbild mit verschiedenen Gefällsstufen und Richtungswechseln. Der hydraulische Gradient variiert zwischen 1 und 7 ‰; aufgrund der vorherrschenden Durchlässigkeitsbeiwerte resultieren daraus Fliessgeschwindigkeiten von 2 - 16 m/Tag.

- Schwankungen des Grundwasserspiegels: Während in den vorangehenden Teilgebieten die maximalen Grundwasserstände dem Aarepegel entsprechend meist im Jahr 1978 registriert wurden, traten sie im Belpmoos bezeichnenderweise im Jahr 1977 auf. Einerseits wird die Infiltration der Aare, wie bereits mehrfach betont, in diesem Gebiet durch die Giessen stark gedämpft; anderseits spricht der Grundwasserspiegel stark auf Niederschläge an (Fig. 4.5). 1977 war den lokalen Stationen Belp, Belpberg und Bern entsprechend das nieder-

schlagsreichste Jahr der hydrologischen Untersuchungsperiode (Tabelle 3.1). Die jahreszeitlichen Grundwasserspiegelschwankungen übersteigen im gesamten Gebiet im allgemeinen nicht 1,0 - 1,5 m (Ausnahme: 1,7 m Pumpwerk Belp 1976/77). Während niederschlagsarmen Jahren erreicht die gesamte Amplitude häufig 0,8 m nicht.

- Flurabstand: Der mittlere Grundwasserspiegel liegt in der Regel 1 - 4 m unter der Terrainoberfläche und ist je nach Wasserstand über grössere Gebiete verschieden stark gespannt. Namentlich im nordwestlichen Teil kann das hydraulische Potential des Grundwassers bei Hochwasser über die Terrainoberfläche ansteigen. Perforationen der Deckschicht können daher zu temporären Ueberschwemmungen führen.

Rinne Muri - Marzili

- In- und Exfiltrationen: Wie in der Talau bei Muri (Wehrliau) herrscht einerseits bei einer Ausweitung des Grundwasserleiterquerschnittes Infiltration und anschliessend, d.h. stromabwärts bei einer Einengung im allgemeinen Exfiltration vor, wobei die Intensität vom Wasserstand abhängig ist. Solche Engpässe treten vor allem rechtsseitig bei Muri - Mannenried und Dählhölzli auf und linksseitig bei Selhofen - Sandbüel, Wabern und Schönau. Daraus ergeben sich entlang der Aare drei kleinere Grundwassergebiete: Elfenau, Eichholz, Marzili.

- Gefälle des Grundwasserspiegels, Fliessgeschwindigkeit: Da es sich um ein sehr schmales, flussparalleles Grundwasservorkommen handelt, entspricht das mittlere Gefälle des Grundwasserspiegels etwa demjenigen der Aare und beträgt 1,5 - 2 ‰. Aufgrund der teilweise eher kleinen Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben sich daraus Fliessgeschwindigkeiten von etwa 1 - 4 m/Tag.

- Schwankungen des Grundwasserspiegels: Für dieses Gebiet liegen leider keine langjährigen Messreihen vor. Die Amplituden des Grundwasserspiegels dürften jedoch weitgehend denjenigen der Aare entsprechen und in der Regel 1,5 - 2,0 m betragen.

- Flurabstand: Dieser beträgt im Eichholz und Marzili durchschnittlich 1,2 - 2,0 m. Dort, wo das Grundwasservorkommen Elfenau nicht durch die Aare überflutet wird, dürfte der Flurabstand an keiner Stelle mehr als 1,0 m betragen.

5.6. Grundwasserqualität

5.6.1. Physikalische Eigenschaften

Temperatur:
Die Grundwassertemperatur ist in erster Linie abhängig von der direkten Wärmeeinstrahlung aus der Atmosphäre und vom Wärmeeintrag aus infiltrierenden Gewässern. In etwa 10 m Tiefe machen sich die atmosphärischen Temperaturschwankungen praktisch nicht mehr bemerkbar und die dort vorherrschende Tem-

peratur liegt etwa 1 - 2°C über dem Jahresmittel an der Oberfläche (P. TODD, 1959), die in Bern 8,3°C beträgt.

Im Gebiet des Aaretals werden die Schwankungen der Grundwassertemperatur weitgehend durch die infiltrierenden Oberflächengewässer, insbesondere der Aare, bestimmt. Auch bei geringem Flurabstand scheinen die atmosphärischen Temperaturschwankungen nur einen untergeordneten Einfluss auf das Grundwasser zu besitzen. So reagiert z.B. der Thermolimnigraph Witigüll (607/192.20) in der Hunzigenau bei einem Flurabstand von ca. 1,5 m (Temperaturfühler auf ca. 3,5 m) nicht unmittelbar auf die saisonalen Lufttemperaturunterschiede.

Wird die Temperaturganglinie der Aare für das Jahr 1979 mit denjenigen der Grundwasser-Thermolimnigraphen der Stationen Münsingen West (608/190.41), Witigüll (607/192.20) und M4, Münsingen (608/190.23) verglichen, so sind folgende Feststellungen bemerkenswert (Fig. 5.2):

- Das im Tiefengrundwasser installierte Piezometer M4 zeigt keine sichtbaren jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Alle Werte liegen zwischen 14,7°C und 15,3°C. Die geringfügigen Schwankungen sind vermutlich auf unterschiedliche Vertikalströmungen im Piezometerrohr zurückzuführen (Rohr Ø 8", Filter auf 123 - 131 m, Temperaturfühler in 20 m Tiefe).
  Es ist klar, dass mit dieser Messdisposition nicht unbedingt die Temperatur innerhalb der Filterstrecke wiedergegeben wird. Anderseits dürfte die Konvektionsströmung im grossdurchmesserigen Piezometerrohr eine Wärmeeinschichtung ermöglichen, so dass der hochgelegene Temperaturfühler trotzdem die Temperaturverhältnisse aus dem unteren Piezometerabschnitt wiedergeben sollte, was die gemessenen Werte auch beweisen.

- Das ca. 40 m neben der Aare liegende 41/2"-Piezometer Münsingen West mit einem Temperaturfühler in ca. 6 m Tiefe weist eine Amplitude, ΔT, von beinahe 10°C (ΔT Aare ~ 16°C) auf. Die Phasenverschiebung beträgt im Winter ca. 2 - 3 Monate, während sie im Sommer nur ca. 1 Monat beträgt. Dies dürfte auf eine verringerte Aarewasserinfiltration während den Wintermonaten zurückzuführen sein, beträgt doch der Aareabfluss während dieser Periode 2 - 3 mal weniger als im Sommer. Der dadurch verringerte benetzte Umfang des Flussquerschnitts, die geringere Strömungsgeschwindigkeit (Aufrauhung des Flussbettes bleibt aus) sowie vor allem die im Mittel um etwa 30 - 40 % erhöhte Viskosität des Wassers sind weitgehend für eine verzögerte thermische Reaktion im Winter verantwortlich.

- Das ca. 350 m von der Aare liegende 41/2"-Piezometer Witigüll mit einem Temperaturfühler in ca. 3,50 m Tiefe reagiert hydraulisch (Kapitel 4) wie thermisch sehr gedämpft. Dies ist einerseits auf die relativ grosse Distanz zur Aare, jedoch vor allem auf die dazwischen liegende Giesse zurückzuführen (Entfernung ca. 200 m). ΔT beträgt nur etwa 5°C und die Phasenverschiebung beträgt sowohl im Winter wie Sommer etwa 2 - 3 Monate. Dies steht nur im scheinbaren Widerspruch zu den obigen Ausführungen (Piezometer Münsigen West). Wie die Figur 4.4 ausführlich zeigt, reagiert das Piezometer Witigüll hydraulisch nicht oder sehr schleppend zum Aarespiegel. Lokale Witterungseinflüsse im Belpberggebiet dürften wahrscheinlich weitgehend auch für

das Temperaturverhalten verantwortlich sein. Da das Piezometer nur etwa 6 m unter die Oberfläche reicht, dürften Konvektionsströmungen im Rohr eine untergeordnete Rolle spielen.

Die am 15. und 16. Juli 1976 bei ca. 120 Stellen ausgeführten Grundwassertemperaturmessungen sind in der Beilage 4 zusammenfassend dargestellt. Als Messpunkte wurden Piezometerrohre verschiedenen Durchmessers sowie grössere und kleinere Fassungsschächte verwendet. Es ist offensichtlich, dass die auf diese Weise erhaltenen Angaben nicht das Temperaturregime in einer bestimmten Tiefe wiedergeben oder für den gesamten Hauptgrundwasserleiter in jedem Fall einen repräsentativen Durchschnittswert darstellen. Die daraus abgeleiteten Isothermen der Beilage 4 sollen vielmehr die Temperaturausbreitungstendenzen im Sommer vermitteln. Zum Vergleich wurde die Abfluss- und Temperaturganglinie der Aare aus dem Sommerhalbjahr 1976 in Figur 5.2 dargestellt. Die Messkampagne erfolgte unmittelbar nach dem Temperaturhöchststand der Aare (19,2°C am 12.7.1976) bei höherem Mittelwasserstand. Ueber den Verlauf der Isothermen können u.a. folgende Aussagen gemacht werden:

- Bis zum Burgerguet in Steffisburg infiltriert warmes Wasser aus dem Thunersee und der Aare. Eine ausgeprägte Aareinfiltration herrscht linksseitig oberhalb und rechtsseitig direkt unterhalb Uttigen vor. Die "Wärmebeule" stromaufwärts von Heimberg ist nicht auf die Aare sondern einen dort befindlichen ausgedehnten Baggersee zurückzuführen. Zwischen Jaberg und Muri macht sich mit wenigen Ausnahmen der Wärmeeintrag aus der Aare oder den damit verbundenen Giessenläufen in weiten Bereichen der Talebene, aber unterschiedlich, bemerkbar.

- Zufuhr von warmem Hang- und Drainagewasser ist auf der Westseite zwischen Belp und Kehrsatz zu beobachten sowie vermutlich auf der Nordseite des Belpbergs.

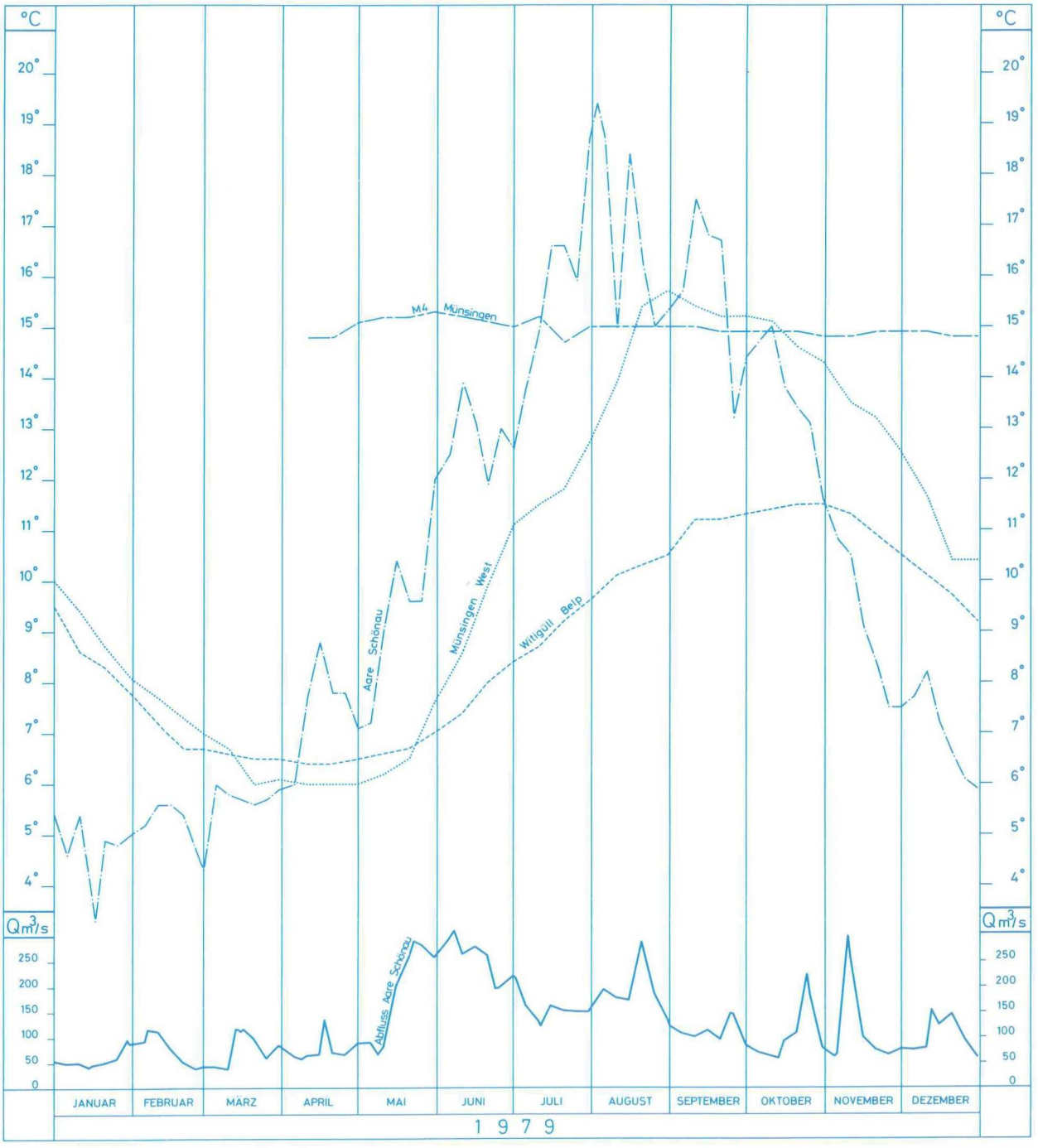
- Der Uebertritt von kühlem Grundwasser aus den Münsingenschottern ist deutlich am Talrand zwischen Münsingen und Oberwichtrach zu erkennen.

- Wenig warmes Grundwasser (Temperatur < 10°C) tritt nur südlich Kiesen auf. Dies dürfte zum Teil auf den im allgemeinen zunehmenden Flurabstand zurückzuführen sein, aber auch auf die grösstenteils hydraulisch verursachte Phasenverschiebung und teilweise auf Uebertritte von - bedingt durch die grosse Ueberdeckung kaum jahreszeitliche Temperaturschwankungen zeigendem - Grundwasser aus den randlichen Hügelgebieten (vgl. Kapitel 7).

Der Temperaturverlauf lässt sich weitgehend mit den Grundwasserabflussverhältnissen vergleichen (Beilagen 3), da die Temperaturausbreitung weitgehend durch Konvektion erfolgt. Grundwassergebiete, die durch die Aare hydraulisch nicht beeinflusst werden, zeigen selbstverständlich auch keine thermische Abhängigkeit. Das Gegenteil trifft indessen nur teilweise zu. So bleibt z.B. das Grundwasser im Rückstau zur Aare thermisch unbeeinflusst.

Sauerstoffisotopen:
Das Verhältnis dieser Isotopen im Infiltrationsbereich der Aare wurde unter dem Kapitel 4.3. eingehend erörtert.

5.2. Temperaturganglinien 1979 ausgewählter Grundwassermessstellen (Thermolimnigraphen) und der Aare sowie Abflussganglinie der Aare



5.6.2. Chemische Eigenschaften

Allgemeines:

Es wurden insgesamt 3 grössere Probenerhebungskampagnen durchgeführt, wobei zwei (1971) aus den ersten, durch das Büro CSD, Bern, ausgeführten Untersuchungsphasen stammen:

23.3. - 25.3.1971	:	73 Proben	(Niederwasserstand)
30.8. - 13.9.1971	:	70 Proben	(Mittelwasserstand)
14.3. - 5.4.1978	:	86 Proben	(Nieder- bis Mittelwasserstand)

Daneben wurden jeweils für verschiedene Detailuntersuchungen eine grössere Anzahl von kleineren Kampagnen ausgeführt, so z.B. am 28.9.1971 zur Erfassung des Chemismus der Oberflächengewässer (18 Proben). Zudem wurden uns von den öffentlichen und von zahlreichen privaten Wasserversorgungen die Analysen zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Nebst den Untersuchungen des kantonalen Labors waren vor allem diejenigen der Wasserversorgung Bern sowie des Kantonalen Gewässerschutzlaboratoriums von grösstem Nutzen. Das Wasser der obigen 3 Kampagnen stammte aus Fassungen von Gemeinde- und privaten Wasserversorgungen sowie zu einem geringfügigen Teil aus Versuchsbrunnen und Bewässerungsschächten. Abgesehen von vereinzelten Fällen wurden keine Schöpfproben aus dem Grundwasser entnommen, sondern immer ab laufender Pumpe.

Oberflächengewässer:

Wie schon mehrmals betont, üben die meisten Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet, insbesondere die Aare, einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserabflussverhältnisse aus. Dies trifft in etwas verringertem Masse auch für die Qualität des Grundwassers zu. Zur Interpretation des Grundwasserchemismus ist es deshalb von Bedeutung, die Mineralisation der Oberflächengewässer zu kennen. Eine Zusammenstellung der hauptsächlichen chemischen Komponenten der Aare und ihrer Zuflüsse ist in Figur 5.3 dargestellt. Auffallend sind die geologisch und zivilisatorisch bedingten Unterschiede zwischen der linken und der rechten Aareseite sowie zwischen den Gewässern selbst. Die augenfälligsten Merkmale sind:

- Die zivilisatorisch eindeutig stärker belastete rechte Aareseite (Chlorid, Nitrat)
- Die geologisch bedingte hohe Sulfatführung der linksseitigen Zuflüsse (die Giesse muss hier als "unechter" Zufluss oder als "Seitenarm" der Aare ausgeklammert werden)
- Das gegenüber ihren Zuflüssen schwach mineralisierte Aarewasser
- Die nur um etwa 10 % zunehmende Gesamtmineralisation des Aarewassers zwischen Thun und Bern (da der Zufluss sämtlicher Nebenflüsse im Mittel nur 10 % der Abflussmenge der Aare beträgt, ist ihr qualitativer Einfluss gering)
- Die Leitfähigkeit als Massstab für die Gesamtmineralisation sowie die Karbonathärte deuten auf die Bedeutung der Exfiltration im jeweiligen Flussge-

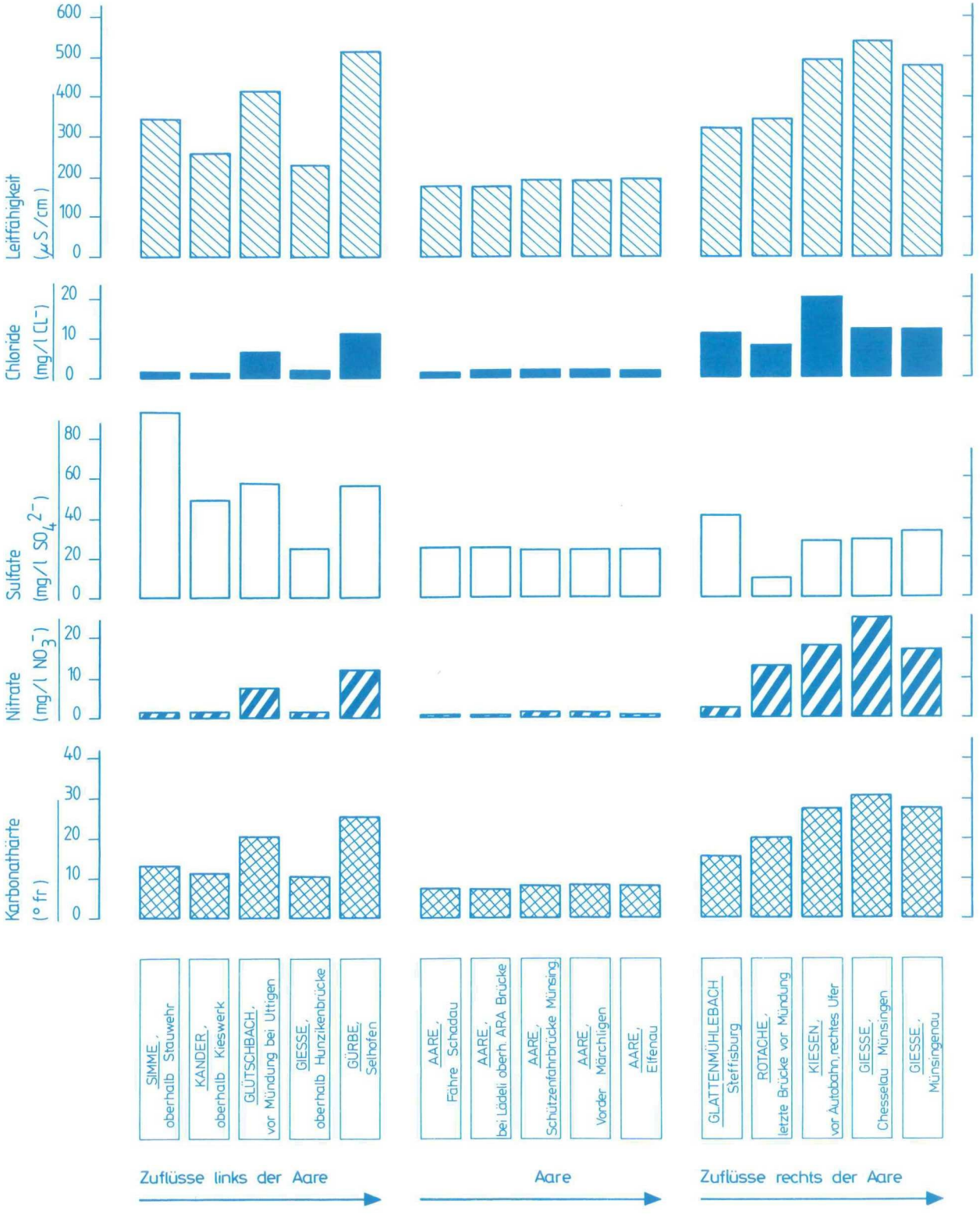
biet hin. Demnach werden vor allem die Gürbe und die Chise zu einem beträchtlichen Teil durch Grund- und Drainagewasser alimentiert, was auch bei den rechtsufrigen Giessen in der Chesselau und der Münsingenau der Fall ist, jedoch z.B. nicht bei der linksufrigen Giesse bei der Hunzigenbrücke (Aareinfiltrat).

Die Mineralisation der Oberflächengewässer ist stark abflussabhängig, da bei Hochwasser der schwach mineralisierte Meteorwasseranteil überwiegt. Der Chemismus hängt jedoch auch von der Jahreszeit, d.h. der Vegetationsperiode ab. Bei der Aare kommen diese Erscheinungen wegen der Seedämpfung und der Regulierung z.T. nur undeutlich zum Ausdruck. Trotz obiger Einschränkung können beide Effekte an der Nitratführung der Aare sichtbar gemacht werden (Fig. 5.4 und 5.5). Um ein repräsentatives Bild zu erhalten, wurden die Monatsmittelwerte einer 4-jährigen Periode berücksichtigt. Generell verhalten sich die Nitratkonzentration und der Abfluss umgekehrt proportional zueinander (Fig. 5.4). Betrachtet man die Beziehungen genauer (Fig. 5.5), so kann festgestellt werden, dass zwischen Juni und Oktober der Nitratgehalt weitgehend von der Wasserführung unabhängig ist (Einfluss des Schneeschmelzwassers?), dagegen während dem Winterhalbjahr ein grosses Konzentrationsgefälle bei wenig wechselnder Wasserführung vorherrscht. Dabei fällt vor allem die Nitratspitze im Februar auf. Offenbar werden zu diesem Zeitpunkt während Wärmeeinbrüchen grössere Stickstoffmengen bei teilweise gefrorenem Boden in die Oberflächengewässer eingeschwemmt.

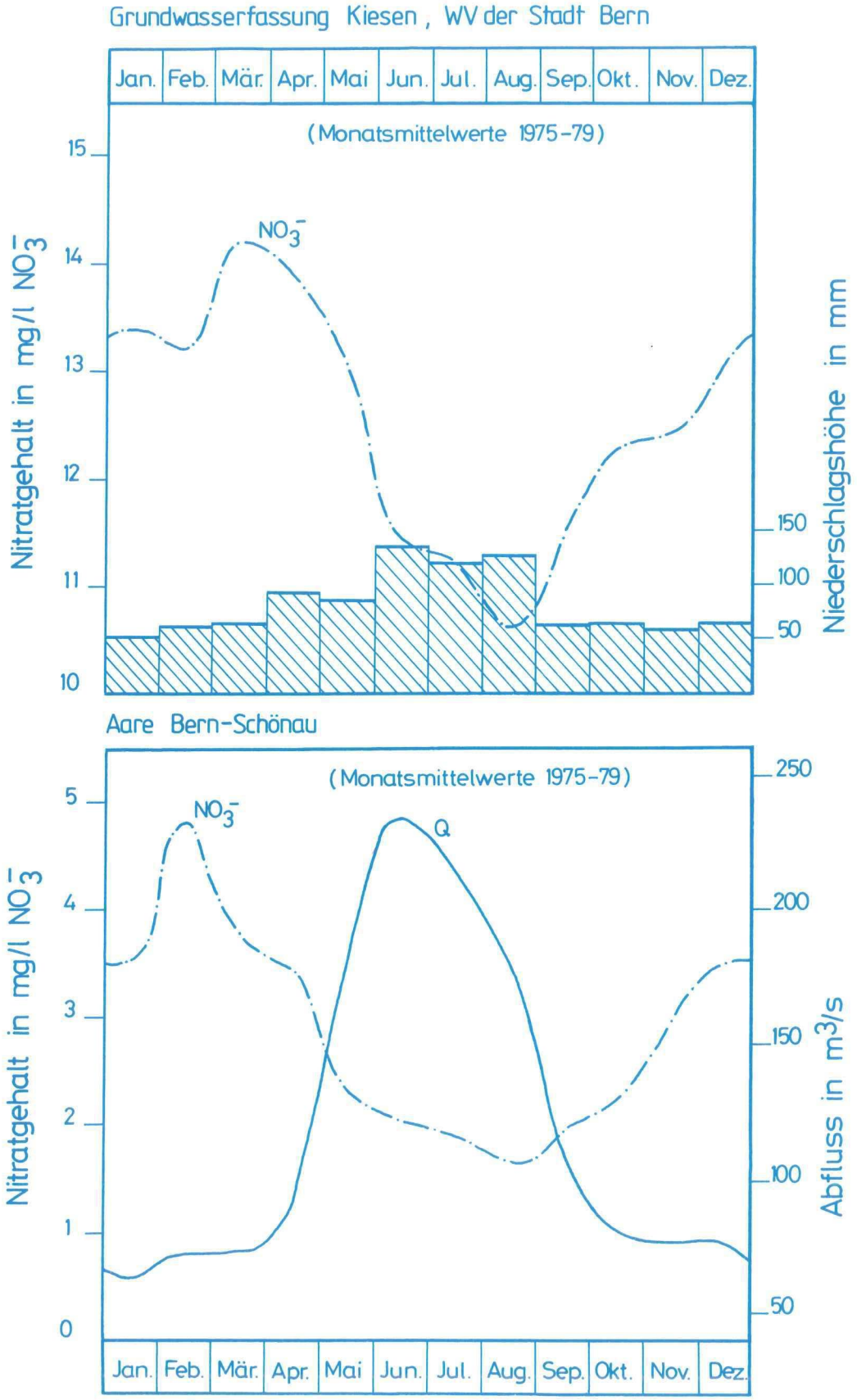
Der jahreszeitliche Verlauf des Nitratgehaltes verläuft in den Grundwasserfassungen der Stadt Bern bei Kiesen sehr ähnlich wie in der Aare (Fig. 5.4), nur dass die Gesamtkonzentration bedeutend höher ist. Der Schwankungsbereich von etwa 4 mg/l NO_3^- ist gleich, dagegen erscheint die deutliche Nitratspitze erst im März (Phasenverschiebung). Da gemäss den Ausführungen unter Kapitel 4.3 die Grundwasserbrunnen etwa zwischen 40 und 90 % durch Aareinfiltrat gespiesen werden, sind die übereinstimmenden Konzentrationsschwankungen nicht erstaunlich. Der Nitratgehalt des lokal gebildeten Grundwassers liegt in der Region Kiesen - Bümberg häufig bei 20 - 30 mg/l (Beilage 4) und ist offenbar nicht grossen Schwankungen unterworfen, so dass durch das Aareinfiltrat ein entsprechender Verdünnungseffekt erzielt wird. Die Niederschläge scheinen hier dagegen nur einen untergeordneten Einfluss auf die Nitratführung des Grundwassers zu besitzen. - Dieses Beispiel dürfte für die qualitative Beeinflussung des Grundwassers im Infiltrationsbereich der Aare und ihrer Zuflüsse typisch sein.

Die Oberflächengewässer sind sehr unterschiedlich verschmutzt, d.h. durch organische Inhaltsstoffe belastet. Der Belastungsgrad kann mittels verschiedener Parameter festgestellt werden. Aus den Analysenresultaten des Gewässerschutzlabors des Kantons Bern vom 8./9. September 1971 wurden folgende Indikatoren gewählt: Permanganatverbrauch (Oxydierbarkeit), BSB_5 (biochemischer Sauerstoffbedarf), Ammoniumsalze, Gesamtphosphat filtriert. Die Werte sind in der Tabelle 5.3 dargestellt. Es ist ein erheblicher Verschmutzungsgrad des Glütschbachs, der Gürbe, des Mülibachs (= Glättimühlebach), der Rotache und insbesondere der Chise feststellbar. In letzter Zeit dürfte sich der Zustand

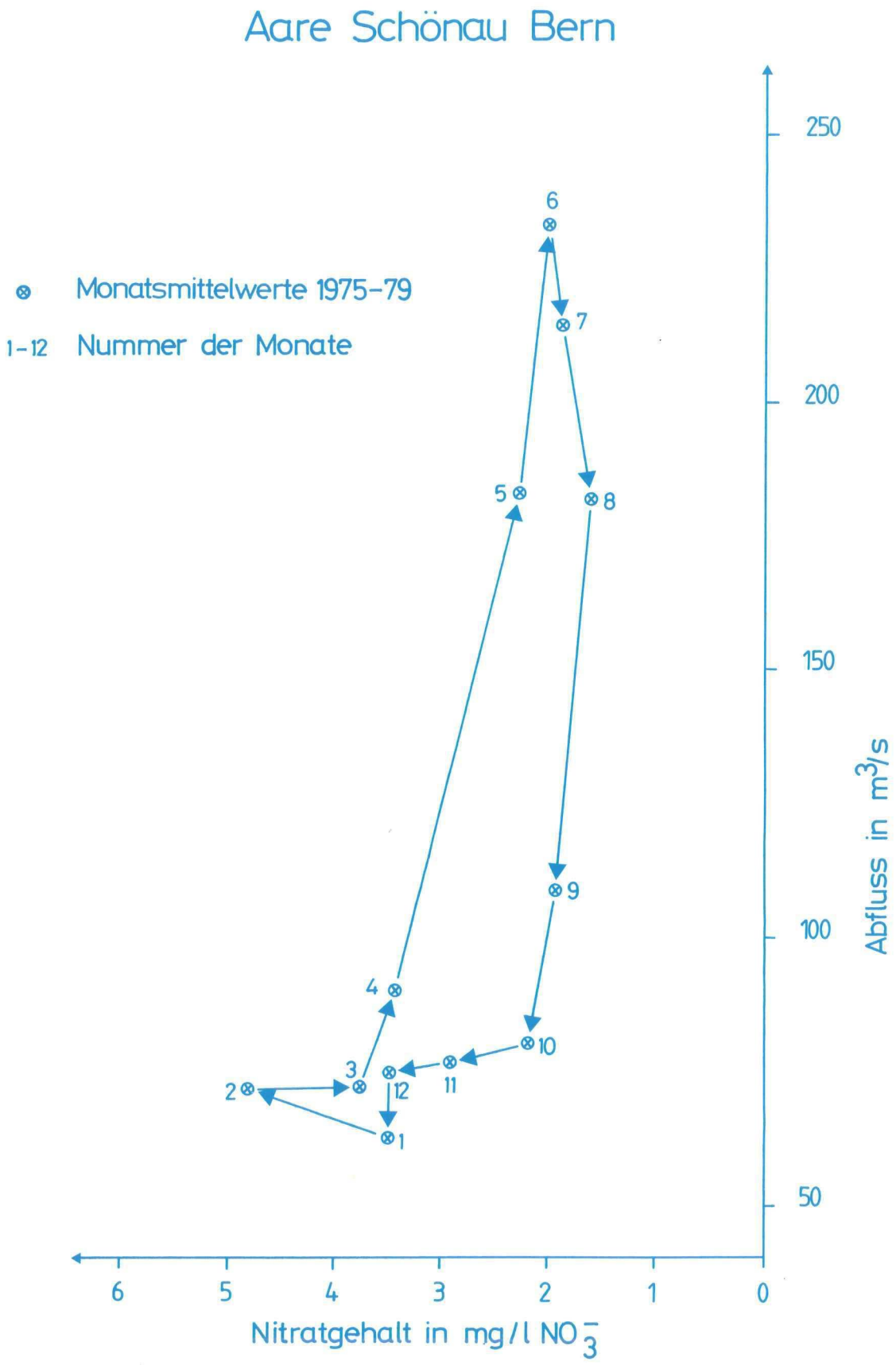
5.3. Chemismus der Aare und ihrer links- und rechtsseitigen Zuflüsse vom 28.9.1971



5.4. Variation des Nitratgehaltes (Monatsmittel 1975 – 79) in den Fassungen der WV Bern in Kiesen (Heberleitung) und der Aare in Beziehung zum Aareabfluss und den Niederschlägen



5.5. Variation des Nitratgehaltes in der Aare in Beziehung zum Abfluss (Monatsmittel 1975 - 79)



dieser Gewässer mit der Inbetriebnahme verschiedener Abwasserreinigungsanlagen etwas verbessert haben.

Die Infiltration von derartigem Flusswasser kann die Grundwasserqualität massiv beeinträchtigen. Nebst dem Eintrag unerwünschter Wasserinhaltsstoffe resultiert meist eine starke Sauerstoffzehrung mit den damit verbundenen Begleiterscheinungen, wie erhöhte Gehalte an Eisen und Mangan. Die Aare ist dagegen recht wenig belastet, ihr Infiltrat ist daher qualitativ selten zu beanstanden.

Tabelle 5.3: Verschmutzungsindikatoren in Oberflächengewässern (Analysen des kantonalen Gewässerschutzlabors vom 8./9. September 1971)

	$KMnO_4$ mg/l	BSB_5 mg O_2/l	NH_4 mg/l	Phosphat mg PO_4/l
linke Aareseite:				
Glütschbach, Uttigen	24	1,8	1,5	0,36
Giesse, Hunzigenbrücke	3	0,4	0,1	0,03
Gürbe, Selhofen	15	3,6	0,8	1,9
Drainagewasser, Selhofen	4,9	0,4	0,2	0,03
rechte Aareseite:				
Mülibach, Steffisburg	20	7,0	1,1	0,46
Rotache vor Mündung	14	1,5	0,7	0,20
Chise vor Autobahn	68	14,9	4,5	4,7
Innere Giesse, Chesselau	4,7	2,1	0,1	0,04
Giesse Münsingenau	5	1,3	0,3	0,18
Aare bei:				
Fähre Schadau, Thun	6	2,2	0,6	0,05
Schützenfahrbrücke, Münsingen	6	1,4	0,3	0,51
Elfenau, Bern	6	1,4	0,2	0,12

Grundwasser:

Allgemeine Mineralisationsbedingungen:

Der Chemismus des Grundwassers wird weitgehend durch die Art der Grundwasserneubildung sowie die Untergrundpassage des Wassers im ungesättigten und gesättigten Bereich bestimmt. Dabei ist die Qualität des in den Untergrund infiltrierenden Wassers für die nachfolgende Mineralisierung von grösster Bedeutung. Je nachdem, ob die Grundwasseralimentierung durch Niederschläge, Oberflächengewässer oder dem sogenannten Hangwasser erfolgt, resultiert meist ein unterschiedlicher Grundwasserchemismus, wobei die Passage durch die Humusschichten ebenfalls Vorbedingungen für die anschliessende Mineralisation schafft.

Im Infiltrationsbereich der Aare oder ihrer Zuflüsse ist, wie schon öfters erwähnt, die chemische Zusammensetzung des Grundwassers stark vom Flussinfiltrat abhängig. Mit zunehmender Flussdistanz des Grundwassers nimmt auch seine chemische Aehnlichkeit zum Flusswasser ab. Dies ist nicht nur auf die zunehmende Mineralisation im Untergrund zurückzuführen, sondern zu einem erheblichen Teil auf die Zufuhr von Niederschlags- und Hangwasserinfiltrat, die z.B. meist eine Aufhärtung des Grundwassers verursachen. Das Aareinfiltrat lässt sich chemisch kurz wie folgt charakterisieren: weich bis mittelhart, chlorid- und nitratarm sowie wenig mineralisiert (Leitfähigkeit µS/cm bei 20°C <350). Fassungen, die zu über 60 % Aare- oder Thunerseeinfiltrat fördern, sind u.a. diejenige der WV Thun-Seefeld, WV Köniz-Selhofen, WV Muri-Wehrliau und des Giessenhofs (Tabelle 5.4).

Tabelle 5.4: Analysenresultate von ausgewählten Grundwasserfassungen im Aaretal der Probekampagne vom 13.3. - 4.4. 1978

Hydrochemie Grundwasser Aaretal	WV Muri, Wehrliau 603/197.1	WV Köniz, Selhofen 603/196.13	Giessenhof 604/196.4	Jägerheim 605/195.18	Galactina, Belp 604/193.20	ARA Münsingen 608/192.13	WV Niederwichtrach 609/188.2	WV Oberwichtrach 609/187.3	Mosterei Kiesen 610/185.1	WV Steffisburg, Schwäbis 613/179.1	WV Heimberg, Lädeli 612/181.4	Selve, Uetendorf 610/180.21	WV Thun, Lerchenfeld 612/180.22 - 24	WV Thun, Seefeld 614/177.1
Gesamthärte, frz.°	16,3	18,4	19,0	26,8	31,9	38,1	37,2	36,2	37,3	26,0	23,0	37,8	23,6	16,9
Calciumhärte, frz.°	14,6	17,3	16,9	24,1	28,2	34,3	31,5	31,2	34,3	21,4	20,3	30,5	20,5	14,1
Karbonathärte, frz.°	12,2	14,5	14,8	22,7	27,8	31,8	31,7	31,3	31,9	20,9	20,4	32,5	19,4	13,3
Chloride, mg Cl/l	3,1	4,3	4,7	8,9	11,5	17,4	14,7	14,1	15,8	9,6	7,6	11,1	5,3	2,1
Sulfate, mg SO_4/l	45	44	43	33	32	28	25	25	27	45	22	47	43	44
Nitrate, mg NO_3/l	4	5	5	10	15	35	31	31	35	16	12	19	8	1
Oxydierbarkeit, mg $KMnO_4$/l	1,7	1,6	2,4	1,7	1,4	1,4	1,9	2,1	1,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1
Nitrite, mg NO_2^-/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ammoniak, direkt, mg NH_3/l	<0,05	<0,05	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Eisen, mg Fe/l	<0,005	<0,005	0,068	0,154	<0,005	<0,005	0,083	<0,005	0,031	0,016	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Mangan, mg Mn/l	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sauerstoffsättigung in %	-	-	60	31	-	86	-	-	44	-	-	-	-	-
pH-Wert	7,84	7,76	7,75	7,45	7,60	7,30	7,24	7,21	7,20	7,52	7,52	7,25	7,60	8,10
Leitfähigkeit uS/cm bei 20 °c	286	320	335	440	550	640	620	610	639	450	402	612	400	285

Eine Infiltration von Hangwasser in den Hauptgrundwasserleiter macht sich vor allem bei Heimberg, teilweise zwischen Kiesen und Münsingen, an der Nordflanke des Belpbergs sowie zwischen Belp und Kehrsatz bemerkbar. Unter Hangwasser versteht man im allgemeinen in Hügelgebieten versickertes Niederschlagswasser, das auf schwerdurchlässiger Unterla-

ge, wie z.B. Moräne und Gehängelehm, häufig oberflächennah in der Grundluftzone zum Abfluss kommt. Dabei hat es Gelegenheit, sich wiederholt mit Gasen zu sättigen und sich demzufolge rasch zu mineralisieren. Infolge des meist geringen Abstandes zur Terrainoberfläche kann zudem der Eintrag gelöster Substanzen mit Leichtigkeit erfolgen. Hangwasser ist deshalb meist stark mineralisiert, nicht zuletzt infolge zivilisatorischer Einflüsse (Düngung).

Das durch die N i e d e r s c h l a g s i n f i l t r a t i o n gebildete Grundwasser wird häufig auch "echtes" Grundwasser genannt. Je nachdem, wie die Deckschichten, die Geländemorphologie und die Vegetation ausgebildet sind, variiert die Versickerungsrate. Aus der Grundkarte (Beilage 1) können Gebiete mit relativ hoher Niederschlagsversickerung herausgelesen werden, d.h. Talböden mit gutdurchlässigen Deckschichten. Liegen diese nicht in der Nähe von Talflanken und infiltrierenden Oberflächengewässern, so wird dort der Anteil an "echtem" Grundwasser überwiegen. Dies dürfte stellenweise im Gebiet zwischen Allmendingen bei Thun und Uetendorf sowie beschränkt auch zwischen Oberwichtrach und Münsingen der Fall sein. Das sauerstoffreiche, weiche Niederschlagswasser nimmt im Vegetationsbereich des Bodens Kohlendioxyd auf. Damit sind die Voraussetzungen für einen raschen Mineralisierungsprozess in einem kalkreichen Untergrund gegeben. Je nach den Vegetationsverhältnissen werden bei der Versickerung auch Pflanzennährstoffe eingetragen. Die chemische Charakterisierung eines typischen Niederschlagsinfiltrats ist kaum möglich, zu sehr ist die Mineralisation von der Passage im Humusbereich und in der Grundluftzone abhängig. Häufig dürfte der Chemismus zwischen einem Oberflächenwasser- und Hangwasserinfiltrat liegen.

Der U e b e r t r i t t v o n W a s s e r a u s a n g r e n z e n d e n G r u n d w a s s e r l e i t e r n kann die chemische Zusammensetzung des Hauptgrundwasserstroms in mehrfacher Hinsicht beeinflussen. Diese Grundwasservorkommen der randlichen Hügelzonen (Kapitel 7) werden vor allem durch Niederschlag und Hangwasser alimentiert. Sie zeigen deshalb im allgemeinen einen hohen Mineralisierungsgrad. Einen erheblichen Anteil an aus randlichen Grundwasserleitern übergetretenem Wasser dürften z.B. die Fassungen der Mosterei Kiesen und der ARA Münsingen fördern, ein stark mineralisiertes, hartes nitratreiches Wasser (Tabelle 5.4).

Einzelne Komponenten (Beilage 4)

a) Gesamthärte, Karbonathärte

Abgesehen von einer Wasserprobe aus dem früheren Gaswerkareal der Stadt Bern mit extrem hohen Härtewerten, die jedoch in mehrfacher Hinsicht kontaminiert ist, liegen die Werte der analysierten Proben zwischen folgenden Extremen:

	FB Campagna (607/193.36)	GW Schacht Hüenerhubel (604/195.1)
Gesamthärte (frz. ^{o})	15,6	40,1
Karbonathärte (frz. ^{o})	11,7	34,1

(1 franz. H^{o} = 10 mg/l $CaCO_3$)

Die erhobenen Wasserproben zeigen eine ziemlich gleichmässige Verteilung zwischen diesen Extremwerten, je nachdem, ob es sich um Aareinfiltrat (weiches bis mittelhartes Wasser), um randlich infiltrierendes Hangwasser (hartes Wasser), um Grundwasserzufluss aus der Hügelzone, um "echtes" Grundwasser oder ein Gemisch handelt. Infolge des geringen Kohlensäureanteils im Aareinfiltrat - eine Passage durch die Vegetationsschicht fehlt - findet erst eine deutliche Aufhärtung durch einsickerndes Niederschlagswasser (oder Hangwasser) statt. Ohne "Fremdwasserzufuhr" kann das Aareinfiltrat nur in einem bescheidenen Mass Karbonate in Lösung bringen. Zwischen Thun und Uttigen sowie zwischen Uttigen und Kiesen ist die Aufhärtung dank "Fremdwasserzufuhr" sehr deutlich erkennbar. Dagegen bleibt diese entlang der Aare zwischen Münsingen und Muri infolge des dominierenden Anteils an Aareinfiltrat aus. Die grössten Härten sind eindeutig im Bereich der Hangwasserzuflüsse feststellbar (Hüenerhubel bei Kehrsatz!).

b) Chloride

Im Untersuchungsgebiet ist der Chloridgehalt des Grundwassers grösstenteils auf zivilisatorische Einflüsse (u.a. Cl-haltige Düngemittel) zurückzuführen. Da die Chloridkonzentration im Aarewasser und im Thunersee sehr gering ist (<3mg/l), sind die unmittelbaren Infiltrationsbereiche sehr klar erkennbar. Ebenso deutlich ist der Zufluss von chloridreichem Hangwasser und Grundwasser aus dem Hügelgebiet ersichtlich, insbesondere im Gebiet zwischen Kiesen und Münsingen, an der N-Abdachung des Belpbergs sowie sehr ausgeprägt zwischen Belp und Kehrsatz, wo wahrscheinlich auch belastetes Niederschlagsinfiltrat eine zunehmende Rolle spielt (Drainagen). Zwischen den Probekampagnen im März 1971 und März 1978 ist ausnahmslos eine deutlich zunehmende Tendenz im Chloridgehalt feststellbar (Fig. 5.6), dies obwohl bei der späteren Kampagne ein leicht höherer Wasserstand zu verzeichnen war (möglicher Verdünnungseffekt). Es wurden folgende Extremwerte gemessen:

FB EMD, Thun	(612/178.1)	:	1,5 mg Cl/l
GW - Schacht, Belp	(606/193.6)	:	33,5 " "

90 % der Werte lagen zwischen 2 und 20 mg Cl/l.

c) Nitrate

Die Herkunft der Nitrate kann zu einem überwiegenden Teil auf die landwirtschaftliche Düngung zurückgeführt werden. Entsprechend dem sehr nitratarmen Aarewasser (<2 mg NO_3/l) sind auch hier wie beim Chloridgehalt einerseits die Ausbreitung des Aareinfiltrats sowie anderseits die hauptsächlichen Zuflüsse von Hangwasser, fremdem Grundwasser oder Niederschlagsinfiltrat aus intensiv genutzten Ackerbaugebieten deutlich sichtbar. Auf die entsprechende Relation zu den Oberflächenwasserzuflüssen der Aare wurde schon hingewiesen. Im Gegensatz zum Chlorid ist eine zunehmende Tendenz in der Nitratführung zwischen 1971 und 1978 nur schwach erkennbar. Dank dem nitratarmen Aareinfiltrat werden die grösseren öffentlichen Grundwasserfassungen im Aaretal nicht durch Nitratprobleme beeinträchtigt (Richtwert gemäss schweiz. Lebensmittelbuch 1972: 40 mg NO_3/l). Folgende Extremwerte wurden analysiert:

5.6. Chemismus ausgewählter Grundwasserfassungen links- und rechtsseitig der Aare (linke Kolonnen: März 1971, rechte Kolonnen: März/April 1978)

FB Seefeld, Thun : 1 mg NO_3/l

FB Sipuro, Niederwichtrach : 45 mg "

Von 86 im März 1978 erhobenen Proben besassen 4 einen Gehalt >40 mg/l. 90 % der Werte lagen zwischen 3 und 35 mg NO_3/l.

d) Oxydierbarkeit

Die Oxydierbarkeit gilt als Verunreinigungsindikator und stellt ein Mass für die organische Belastung des Grundwassers dar. Sie entspricht dem Verbrauch von Kaliumpermanganat ($KMnO_4$) in mg/l. Der nicht zu übersteigende Richtwert gemäss schweizerischem Lebensmittelbuch 1972 beträgt 6 mg/l. Es ist offensichtlich, dass die organische Belastung häufig eher einen lokalen Ursprung hat, d.h. durch verschmutztes Oberflächenwasser-Infiltrat, unsachgemässe Fassungen oder organische Bodenschichten (Torf) hervorgerufen wird. Nur zwei von den im März 1978 erhobenen Grundwasserproben besassen einen Wert > 6 mg/l, zwei Grundwasserschächte bei Heimberg (612/182.14) und bei Oberwichtrach (610/187.6).

e) Eisen

Hohe Eisen- und Mangangehalte sind im allgemeinen auf Sauerstoffarmut des Grundwassers zurückzuführen. Sofern zuwenig Sauerstoff vorhanden ist oder eine Abgabe von Kohlendioxyd an die Atmosphäre durch tonige Abdeckschichten verunmöglicht wird, findet keine Ausfällung von Eisen und Mangan statt. In Moorwässern können diese Elemente zudem in organischer Bindung vorkommen. Da das Aareinfiltrat sauerstoffreich und organisch wenig belastet ist, treten entlang der Infiltrationszonen nur sehr geringe Eisengehalte (<0,005 mg/l) auf. Das schweizerische Lebensmittelbuch 1972 gibt einen tolerierbaren Richtwert von 0,1 mg Fe/l an. Dieser wurde nur an 3 Stellen überschritten: Sod Auguet (604/196.33), Piezometer Jägerheim (605/195.18) und Piezometer Hinderi Au (606/193.51). Möglicherweise dürften an diesen Stellen Moorwässer dafür verantwortlich sein (organisch gebundenes Eisen). Bezeichnenderweise stammen die Proben aus dem gleichen Gebiet und aus Stellen ohne ständige Grundwasserentnahme.

f) Sauerstoffsättigung

Die Sauerstoffsättigung ist gesundheitlich ohne Bedeutung. Wie oben erwähnt, kann jedoch sauerstoffarmes Grundwasser gelöste Eisen- und Manganverbindungen enthalten, die unliebsame Inkrustationen, Korrosionen und Rostflecken verursachen können. Beträgt die Sauerstoffsättigung >60 % (Richtwert), so können derartige, auf eine Sauerstoffarmut zurückzuführende Erscheinungen ausgeschlossen werden. Von den anlässlich der Probenentnahmekampagne März 1978 erhobenen Sauerstoffproben erreichten etwa 40 % den obigen Richtwert nicht. Ein auffallendes Sauerstoffdefizit war namentlich im Gebiet des Belpmoos, zwischen Kiesen und Niederwichtrach und bei Uttigen feststellbar. Gründe für die Sauerstoffzehrung dürften unterschiedlich sein, wie z.B. tonige Abdeckschichten, organische Bodenschichten, organisch stark belastetes Infiltrat, stagnierendes Wasser.

5.7. Grundwasserbilanzierung

Infolge der schon öfters erwähnten, dominierenden Wechselwirkung zwischen Aare und Grundwasser (siehe u.a. Kapitel 3) musste sich die Grundwasserbilanz weitgehend auf die Bestimmung der Grundwasserabflussmenge nach DARCY beschränken. Als Basis dienten dazu die geologischen Querprofile (Beilage 2), die Grundwasserspiegel-Isohypsen (Beilage 3) und die k-Wert-Bestimmungen, die teilweise in der Beilage 1 aufgeführt sind. Die in Fig. 5.7 schematisch dargestellten Grundwasserabflussmengen stellen approximative Durchschnittswerte dar, ohne den Betrieb der Fassungen zu berücksichtigen. Sie widerspiegeln die annähernd talparallele Abflusskapazität des Hauptgrundwasserleiters bei mittlerem Grundwasserstand. Da namentlich bezüglich der Lage des Stauers und der Heterogenität des Grundwasserleiters stellenweise grosse Unsicherheiten bestehen, müssen die angegebenen Grundwasserabflussmengen als grössenordnungsmässige Werte betrachtet werden. Ihre durchschnittliche Genauigkeit dürfte etwa bei $\pm$ 25 % liegen.

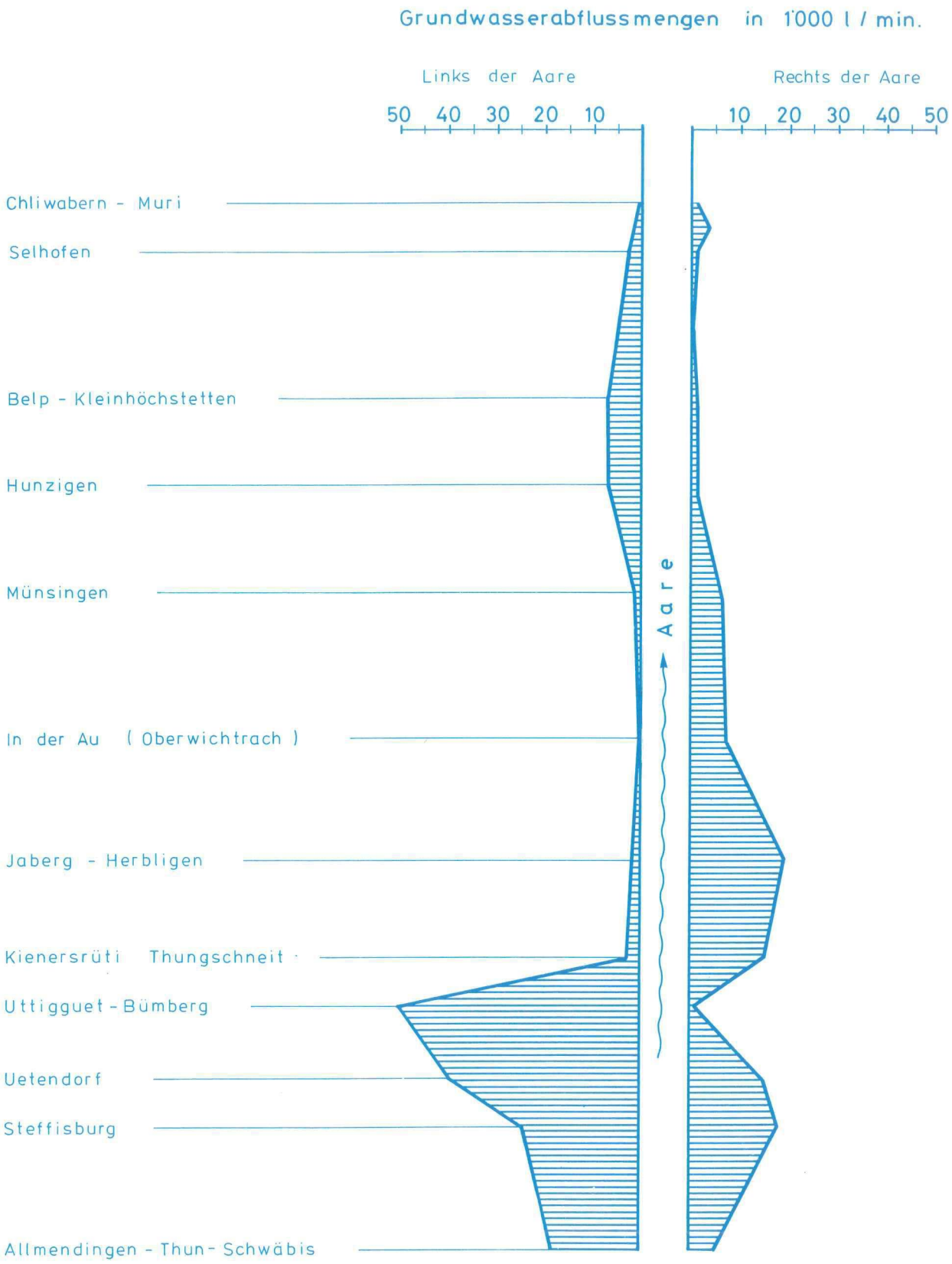
Linksseitig der Aare werden die grössten Grundwasserabflussmengen im Gebiet Uetendorf-Uttigen mit ca. 50'000 l/min. erreicht, was vor allem auf den bedeutenden Grundwasserleiterquerschnitt und die grosse Durchlässigkeit zurückzuführen ist. Dabei wurden die aufgrund von Grosspumpversuchen in Aarenähe festgestellten, teilweise über $1 \cdot 10^{-2}$ m/s liegenden k-Werte nicht auf den gesamten Grundwasserleiterquerschnitt übertragen. Vielmehr wurden mittels weiteren Aufschlüssen in der Umgebung sowie aufgrund von geologischen Ueberlegungen so weit als möglich Durchlässigkeitsabstufungen vorgenommen. Dieses Vorgehen fand bei allen Bilanzierungsprofilen (Fig. 5.7) Anwendung.

Die Grundwasserabflussmengen sind nicht mit dem nutzbaren Grundwasserdargebot zu verwechseln. So besteht z.B. nur ein scheinbarer Widerspruch zwischen dem Grundwasserabfluss von 15 - 20'000 l/min. rechtsseitig der Aare zwischen Thungschneit und Herbligen und der konzessionierten Entnahmemenge von 55'000 l/min. für die Fassungen der WV Bern in diesem Gebiet (vgl. Kapitel 5.8).

Den grössten Anteil am Grundwasserabfluss ist auf See- und Aareinfiltrat (Kapitel 4.3.2) und das durch Niederschlagsinfiltration gebildete "echte" Grundwasser zurückzuführen. Dank der unter der Leitung des WEA ausgeführten hydrogeologischen Arbeiten für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern (Seeland, Emmental, Oberaargau) liegen Angaben vergleichbarer Gebiete vor, die eine Abschätzung der Niederschlagsinfiltration erlauben. Im flachliegenden Gebiet des Hauptgrundwasserleiters versickern demnach je nach der Ausbildung der Deckschichten, der Bodenbeschaffenheit und der Vegetation bis zu über 50 % der Niederschläge. Bei einer Oberfläche von ca. 50 km^2 (Kapitel 5.1) ergäbe dies bei einer mittleren Niederschlagshöhe für die Jahre 1976 - 79 von 1029 mm (Kapitel 3.1) eine durchschnittliche Grundwasserneubildung von bis zu 0,82 m^3/s oder 49'000 l/min.

Zählt man zum Vergleich mittels Fig. 5.7 die exfiltrierenden Grundwasserabflussmengen zusammen, so erhält man unter Berücksichtigung grösserer Aareunterströmungen (Uttigen - Kiesen) linksseitig ca. 50'000 l/min. und rechtsseitig ca. 40'000 l/min. Somit könnte grössenordnungsmässig etwa die Hälfte der

5.7. Approximative, mittlere Grundwasserabflussmengen durch den Hauptgrundwasserleiter links- und rechtsseitig der Aare (schematisch)



Grundwasserabflussmenge auf infiltrierende Niederschläge zurückzuführen sein. Im Vergleich zum Fluss- resp. Seewasserinfiltrat und der Niederschlagsversickerung scheint der Anteil an infiltrierendem Hangwasser oder an den Wasserübertritten aus angrenzenden Grundwasserleitern eher bescheiden zu sein. Dasselbe gilt für die Exfiltration aus Aarenebenflüssen (z.B. Glütschbach und Rotache). Die hypothetische Bilanz der Grundwasserneubildung könnte für den Hauptgrundwasserleiter etwa folgendes Bild annehmen:

Niederschlagsversickerung	ca. 45 - 55 %
Aare- und Seewasserinfiltrat	ca. 30 - 40 %
übrige Anteile	ca. 15 - 20 %

Nicht berücksichtigt wurde die durch die Giessen aufgefangene Aareinfiltration. Diese beträgt linksseitig zwischen Schützenfahrbrücke und dem Selhofenzopfen durchschnittlich 60'000 l/min. und rechtsseitig bis zur Hunzigenbrükke, nach Abzug der schlecht bekannten Hangwasserzuflüsse, etwa 20 - 30'000 l/min. (Kapitel 4.2).

5.8. Siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte

5.8.1. Grundwasserdargebot

In der Regel kann das totale Grundwasserdargebot der gesamten Grundwasserabflussmenge gleichgesetzt werden, wobei aus verschiedenen Gründen nicht dauernd diese Menge gefördert werden kann, ohne dass sich negative Einflüsse geltend machen. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist deshalb häufig kleiner. Eine Ausnahme dieser Regel stellt der Hauptgrundwasserleiter des Aaretals dar. Infolge des nicht oder nur gering kolmatierten Flussbettes (Kapitel 3.3) kann praktisch auf der gesamten Flussstrecke zwischen Thun und Bern ein Austausch zwischen Grund- und Flusswasser stattfinden. Da der Grundwasserleiter häufig weniger breit als 2 km ist und die annähernd talparallele Grundwasserströmung meist dominiert, kann eine künstlich erzeugte Grundwasserspiegel-Gefällsveränderung noch in grosser Flussentfernung einen Einfluss auf die Wechselbeziehung Aare/Grundwasser ausüben. Dies ist insbesondere in Infiltrationsgebieten der Fall. Durch geeignete Wahl von Fassungsstandorten kann deshalb die Infiltrationsmenge aus der Aare lokal um ein Vielfaches gesteigert werden. Sie nimmt proportional mit dem in Flussnähe erzeugten Gradienten zu.

Ein Beispiel dazu ist aus Figur 5.8 ersichtlich. Während der natürliche Grundwasserabfluss bei Selhofen (links der Aare) etwa 3500 l/min. und auf der gegenüberliegenden Wehrliau kaum 2000 l/min. erreicht (Fig. 5.7), kann mittels geeignet angeordneten Fassungen gesamthaft beidseitig mehr als das 5-fache oder über 30'000 l/min. dauernd gefördert werden und zwar bei einer relativ bescheidenen Transmissibilität von ca. $2{,}4 \cdot 10^{-2} m^2/s$. Aehnlich sind die Verhältnisse linksseitig der Aare in der Hunzigenau. Bei einer Grundwasserabflussmenge von etwa 6000 l/min. (Fig. 5.7, Profil Hunzigen) wurden in diesem Gebiet bei einem Simultanpumpversuch in mehreren Versuchsbrunnen 17'000 l/min. entnommen. Dabei dürfte die förderbare Menge in diesem Gebiet beinahe das Dop-

pelte betragen. Etwas anders liegen die Verhältnisse in Thun - Lerchenfeld (Fig. 5.7, Profil Steffisburg und Fig. 5.8). Die linksseitige Grundwasserabflussmenge beträgt hier etwa 24'000 l/min. Die in etwa 100 - 200 m Entfernung von der Aare liegenden Fassungen befinden sich in einem je nach Wasserstand wechselnden In- oder Exfiltrationsgebiet (hoher Wasserstand: Infiltration vorherrschend). Die Transmissibilität beträgt im Mittel etwa $8 \cdot 10^{-2}$ m^2/s. Unter diesen Bedingungen macht sich die künstlich herbeigeführte, d.h. induzierte Infiltration durch eine simultane Entnahme von 11'000 l/min. nur schwach bemerkbar. Die möglicherweise in einem alten Kanderlauf befindlichen Fassungen könnten mit zusätzlichen, optimal angeordneten Brunnen ohne weiteres mehrere 10'000 l/min. fördern. Auf das rechtsseitig der Aare liegende Gebiet bei Kiesen und die Fassungen der WV Bern wurde im vorangehenden Kapitel hingewiesen.

Alle Beispiele haben folgendes gemeinsam:

- Die Fassungen liegen in einer Entfernung < 300 m von der Aare
- Es handelt sich um Infiltrationsgebiete der Aare
- Die Transmissibilität ist > $1 \cdot 10^{-2}$ m^2/s.

Diese Punkte bilden im wesentlichen auch die Voraussetzungen für eine grössere induzierte Infiltration. Insbesondere bei Grundwasserleitern mit einer Mächtigkeit > ca. 8 m und einem k-Wert > ca. $3 \cdot 10^{-3}$ m/s, d.h. mit einer Transmissibilität >> $1 \cdot 10^{-2}$ m^2/s stellt jedoch die Flussentfernung von 300 m diesbezüglich keinen Grenzwert dar. Sofern der Grundwasserleiter mächtig genug ist, kann zudem auch in einem Exfiltrationsbereich mittels grosser Grundwasserspiegelabsenkung eine Aareinfiltration erwirkt werden.

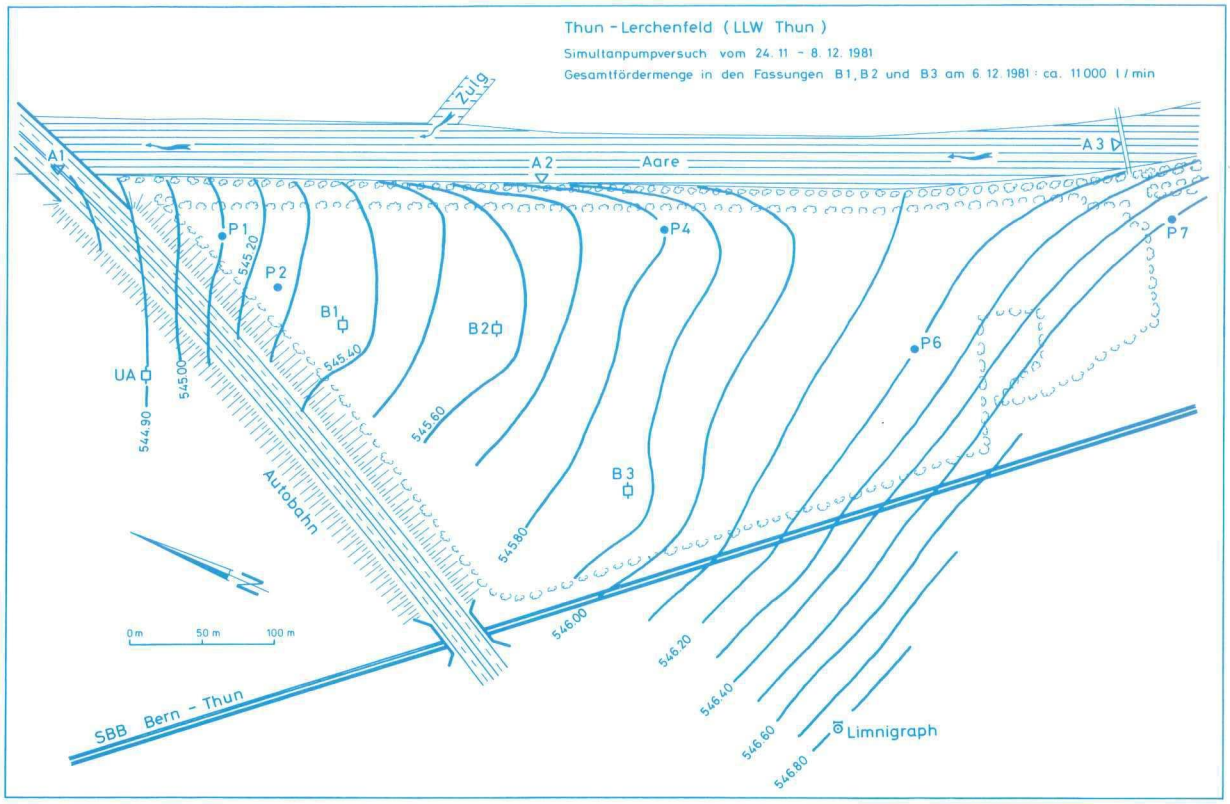
Unter Berücksichtigung des Grundwasserleiterlängsschnittes entlang der Aare und dessen geschichteten Aufbaus sowie eines provozierten hydraulischen Gradienten von ca. 1,5 - 2 % (entspricht z.B. den Verhältnissen im Selhofenzopfen) würden sich in Infiltrationsgebieten, oder dort, wo eine Wechselwirkung zwischen In- und Exfiltration herrscht, etwa folgende i n d u z i e r t e I n f i l t r a t m e n g e n durch geeignet angeordnete Fassungen fördern lassen:

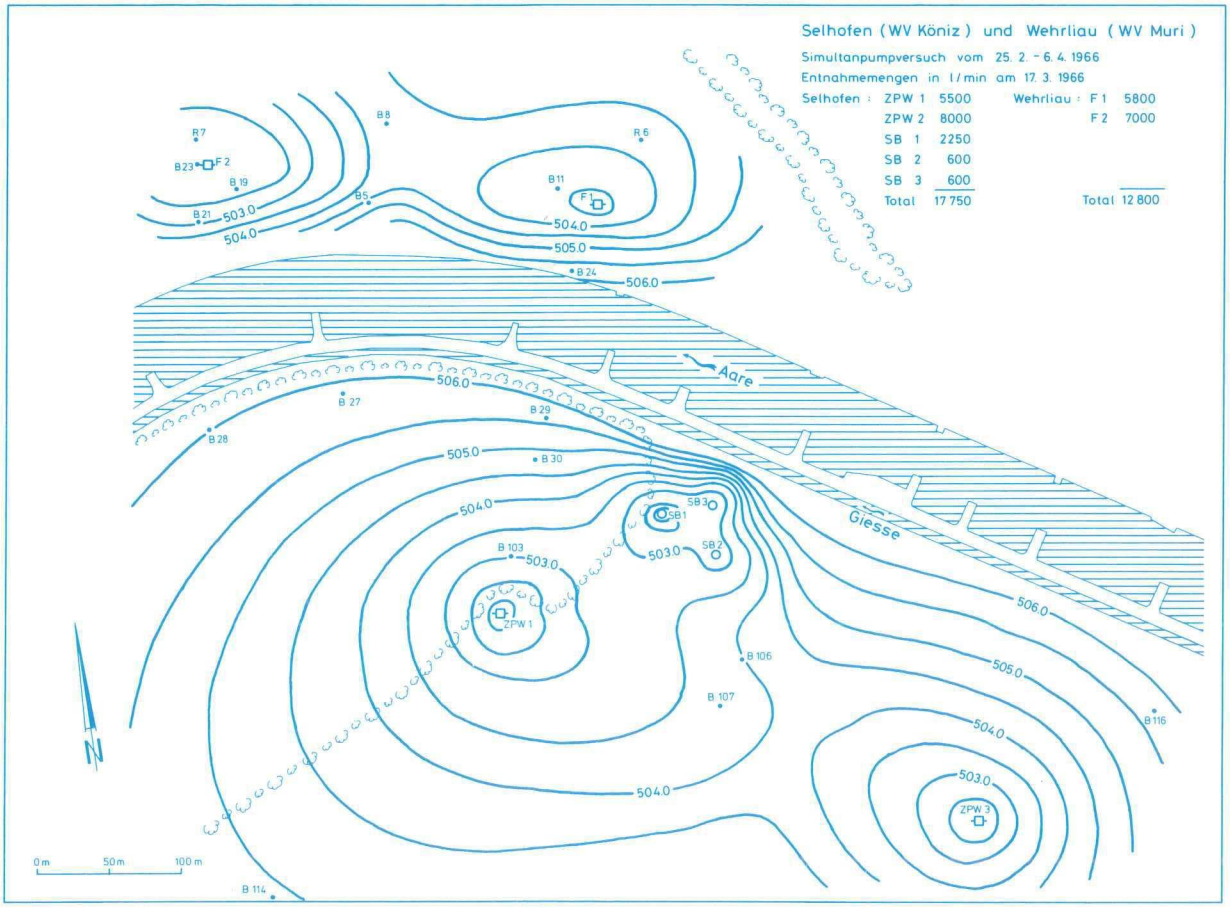
Thun - Uttigen	ca. 3,4 m^3/s
Thungschneit - Münsingen (Mälchplatz)	ca. 1,6 m^3/s
Münsingen (Hunzigenau) - Selhofen (inkl. Wehrliau)	ca. 1,3 m^3/s
Muri - Bern-Marzili	ca. 0,2 m^3/s
T o t a l	ca. 6,5 m^3/s
	(ca. 390'000 l/min.)

was etwa der 4-fachen gesamten natürlichen Grundwasserabflussmenge entspricht.

Diese Infiltratmengen könnten stellenweise durch sehr nahe der Aare liegende Fassungen (wie z.B. in der Wehrliau), d.h. durch eine Erhöhung des oben angenommenen hydraulischen Gefälles noch bedeutend gesteigert werden, was jedoch

5.8. Beispiele zur Entnahme grösserer Grundwassermengen in Aarenähe. Isohypsen abgesenkter Grundwasserspiegel bei relativem Niederwasserstand





meist auf Kosten der Grundwasserqualität geschehen würde (z.B. Durchbrüche organischer Schadstoffe; vgl. J.K. SCHNEIDER, R.P. SCHWARZENBACH, E. HOEHN, U. GIGER, H.R. WASMER, 1981). Obwohl sich die Qualität des Aarewassers durch die Inbetriebnahme von Abwasserreinigungsanlagen generell ständig verbessert hat, dürfte dieses vermehrt durch biologisch nur langsam abbaubare Schadstoffe oder solche mit schlechten Sorptionseigenschaften belastet werden.

Für Trinkwasserzwecke werden aus qualitativen Gründen die obigen Mengen nicht voll nutzbar sein. Während in anorganisch-chemischer Hinsicht kaum negative Auswirkungen zu befürchten sind und - wie die Erfahrung gezeigt hat - bakteriologische Durchbrüche zwischen Fluss und Grundwasser bei nicht allzu grossen Fliessgeschwindigkeiten im allgemeinen selten erfolgen, kann andererseits das Infiltrat organische Schadstoffe (z.B. unpolare organische Verbindungen) eintragen und zudem während des Sommers den Temperaturrichtwert von 15°C leicht übersteigen.

Ein Beispiel zur Temperaturabhängigkeit liefert der etwa 40 m neben dem rechtsseitigen Aareufer liegende Horizontalfilterbrunnen S 2 in der Wehrliau bei Muri, dessen horizontale Fassungsstränge bis ca. 20 m an die Aare reichen (Fig. 5.9). Bei einem Dauerpumpversuch im vorangehenden Versuchsbrunnen veränderte sich die Gesamthärte (stellvertretend für den Gesamtchemismus) und die Temperatur wie folgt: Zu Beginn des Pumpversuchs wurde durch den landwärts am Stauer anstossenden Absenkungstrichter relativ hochmineralisiertes Hangwasser angesogen, das sodann immer mehr durch Aareinfiltrat ersetzt wurde. Im ca. 90 m von der Aare entfernt liegenden Beobachtungsrohr R 6 stieg als Folge davon die Gesamthärte von ca. frz. ° 33 auf über frz. ° 40, um sodann bis unter frz. ° 26 abzufallen; dagegen konnte bei der Temperatur nur ein geringer Anstieg verzeichnet werden. Im Versuchsbrunnen S 2 war nach einer anfänglichen leichten Härtezunahme, ein allmählicher Abfall bis auf frz. ° 13 festzustellen; die Temperatur stieg dagegen innerhalb der gleichen Zeitspanne von ca. 10°C auf über 16°C (E. BAUMGARTNER, 1964, s. WEA-Dokumentation).

Eine im Rahmen der Aaretaluntersuchungen ausgeführte Grundwasserprospektion in den Aareauen (WEA-Bericht 1977) zeigte in den wenig ausgedehnten Grundwasserleitern zwischen Muri und Marzili stellenweise Qualitätsbeeinträchtigungen, die teilweise zivilisatorisch bedingt waren, so dass die Gebiete wenigstens für grössere Trinkwasserentnahmen nicht in Frage kommen. Weitere Gebiete dürften namentlich aus schutzzonentechnischen Gründen für Trinkwasserbrunnen ausser Betracht fallen. Diese genauer zu quantifizieren scheint indessen kaum möglich zu sein. Unter Berücksichtigung der natürlichen Grundwasserabflussmenge, der möglichen Infiltratssteigerung sowie von lokalen qualitativen Einschränkungen wird das g e s a m t e n u t z b a r e G r u n d w a s s e r d a r g e b o t f ü r T r i n k w a s s e r z w e c k e auf folgende Mengen geschätzt:

Thun - Uttigen		2,9 m^3/s
Thungschneit - Münsingen (Mälchplatz)		1,5 m^3/s
Münsingen (Hunzigenau) - Selhofen (inkl. Wehrliau)		ca. 1,2 m^3/s
Muri - Bern-Marzili		ca. 0,05 m^3/s
T o t a l	(ca. 339'000 l/min.)	ca. 5,65 m^3/s

Die angegebenen Zahlen sind eher vorsichtig ermittelt worden. Für Brauchwasser ohne spezielle qualitative Anforderungen wird das entsprechende Dargebot insgesamt um mindestens 20 - 30 % höher liegen, insbesondere durch Steigerung des Flussinfiltratanteils. Auf eine genaue gebietsweise Auswertung wurde bewusst verzichtet, da die Informationsdichte nur abschnittsweise zuverlässigere Prognosen erlaubt. Für die Errichtung von Fassungen sind ohnehin in jedem Fall ausgedehnte hydrogeologische Untersuchungen notwendig, die alle notwendigen qualitativen und quantitativen Aspekte sowie die möglichen Beeinflussungen von und durch Dritte abzuklären haben.

5.8.2 Grundwassernutzung

Tabelle 5.5 vermittelt eine Uebersicht über die Grundwasserfassungsanlagen, nach Gemeindegebieten geordnet (Stand Sommer 1982). Es wurde zwischen folgenden Nutzungszwecken unterschieden: Trinkwasser, Brauch- und Kühlwasser sowie Wasser für die Wärmegewinnung. Kleinere Anlagen mit einer Lieferung $\leq$ 500 l/min. oder $\leq$ 500 MJ/h wurden summarisch aufgeführt. Eine Berechnung der Fördermenge aus dem Energieverbrauch ist kaum möglich, da das genutzte Temperaturgefälle für Wärmepumpen und für Kühlzwecke uneinheitlich ist. Für Wärmepumpen wird die Leistung am Verdampfer, für Kühlwasser am Kondensator berücksichtigt. Dabei kann im ersten Fall mit einem nutzbaren Temperaturgefälle von 3 - 4°C gerechnet werden, während diese im anderen Fall häufig 10 - 15°C beträgt. Für eine grössenordnungsmässige Angabe mag immerhin folgender Vergleich von Nutzen sein: Bei einem genutzten Temperaturgefälle von 4°C entspricht die gewonnene Energie in MJ/h etwa der Entnahmemenge in l/min.

Im gesamten Hauptgrundwasserleiter bestehen gemäss Tabelle 5.5 Konzessionen für die Entnahme von 171'409 l/min. Zusätzlich werden für reine Energiezwecke ca. 20 - 30'000 l/min. genutzt und z.T. wiederversickert. Insgesamt waren somit bis zum Sommer 1982 ca. 200'000 l/min. Wasser für die Nutzung reserviert. Dies entspricht gesamthaft gesehen etwa 2/3 des nutzbaren Grundwasserdargebots für Trinkwasserzwecke oder knapp der Hälfte des gesamten nutzbaren Grundwasserdargebots. Die grössten noch ungenutzten Reserven liegen eindeutig im Raum Thun - Uttigen, wo weniger als die Hälfte des Dargebots durch Konzessionen belegt ist, während auf den beiden anschliessenden Abschnitten bis Muri die entsprechenden Anteile gegen 2/3 betragen (geplante Entnahme von 25'000 l/min. in der Hunzigenau durch den Wasserverbund der Region Bern eingerechnet).

Die effektive Fördermenge beträgt im allgemeinen nur ein Bruchteil der konzessionierten Entnahmemenge, die der installierten Leistung und dem Spitzenverbrauch entspricht. So betrug z.B. die durchschnittliche Fördermenge Ende der 70-er Jahre in der Gemeinde Münsingen nur 2145 l/min., inkl. Industrie (EMCH & BERGER: 1979; s. WEA-Dokumentation), während die Konzession für die Trinkwasserentnahme 3600 l/min. erreichte. Da der Spitzenverbrauch für die ver-

5.9. Veränderung der Temperatur und der Gesamthärte (GH) im Grundwasser bei Inbetriebnahme einer aarenahen Fassung. Beispiel: Pumpversuch im Versuchsbrunnen S 2 Wehrliau (WV Muri)

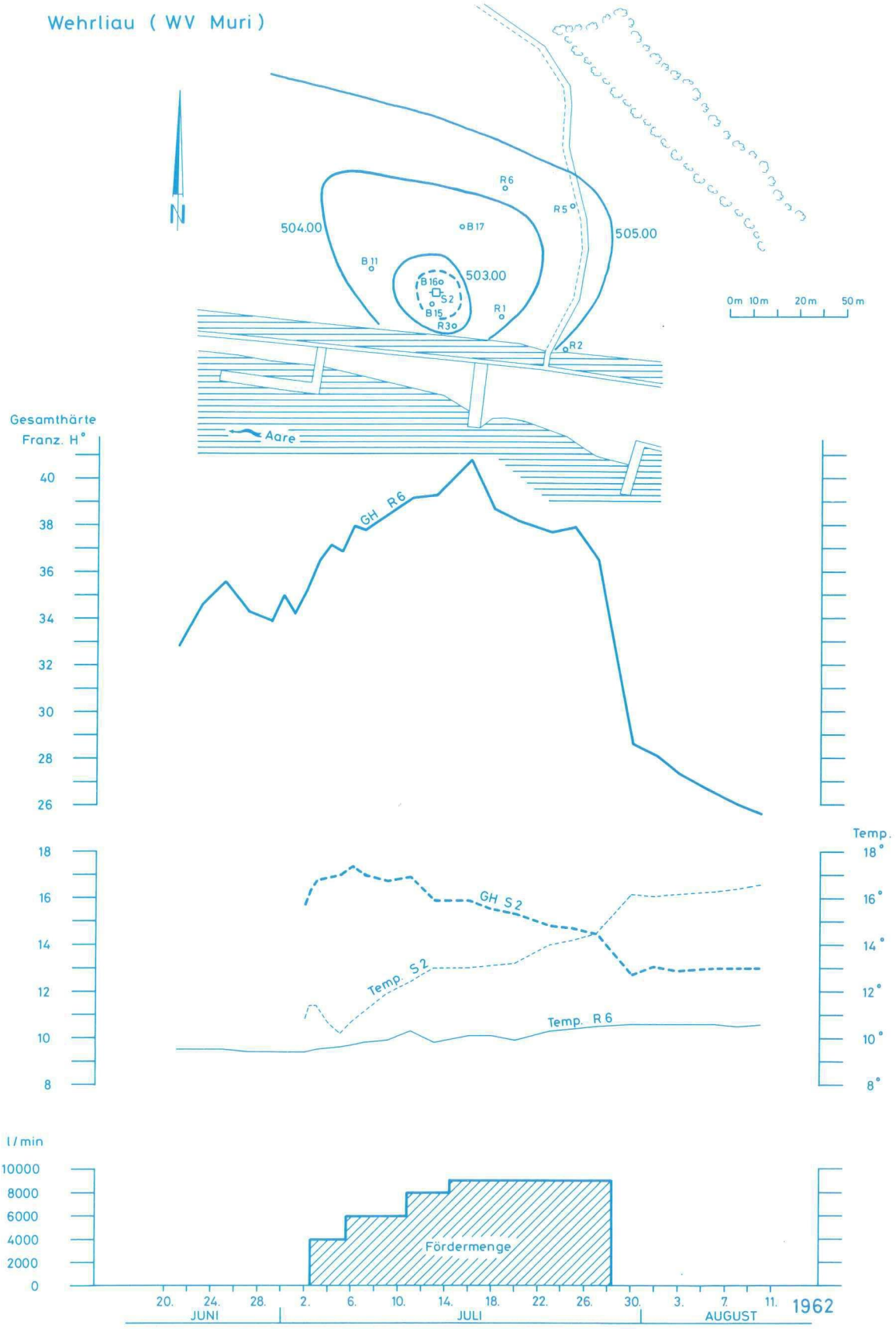


Tabelle 5.5: Konzessionierte Entnahmen im Hauptgrundwasserleiter des Aaretales (Stand Sommer 1982)

Gemeindegebiet, Verbraucher	Koordinaten	konzessionierte Leistung l/min.	MJ/h
Gemeinde Thun			
- Trinkwasser:			
LWW Thun, Seefeld	614.470/177.670	3700	
LWW Thun, Scheibenstrasse	613.900/178.900	3200	
- Brauch- und Kühlwasser:			
Milchverband	614.500/178.340	720	
EMD	612.680/178.950	2500	
Giesserei Thun	613.580/178.340	600	
Coop Thun	614.380/178.860	625	
Eidg. Konstruktionswerkstätte	612.680/178.950		4765
Gerber AG Käseexport	614.400/178.280		736
Neue Warenhaus AG	614.780/178.470		3912
- Wasser für Wärmenutzung:			
SELVE AG	614.180/178.880		670
Terra-Domus Immobilien AG	614.400/176.500		805
Terra-Domus Immobilien AG	614.430/178.540		1340
Treuhand Deyhle	614.430/178.540		1044
- Kleinere Anlagen:		1095	2978
Total		12'440	16'250
Gemeinde Steffisburg			
- Trinkwasser:			
WV Steffisburg, Schwäbis	613.700/179.420	3000	
WV Steffisburg, Burgerguet	613.260/179.720	7500	
- Brauch- und Kühlwasser:			
Verbandsmolkerei Thun	613.780/179.280	5500	
Astra	613.725/179.140	835	
- Kleinere Anlagen:		100	372
Total		16'935	372
Gemeinde Uetendorf			
- Trinkwasser:			
WV Blattenheid	612.370/180.500	2000	
LWW Thun, Lerchenfeld	612.440/180.350	18'000	
- Brauch- und Kühlwasser:			
SELVE Uetendorf	610.900/180.340	8000	
ARA Region Thun	612.210/180.010	600	
- Kleinere Anlagen:		160	
Total		28'760	
Gemeinde Uttigen			
- Wasser für Wärmenutzung:			
Eidg. Munitionsdepot Thun	611.390/181.760		763
Modul AG	610.520/182.760		972
- Kleinere Anlagen:			1269
Total			3004
Gemeinde Heimberg			
- Trinkwasser:			
WV Heimberg	612.560/181.400	2100	
- Wasser für Wärmenutzung:			
Genossenschaft Sportzentrum	611.990/181.270		1507
Einwohnergemeinde	612.250/182.020		1395
- Kleinere Anlagen		2145	1222
Total		4245	4124
Gemeinde Kiesen			
- Trinkwasser:			
Gas- und Wasserversorgung Bern	610.800/183.180	55'000	
WV Blattenheid	610.530/185.320	600	
- Brauch- und Kühlwasser:			
Obstverwertung	610.530/185.320	1750	
- Kleinere Anlagen			343
Total		57'350	343

Tabelle 5.5: Fortsetzung

Gemeindegebiet, Verbraucher	Koordinaten	konzessionierte Leistung l/min.	MJ/h
Gemeinde Oberwichtrach			
- Trinkwasser: WV Oberwichtrach	609.720/187.445	740	
- Kleinere Anlagen:		95	883
Total		835	883
Gemeinde Niederwichtrach			
- Trinkwasser: WV Niederwichtrach	609.680/188.200	600	
Total		600	
Gemeinde Münsingen			
- Trinkwasser: WV Münsingen	609.260/190.800	3600	
- Brauch- und Kühlwasser:			
Schaerer Söhne AG	609.760/190.620	600	
Einwohnergemeinde	608.040/192.080	500	
Einwohnergemeinde	608.240/190.660	800	
- Wasser für Wärmenutzung: Einwohnergemeinde	608.209/190.720		2845
- Kleinere Anlagen:		1020	1809
Total		6520	4654
Gemeinde Rubigen			
- Trinkwasser: WV Muri	608.100/193.800	3060	
- Brauch- und Kühlwasser:			
Rolf Wüthrich, Forellenzucht	607.740/193.390	2700	
Kaestli und Söhne	607.590/144.840	3000	
- Kleinere Anlagen:		380	
Total		9140	
Gemeinde Belp			
- Trinkwasser: WV Köniz, Selhofen	603.460/196.920	17'000	
- Wasser für Wärmenutzung: Einwohnergemeinde	605.200/195.500		2450
- Kleinere Anlagen:		300	238
Total		17'300	2688
Gemeinde Muri			
- Trinkwasser: WV Muri, Wehrliau	603.540/197.200	15'000	
- Kleinere Anlagen:		334	
Total		15'334	
Gemeinde Bern			
- Kühl- und Brauchwasser: Ka-We-De, Dählhölzli	600.620/198.140	1950	
- Wasser für Wärmenutzung: Gattiker und Niederer, Immobilien	600.580/199.120		460
- Kleinere Anlagen:			460
Total		1950	920
Gesamttotal		171'409	33'238

schiedenen Nutzungszwecke nicht gleichzeitig anfällt, liegt das noch heute nutzbare Grundwasserdargebot in Wirklichkeit meist bedeutend höher, als dies aufgrund der obigen Zahlen ersichtlich ist. Indessen sollte die gesamte konzessionierte Entnahmemenge in einem Gebiet ohne eingehende hydrogeologische und siedlungswasserwirtschaftliche Abklärungen keinesfalls das nutzbare Grundwasserdargebot überschreiten. Wir sind der Ansicht, dass in einigen Gemeinden (z.B. Heimberg und Münsingen), wo namentlich eine starke Zunahme der Grundwasserentnahme für Energiezwecke besteht, ein Zustand erreicht worden ist, der eine Ueberprüfung des Grundwasserhaushaltes rechtfertigen würde. Gleichzeitig sollte in diesen Gebieten ein Bewirtschaftungskonzept für eine möglichst rationelle Nutzung erarbeitet werden, wobei für zukünftige Trinkwasserentnahmen genügend grosse Reserven zu sichern wären. Ein besonderes Augenmerk müsste dabei der gegenseitigen Brunnenbeeinflussung, speziell bei Grundwasserrückgaben, geschenkt werden.

5.8.3. Grundwasserschutz

Mit der Beendigung der vorliegenden Untersuchungen wurden auch die Gewässerschutzkarten des Kantons Bern, Blätter 1167 Worb, 1187 Münsingen und 1207 Thun neu überarbeitet. Zur Sicherung von Trinkwasserreserven wurden dabei teilweise die schon existierenden Schutzareale erweitert. Von besonderem Interesse sind dabei folgende Gebiete, die sich für neue oder gesteigerte Entnahmen von grösseren Grundwassermengen eignen:

- Kandergrien - Lerchenfeld, Thun
- Oberi Au, Uttigen
- Mündungsgebiet Rotache, Chise
- Hunzigenau - Farhubel Ost (W der Aare), Belp
- Selhofenzopfen, Kehrsatz

Abgesehen von den um die öffentlichen Fassungen ausgeschiedenen Schutzzonen, sollte dafür gesorgt werden, dass auch diese Gebiete durch keine störenden Bauten, Verkehrswege, Gewässerkorrektionen, Materialentnahmen oder Deponien eine Beeinträchtigung erfahren. Insbesondere sind auch die Giessenläufe in ihrem jetzigen Zustand zu belassen, oder es dürfen nur nach vorangehenden und durch das WEA überprüften Untersuchungen Eingriffe vorgenommen werden.

Da das nutzbare Grundwasserdargebot grösstenteils vom Aareinfiltrat abhängig ist, stellt die Aare weitgehend den "Lebensnerv" für den Hauptgrundwasserleiter und die meisten öffentlichen Fassungen dar. Es ist daher peinlich darauf zu achten, dass dieses Gewässer weder güte- noch mengenmässig beeinträchtigt werden kann. Veränderungen des bisherigen Abflussregimes durch Schleusenbauwerke, Staustufen, Korrektionen des Flusslaufes oder grössere Ausbaggerungen, könnten nicht nur die Grundwasserneubildung massiv beeinflussen, sondern auch die reinigende Wirkung der Flussohlenpassage herabsetzen.

Schadstoffe, die in die Aare gelangen, insbesondere schwer abbau- und schlecht adsorbierbare, stellen eine unmittelbare Gefahr für die Trinkwasserversorgung

mehrerer Aaretalgemeinden sowie der Region Bern dar. Vor allem Industrieanlagen und Lager von Kohlenwasserstoffen im Gebiet Thun - Heimberg erscheinen dabei als die grössten potentiellen Gefahrenherde. Das Abwasser dieser Anlagen sollte deshalb nicht nur auf die herkömmlichen Schmutzstoffe untersucht werden, sondern auch auf gesundheitsschädliche, in relativ geringen Konzentrationen anfallende Stoffe, wie Schwermetalle (u.a. Cadmium) oder unpolare organische Verbindungen, wie z.B. Perchloräthylen. Daneben sollte jeder sichtbare direkte Einlauf in die Aare nach dessen Funktion und Herkunft überprüft werden. Ein Schadstoffeintrag kann natürlich ebensogut über die Nebenflüsse der Aare erfolgen, diese sind deshalb in die Ueberwachung einzubeziehen. Dabei ist zu beachten, dass die grosse Abflussmenge der Aare eine Verschmutzung stark zu verdünnen und teilweise zu neutralisieren vermag, was jedoch erst nach einer bestimmten Durchmischung wirksam wird. Wie Färbversuche auch in andern Flüssen des Mittellandes gezeigt haben, vollzieht sich je nach Flussstrecke eine vollständige Durchmischung häufig erst nach 10 oder mehr km. Die im Uferbereich einfliessenden Schadstoffe können daher bei Infiltrationsverhältnissen namentlich für die nur wenige km stromabwärts und gleichseitig liegenden Fassungen eine bedeutende Gefahr darstellen.

Im weiteren sind die Schutz- und Kontrollmassnahmen auch auf die Grundwasservorkommen in den Randgebieten auszudehnen, da sich diese zum weitaus grössten Teil direkt oder via Ueberlaufquellen in den Hauptgrundwasserleiter entwässern. Besonders diejenigen randlichen Grundwasservorkommen, die durch pleistocaene und folglich meist eine Moränenüberdeckung aufweisende Schotter gebildet werden, weisen einen sehr guten natürlichen Schutz auf. In Kiesabbaugebieten wird diese Schutzschicht jedoch oft grossflächig zerstört. Als Beispiel einer potentiellen Gefährdung kann das Deponieareal in Uttigen erwähnt werden. Wie Fig. 7.2 zeigt, erfolgt die unterirdische Entwässerung dieses Gebietes meist Richtung Grundwasserleiter der Talsohle (Kapitel 7).

6. DAS TIEFENGRUNDWASSER IM AARETAL

6.1. Allgemeines

Unter diesem Abschnitt werden nur die im Bereich des Hauptgrundwasserleiters befindlichen tieferen Grundwasserstockwerke erfasst. Aehnliche Vorkommen in den angrenzenden Randgebieten werden im Kapitel 7 behandelt.

Südlich von Kiesen-Uttigen sind im Bereich der Aaretalebene die jüngeren Schotterablagerungen nicht mehr durch ausgedehnte Stauerschichten von den pleistocaenen Schottern getrennt. Deshalb wurde in diesem Gebiet die gesamte mehr oder weniger gut durchlässige Abfolge hydraulisch als Hauptgrundwasserleiter betrachtet (Kapitel 5). Das sogenannte Tiefengrundwasser weiter nördlich zeichnet sich dagegen durch einen ausgesprochenen Stockwerkbau aus. Die mutmassliche stratigraphische Zuordnung der verschiedenen Schichten wurde im Kapitel 2.4. beschrieben.

Im Auftrag des WEA wurden 1973/74 durch die Firma Prakla-Seismos eine grössere Anzahl von Explorationsbohrungen zur Erfassung allfälliger tiefliegender Grundwasservorkommen ausgeführt. Insgesamt 15 Sondierungen, davon einige älteren Datums, die zwischen Kiesen und Bern-Marzili den Stauer des Hauptgrundwasserleiters durchbohrten (Stand 1981), trafen in verschiedenen Tiefen auf mehr oder weniger gut durchlässige Kiesschichten von sehr unterschiedlicher Mächtigkeit. 1979/81 wurde eine weitere Sondierung und ein Versuchsbrunnen abgeteuft. Die nachstehenden Ausführungen sollen zusammenfassend die gewonnenen Erkenntnisse wiedergeben.

Die Bohrungen, welche Tiefengrundwasser erschlossen, befinden sich in Bern-Marzili (2), Nesslerenhölzli (1), Selhofen (1), Belp-Hunzigen (7), Münsingen (3), Kiesen (1) (vgl. Tabellen 6.1 und 6.2). Die Bohrprofile der Spülbohrungen können dem WEA-Zwischenbericht 1979,Hydrogeologie Aaretal entnommen werden. Da es sich grösstenteils um kleinkalibrige Spülbohrungen handelte, war die Ausbeute an hydraulischen Kennwerten beschränkt. Teilweise auswertbare Pumpversuche und Flowmeterlogs wurden abschnittweise in 4 1/2" Filterrohren durchgeführt, die jedoch nicht immer bis zu den tiefsten Schichten eingebaut waren.

6.2. Ausdehnung

Aufgrund der relativ wenigen, über das Untersuchungsgebiet unregelmässig verstreuten Sondierungen und den geophysikalischen Untersuchungen kann die Ausdehnung der einzelnen Grundwasserleiter nur sehr grob abgeschätzt werden (vgl. 2.4.3.). Insbesondere ist der Verlauf der Sohle des tiefstmöglichen Stockwerkes des Lockergesteinsgrundwasserleiters nicht bekannt, da nur mit der 319 m tiefen Bohrung B 1 (600/198.84) in Bern-Marzili die Molasse bei Kote 236 erreicht wurde, was bei der tiefsten Bohrung H 1a (607/193.30) im Gebiet der Hunzigenbrücke bei der Endtiefe von 264 m (Kote 254) nicht der Fall war. Bei B 1 lag über der Molasseoberfläche eine kiesige Ablagerung von ca. 22 m Mächtigkeit, die aber hydraulisch nicht näher untersucht werden konnte; sie dürf-

Tabelle 6.1: Technische Angaben zu den Sondierbohrungen, die das Tiefengrundwasser in der Aaretalebene erreichten, Stand Dezember 1981

Ort / Bohr-Nr.		WEA-Nr.	Ausführung	Methode 1)	OKT 2) (m.ü.M.)	Endtiefe (m)	Endbohr Ø	Filter Ø Einbautiefe (m)
Bern-Marzili	Ryff	600/198.13	1920	R(?)	503.48	60.2	20 mm	unbekannt
Bern-Marzili	B 1	600/198.84	8.1974	S	502	319	6 3/4"	4 1/2", 24 - 32, 43 - 55
Nesslerenhölzli	N 1	602/196.1	2.1952	R	503.10	18.8	130 mm	unbekannt
Selhofen	K 1	602/196.1	9.1974	S	508	70	12 1/2", 6 3/4"	8" , 30 - 36
Hunzigen	B 1	607/193.34	10.1967	RK	517.20	31.8		unbekannt
"	B 2	607/193.33	11.1967	RK	519.10	43.8		unbekannt
"	BP 4	607/193.29	6.1974	S	516.40	110	10 5/8"	6" , 59 - 73, 87 - 97
"	BP 2	607/193.26	4.1974	S	518.70	49	12 1/2"	8" , 35 - 46
"	H 1	607/193.31	12.1973	S	518.62	39.5	10 5/8"	6" , 23 - 38
"	H 1a	607/193.30	2.1974	S	518	264	6 3/4"	kein Einbau 3)
"	VB	607/193.57	5.1979	G	518.70	48.3	1300 mm	800 mm, 36 - 48
Münsingen	M 1	608/190.22	6.1974	S	522	134	6 3/4"	4 1/2", 137 - 131
"	M 2	608/190.21	8.1974	S	522	135	12 1/2"	8" , 123 - 131
"	M 4	608/190.23	7.1974	S	521	135	12 1/2"	8" , 124 - 133
Kiesen	TX	610/183	7.1981	RK	541	109	8" / 6"	4 1/2", 33 - 48

1) S = Spülbohrung, G = Greifbohrung, RK = Rotationskernbohrung, R = Rammbohrung

2) Kote Terrainoberfläche

3) Kein Einbau möglich infolge Bruch des Bohrgestänges

te jedoch das unterste Grundwasserstockwerk darstellen. Ein Zusammenhang mit dem tiefsten erbohrten Schotter in Hunzigen (approx. Kote 298 - < 254) ist jedoch nicht erwiesen. Die tiefsten in Hunzigen erbohrten Kiesschichten können, wie in Kapitel 2.4. und mit der Figur 2.6 erläutert wird, eventuell als Bümbergschotter und Oppligensande betrachtet werden, die ab Uttigen-Heimberg nach Norden abtauchen und das Liegende von Seetonen und Moränen bilden. Vermutlich wurde derselbe Grundwasserleiter mit der Bohrung M 4 (608/190.24) bei Münsingen in einer Tiefe von 127 m (Kote 396) angefahren. Leider wurde diese Bohrung nach 8 m Eindringtiefe im Schotter eingestellt. Mit diesen wenigen Bohrungen lässt sich nicht mit Sicherheit nachweisen, ob es sich tatsächlich um eine von Bümberg bis Hunzigen, ev. sogar bis Bern - Marzili reichende, zusammenhängende Schotterablagerung handelt.

Höher liegende Schotterhorizonte wurden in den Bohrungen B 1 und Ryff (Bern-Marzili) in verschiedenen Tiefen angetroffen. Dabei handelte es sich meist um wenige Meter mächtige Kiesbänke, die voneinander durch tonige Sedimente isoliert waren. Jedenfalls wurde in B 1 zwischen den Bohrtiefen 26 m und 244 m keine grösseren, zusammenhängende Horizonte festgestellt, die als Grundwasserstockwerk bezeichnet werden könnten; erwähnenswert ist ein Schotterhorizont in 131 - 135 m Tiefe, der grosse Spülverluste verursachte. In der Bohrung Ryff wurde dagegen eine zusammenhängende Schotterschicht ab 48 m bis zur Endtiefe von 60 m angetroffen.

Abgesehen von den nachstehend beschriebenen Verhältnissen bei der Hunzigenbrücke, wurden zwischen Selhofen und dem Eichholz nur noch mit der Bohrung K1 (602/196.1) sowie in einer bis 18,8 m reichenden Bohrung im Nesslerenhölzli (602/197.26) grössere grundwasserführende Schotterpakete innerhalb des tonigen Stauers erbohrt.

Da aus diesem Gebiet sonst keine Angaben über möglicherweise recht ausgedehnte Tiefengrundwasservorkommen vorliegen, wird nachstehend nur auf das recht gut erschlossene obere Tiefengrundwasserstockwerk bei der Hunzigenbrücke eingegangen. Es handelt sich dabei um einen wahrscheinlich über 50 m mächtigen Kiessand, schlecht sortiert, mit teilweise scharfkantigen Steinen und Blök - ken, was auf eine umgelagerte Moräne oder einen Sander hinweist (vgl. Kapitel 2.4.2.). Eine genaue Mächtigkeitsangabe ist nicht möglich, da nur die Spül - bohrung H 1a mit einem ausserordentlich schlechten Bohrgutgewinn die gesamte Schichtabfolge durchfuhr. Die übrigen Spülbohrungen durchstiessen z.T. nur knapp die postglazialen Seetone (Fig. 2.5). Ebenfalls zwei für die neue Hunzigenbrücke im Jahr 1967 ausgeführten Rotationskernbohrungen drangen nur 8 - 10 m in den Grundwasserleiter, wobei die Sondierung für das östliche Wider - lager (607/193.33) die Obergrenze in 34,5 m und diejenige für das westliche (607/193.34) in 23 m Tiefe erreichten. Die laterale Ausdehnung dieses Grundwasserleiters beträgt mindestens 300 - 400 m. Die Abgrenzung zum unteren Stauer, der wahrscheinlich aus Würm-Moräne besteht, dürfte nicht scharf sein, vielmehr könnte ein allmählicher Uebergang vorliegen. Wie weit sich diese vornehmlich subglazialen, kiesigen Ablagerungen in der Talachse fortsetzen und ob sie mit den in andern Bohrungen angetroffenen isolierten Kieshorizonten in hydraulischer Verbindung stehen, lässt sich nicht feststellen. Da indessen dieses Grundwasservorkommen unter artesischem Druck steht - seit 1974 fliesst dauernd Grundwasser aus der Bohrung BP 4 (607/193.29) - muss gemäss den Isotopenuntersuchungen ein bedeutender Anströmweg und damit eine entsprechende Ausdehnung des Kieskörpers vorliegen (Kapitel 6.4).

6.3. Hydraulische Eigenschaften

Hydraulische Kennwerte zu den tiefliegenden Grundwasserleitern vermittelt Tabelle 6.2. Wie schon erwähnt wurde (Kapitel 6.1.), sind die Angaben ziemlich rudimentär, einzig die Pumpversuche in den Bohrungen VB und TX dürften einigermassen zuverlässige Werte geliefert haben. Im allgemeinen dürften die effektiven k-Werte bedeutend höher sein als die in der Tabelle 6.2 aufgeführten Zahlen, die namentlich durch grosse Eintrittsverluste (ungenügendes Entsanden, Reibungsverluste) beeinflusst wurden. Es erübrigt sich deshalb, im Detail auf diese Angaben einzugehen. Unter Würdigung aller Umstände wurde trotzdem versucht, die maximal mögliche Fördermenge aus jedem Bohrloch zu ermitteln. Der bis dahin einzige ins Tiefengrundwasser reichende Brunnen wurde bei der Hunzigenbrücke erstellt (VB), nachdem die Spülbohrungen BP 4, BP 2, H 1 und H 1a auf einen ausgedehnten Grundwasserleiter hingewiesen hatten. Das Bohrprofil des Versuchsbrunnens ist aus Figur 6.1 ersichtlich. Auf die hydrogeologischen Verhältnisse im Gebiet Hunzigenau und den Dauerpumpversuch soll nachstehend näher eingegangen werden.

Tabelle 6.2: Hydraulische Kennwerte zu den Sondierbohrungen, die das Tiefengrundwasser in der Aaretalebene erreichten, Stand Dez. 1981 (infolge bohrtechnischer Unzulänglichkeiten sind meist nur rudimentäre Daten überliefert).

Ort/Bohr-Nr.		GWL [1] (m)	GWS [2] (m)	Spez.E. [3] (m^2/s)	K [4] (m/s)	Zone K max. [5] (m)	Q [6] l/s
Bern - Marzili	Ryff	48 - 60	artes.	--	--	--	--
Bern - Marzili	B 1	diverse kleinere 26 - 266	artes.	--	$5 \cdot 10^{-5}$	--	5 - 8
Nesslerenhölzli	N 1	8.8 - 16.3	artes.	--	--	--	--
Selhofen	K 1	32 - 36	3.20	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	--	3 - 5
Hunzigen	B 1	28 - 31	1.60	--	--	--	--
"	B 2	34 - 43	1.60	--	--	--	--
"	BP 4	62 - 69, 92 - 96	artes.	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	62 - 63, 92 - 96	2 - 4
"	BP 2	32.5 - 49	0.68	$3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	44 - 46	10 - 15
"	H 1	15.5 - 39.5	artes.	$9 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	36 - 38	3 - 5
"	H 1a	diverse 26 - 264	artes.	--	--	--	--
"	VB	38 - 48.3	1.10	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	38 - 41	25 - 30
Münsingen	M 1 [7]	127 - 134	artes.	--	--	--	--
"	M 2	119 - 129	--	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	128 - 129	2 - 4
"	M 4	127 - 135	artes.	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-5}$	--	2 - 4
Kiesen	TX	33 - 54	3.88	$8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	33 - 36	5 - 8

1) ungefähre Tiefe des Grundwasserleiters

2) Tiefe des Grundwasserspiegels, Schwankungen im mm-Bereich wahrscheinlich

3) Q/ h = spezifische Ergiebigkeit, ungefährer Wert

4) approximativer Durchlässigkeitsbeiwert, dürfte in Wirklichkeit im allgemeinen grösser sein

5) Zone grösster Durchlässigkeit

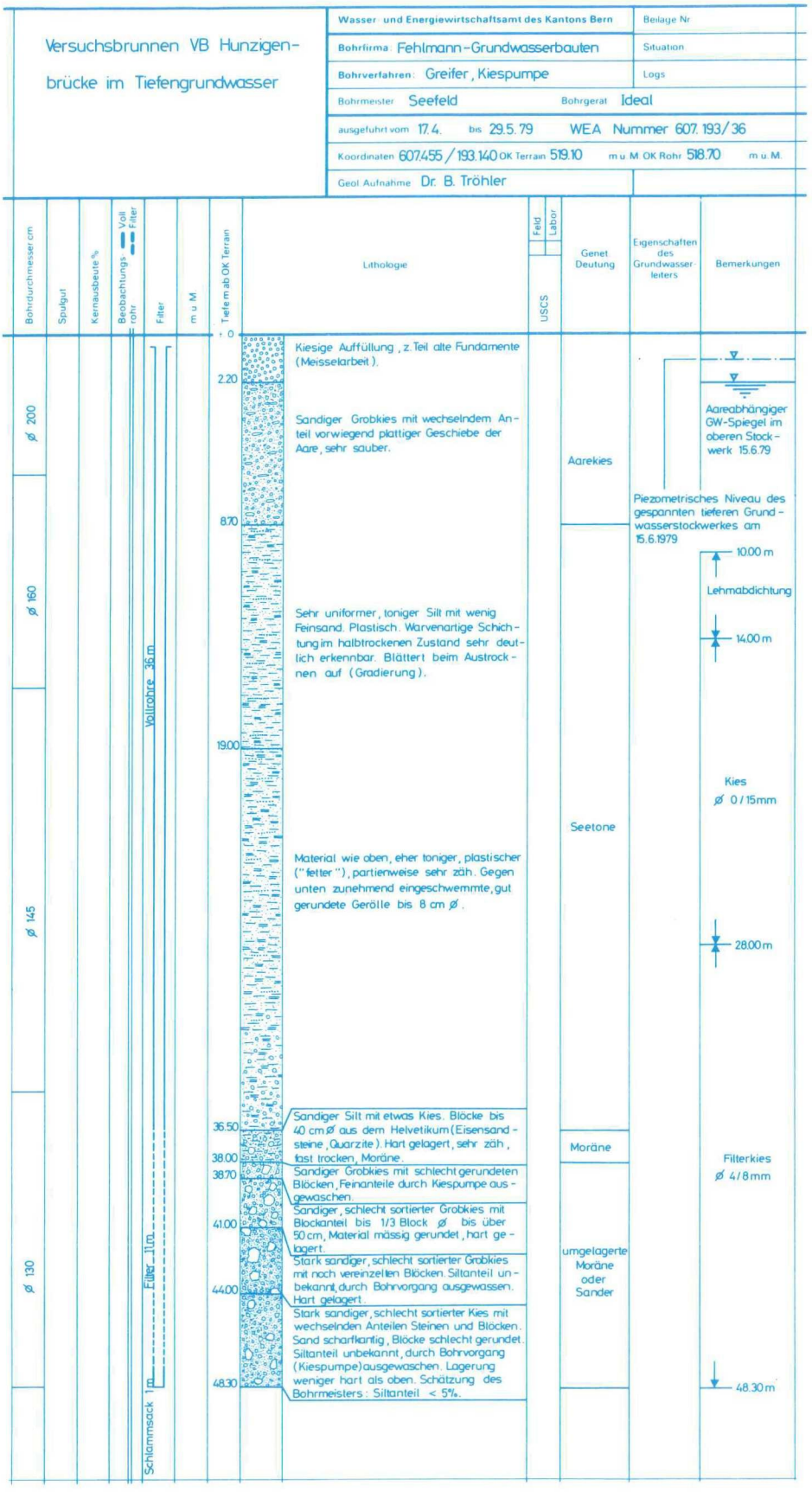
6) ungefähre maximale Fördermenge aus diesem Bohrloch. Nach gründlicher Entsandung in den Spülbohrungen wahrscheinlich bedeutend mehr (an diesen Stellen errichtete Fassungen können ein Mehrfaches liefern, sofern die Feldergiebigkeit gewährleistet ist)

7) infolge schlechtem Einbau keine Wasserentnahme oder Flowmeter Messungen möglich

Wie schon erwähnt, beträgt die Breite des Tiefengrundwasserleiters im Bereich der Hunzigenau-Bohrungen mindestens mehrere 100 m (Fig. 6.2). Dabei konnte der westliche Rand durch Bohrungen ziemlich gut abgegrenzt werden. Dagegen ist die Ausdehnung in östlicher Richtung vorläufig unklar. Die Abdichtung gegenüber dem oberen Grundwasserstockwerk scheint weitgehend gewährleistet zu sein, die Druckunterschiede zwischen dem freien Grundwasserspiegel im Hauptgrundwasserleiter und dem höher liegenden Wasserspiegel des Tiefengrundwassers deuten jedenfalls darauf hin. Auch mittels Dauerpumpversuch mit Absenkungsbeträgen von bis über 30 m war kein hydraulischer "Durchbruch" feststellbar, was mit den Resultaten aus den Isotopenuntersuchungen (Kapitel 6.4.1) im Einklang steht. Trotzdem ist eine hydraulische Druckfortpflanzung der Aare oder des oberen Grundwasserstockwerks auf das Tiefengrundwasser unverkennbar (Fig. 6.3). Sehr gedämpft werden Niveauschwankungen der Aare im Druckspiegel des BP 2 nachvollzogen. Dabei ist zu beachten, dass die Grundwasserspiegelschwankungen im oberen Stockwerk zwischen Aare und Giesse etwa den Amplituden des Aarespiegels entsprechen.

Der Grosspumpversuch dauerte 72 Stunden und wurde mit Entnahmemengen von 1'500 - 3'100 l/min. gefahren. Aufgrund der Ganglinien (Fig. 6.4), den hydraulischen

6.1. Bohrprofil des Versuchsbrunnens, VB, bei der Hunzigenbrücke



Kennwerten und der Brunnenkonstruktion dürfte die zulässige Dauerfördermenge etwa 1'500 - 2'000 l/min. betragen. Dabei wurde berücksichtigt, dass es sich um einen unvollkommenen Brunnen handelt. Infolge der raschen Ausbreitung des Absenkungstrichters (gespannter Wasserspiegel), machen sich die geometrischen Randbedingungen des Grundwasserleiters schon nach wenigen Minuten Pumpdauer bemerkbar, was die Auswertung ausserordentlich erschwert. Dies trifft, wenn auch in vermindertem Mass, auch für den Wiederanstieg zu. Die nach verschiedenen Auswertungsverfahren ermittelten k- und T-Werte sind in der Figur 6.2 dargestellt, wobei bei allen Berechnungen gewisse Vorbehalte gemacht werden müssen. Der ermittelte Speicherkoeffizient, S, als Funktion der Elastizität des Grundwasserleiters und des unter Druck stehenden Wassers beträgt etwa 1 bis $2 \cdot 10^{-3}$. Infolge der grossen Absenkung wurde der Grundwasserspiegel in östlicher Richtung entspannt (Fig. 6.2). Der obige S-Wert gilt nur für den vollumfänglich gespannten Zustand.

Im unteren Stockwerk herrscht offensichtlich ein starkes Potentialgefälle von unten nach oben vor. Der Druckunterschied zwischen VB und BP 4 beträgt mindestens 1,80 m. Die Abstände zwischen den unteren Enden der Filterstrecken in VB und in BP 4 betragen ca. 25 m und ca. 49 m, so dass durchschnittlich mindestens ein Druckgefälle von etwa 4 - 7 cm/m oder ein Gradient von 4 - 7 % resultiert. Wie die Flowmetermessungen in BP 4 indessen zeigen, ist es nicht so, dass mit der Tiefe und mit zunehmendem Potential auch der Zufluss entsprechend graduell zunimmt (Fig. 6.5). Dieser wird vielmehr durch die Durchlässigkeit der einzelnen Schichten und ihren hydraulischen Verbindungen untereinander bestimmt. Nebst einem Wasserzufluss bei schwachem Pumpbetrieb (8 m^3/h) sind in vereinzelten Horizonten Wasserwegflüsse in vermutlich höher liegende Schichten zu verzeichnen (Fig. 6.5). Der heterogene Aufbau dieser tiefliegenden Grundwasserleiter kommt dadurch sehr deutlich zum Ausdruck, beträgt doch bei einem mittleren k-Wert von $1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s die Variationsbreite der hydraulischen Durchlässigkeit mindestens $5 \cdot 10^{-6}$ bis $3 \cdot 10^{-4}$ m/s gemäss Flowmeter-Log.

BP 4 speist einen über der Bohrung errichteten, frei fliessenden Brunnen, der je nach Wasserstand eine Ergiebigkeit von ca. 10 - 30 l/min. aufweist. Seit der Erbohrung im Jahr 1974 liefert BP 4 diese Wassermenge mit einer ziemlich gleichbleibenden Temperatur von ca. 13°C. Druckmessungen haben ergeben, dass an dieser Stelle das hydraulische Potential bis zu 4 m über der Terrainoberfläche liegt.

6.4 Grundwasserqualität

6.4.1. Physikalische Eigenschaften

Temperatur: Nachstehende Tabelle 6.3 gibt Auskunft über die in den Spülbohrungen in Abhängigkeit von der Tiefe durch die Firma Prakla-Seismos gemessenen Wassertemperaturen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Temperatur - Log normalerweise in der unverrohrten Bohrung gefahren und die auf die Spülflüssigkeit übertragene Erdwärme gemessen wurde. Infolge des hohen spezifischen Gewichtes und der grossen Viskosität der Spülflüssigkeit dürfte jewei-

Tabelle 6.3: Temperaturmessungen in den Tiefbohrungen

Ort / Bohr-Nr.	WEA-Nr.	°C / GWL [1]	°C / max. Tiefe [2]	Datum
Bern - Marzili B 1	600/198.84	11.7, 43 - 55 m	14.8, 134 m	26.8.74
Selhofen K 1	602/196.1		11.2, 36 m	9.74
Hunzigen BP 4	607/193.29	13.2, 64 - 69 m	13.6, 100 m	28.8.74
" BP 2	607/193.26	12.0, 35 - 40 m		13.6.74
" H 1	607/193.31	11.8, 23 - 38 m	12.1, 40 m	13.6.74
" VB		12.5, 36 - 48 m		28.6.79 [3]
Münsingen M 1	608/190.22	15.0, 127 - 131 m	15.1, 134 m	12.6.74
" M 2	608/190.21	15.4, 123 - 131 m	15.4 , 131 m	23.8.74

1) mittlere Temperatur im Bereich der gefilterten Strecke
2) Temperatur beim tiefsten, gemessenen Punkt
3) Temperaturmessung am Ende des Dauerpumpversuchs

len kaum eine Temperaturumschichtung infolge Konvektion stattgefunden haben. Die namentlich im Bereich der Endtiefen vorgefundenen Temperaturen dürften keinen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sein, um so mehr erstaunt die Heterogenität der Messwerte. So wurden in den M-Bohrungen in ca. 130 m Tiefe ähnliche Werte gemessen wie in über 300 m Tiefe bei B 1, was einige Zweifel an der Signifikanz letzterer Messung aufkommen lässt. Dagegen scheinen die im Bereich der Grundwasserleiter ausgeführten Messungen vergleichbare Resultate zu liefern.

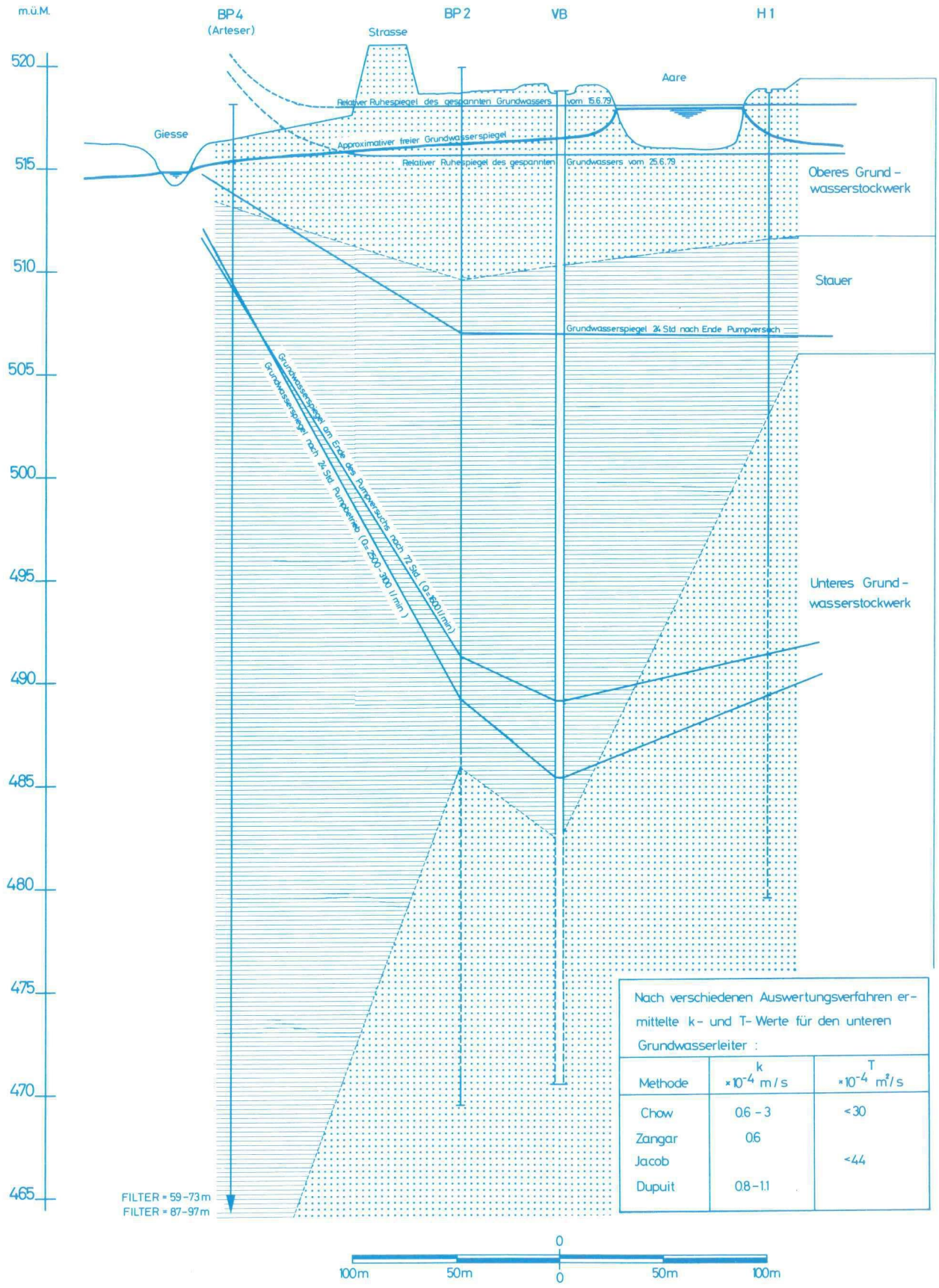
Von besonderem Interesse ist die jahreszeitlich ziemlich unabhängige Temperatur des artesischen Wassers aus BP 4 Sie betrug am 3.7.75: 13,3°C, am 14.3. 78: 13,5°C und am 2.11.78: 13,0°C. Dagegen schwankten in der weniger tiefen Bohrung B 2 die Temperaturen lediglich zwischen 10,2 und 12,4°C.

Verhältnis der Sauerstoff- und Wasserstoffisotopen:

Zur Ermittlung der Herkunft des Tiefengrundwassers wurden an einigen Stellen Wasserproben zur Analyse des Tritium- und ^{18}O-Anteils entnommen (vgl. auch Kapitel 4.3.2.). Die Untersuchungen wurden durch U. SIEGENTHALER des physikalischen Instituts der Universität Bern durchgeführt. Da das Aarewasser einen ziemlich konstanten $\delta\ ^{18}O$-Wert von - 13,0 ‰ besitzt, kann sein Anteil höchstens wenige Prozente betragen. Das Tiefengrundwasser muss deshalb vorwiegend durch Einsickerungen aus den Randgebieten und nicht aus dem Aarewasser enthaltenden Hauptgrundwasserleiter alimentiert worden sein.

Die tiefen Tritiumwerte bei B 1, BP 4 und VB zeigen (Tabelle 6.4), dass das Wasser ein mittleres Alter von mindestens ca. 20 Jahren haben muss. Bei M 4 deutet der Anteil von ca. 40 TU (Tritium Units) auf ein Mischwasser hin, das

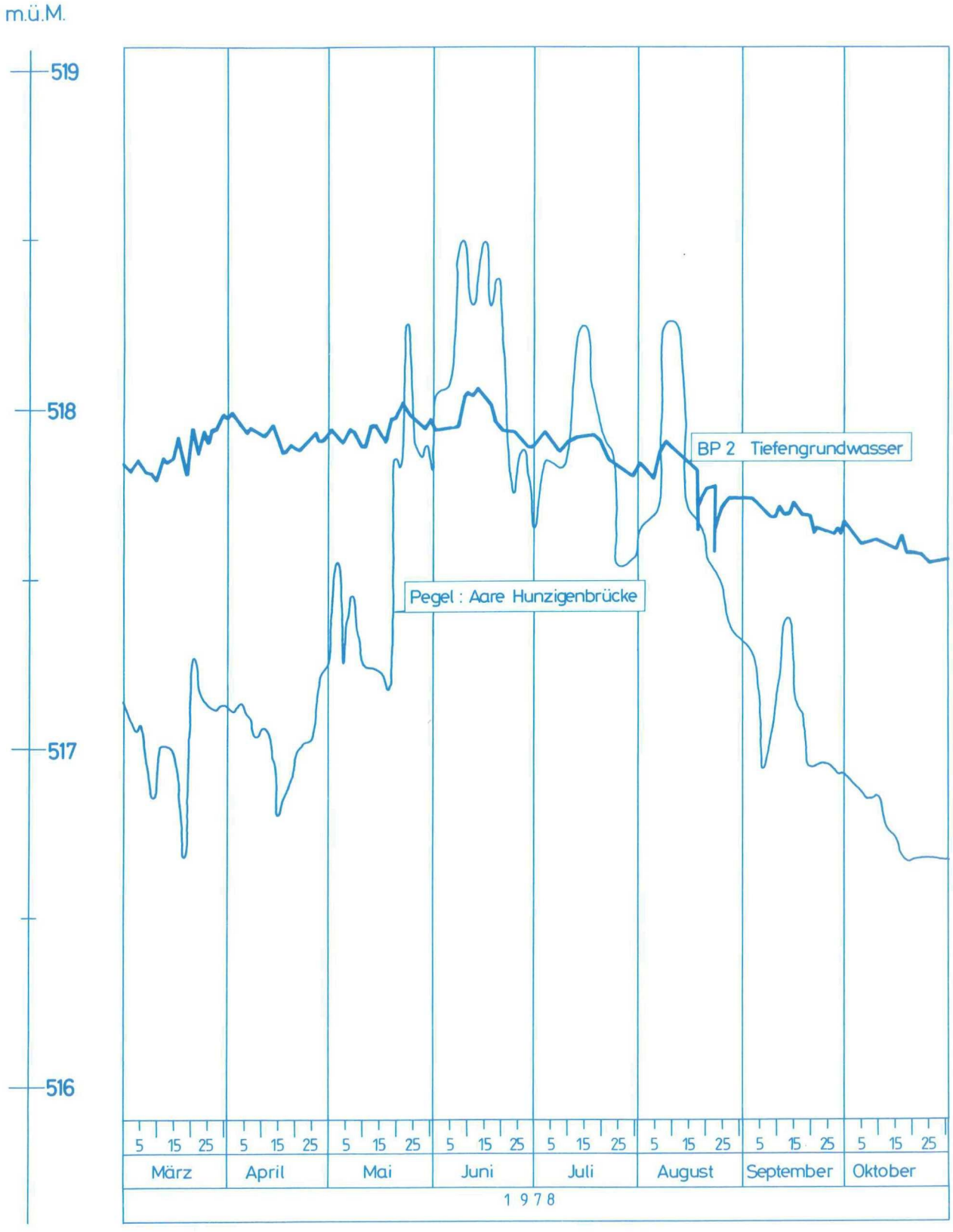
6.2. Schematisches hydrologisches Querprofil im Bereich des Versuchsbrunnens, VB, bei der Hunzigenbrücke (Pumpversuch 25.6. – 28.6.1979)



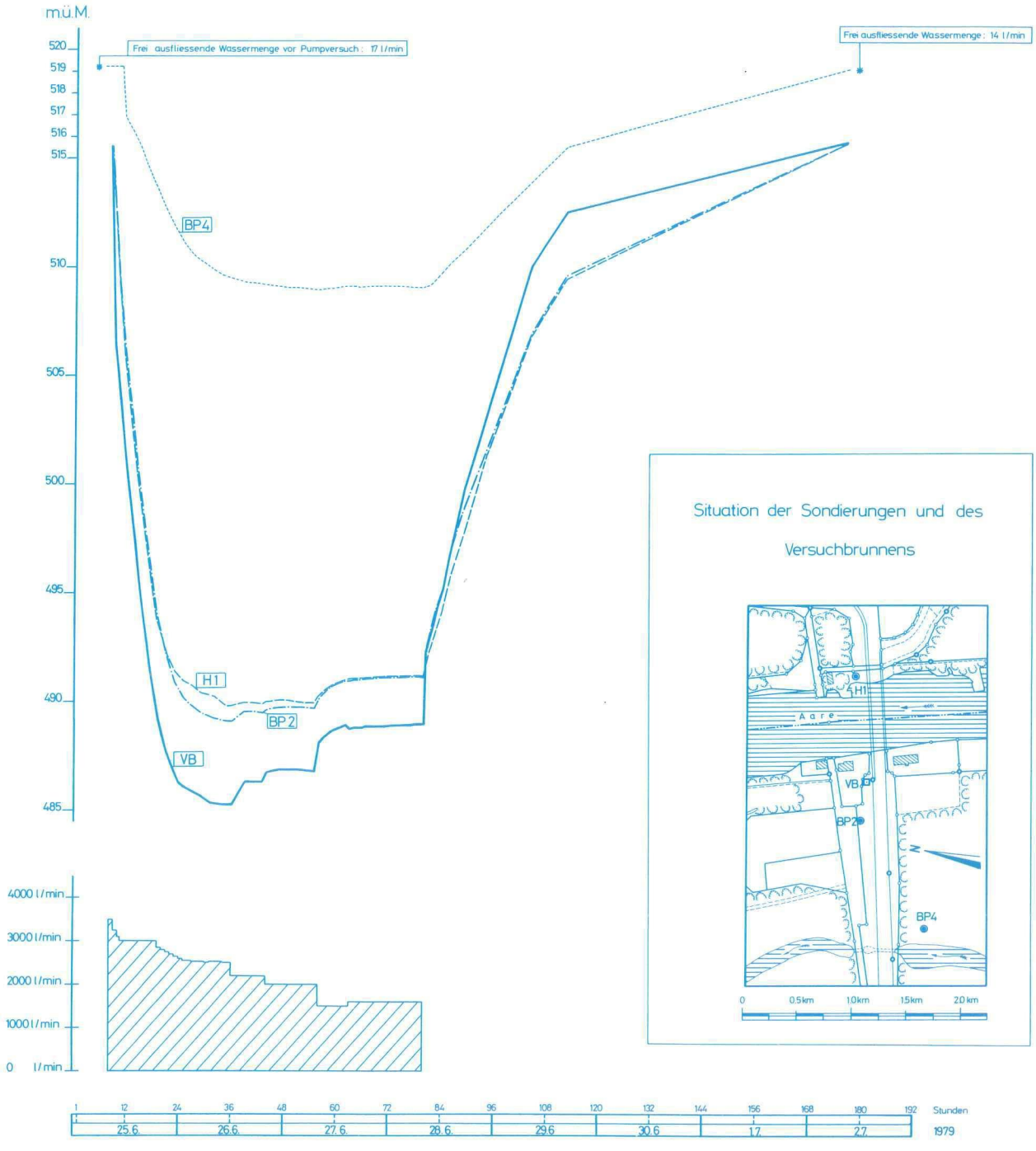
Nach verschiedenen Auswertungsverfahren ermittelte k- und T-Werte für den unteren Grundwasserleiter :

Methode	k $\times 10^{-4}$ m/s	T $\times 10^{-4}$ m²/s
Chow	0.6 – 3	< 30
Zangar	0.6	
Jacob		< 44
Dupuit	0.8 – 1.1	

6.3. Ganglinien des Tiefengrundwasser- und Aarespiegels (BP 2: 607/193.26) März – Oktober 1978



6.4. Pumpversuch im Versuchsbrunnen, VB, Hunzigenau vom 25.6. – 28.6.1979: Situation, Fördermenge und Grundwasserspiegel-Ganglinien



6.5. Flowmeter-Log im Filterbereich der Spülbohrung BP 4 (607/193.29)

PRAKLA-SEISMOS

FLOWMETER - LOG

WASSERZUFLUSSMESSUNG

Standregistierung

Bohrung: Belp 4 Ber. Nr.: 743217

Auftraggeber: WEA, Bern Anlage: 5

607.193/29 Datum: 28.8.1974

Andere Messungen: GL; NGL; TL; Einzelelektrode

Gesamtzahl der Anlagen: 6

Meßsonde: BFM-01 Meßgerät: CRR-05

Meßbereich: 2000 Imp/min Zeitkonstante: 1 s

Meßrichtung: Meßgeschwindigkeit: 0 m/min

Sondenbezug: Mitte Meßflügel

Meßwagen: U 345 Ausführender: E. Enneper

Tiefenbezug: Erdoberfläche

Meißeldurchmesser:

Verrohrung: 6"

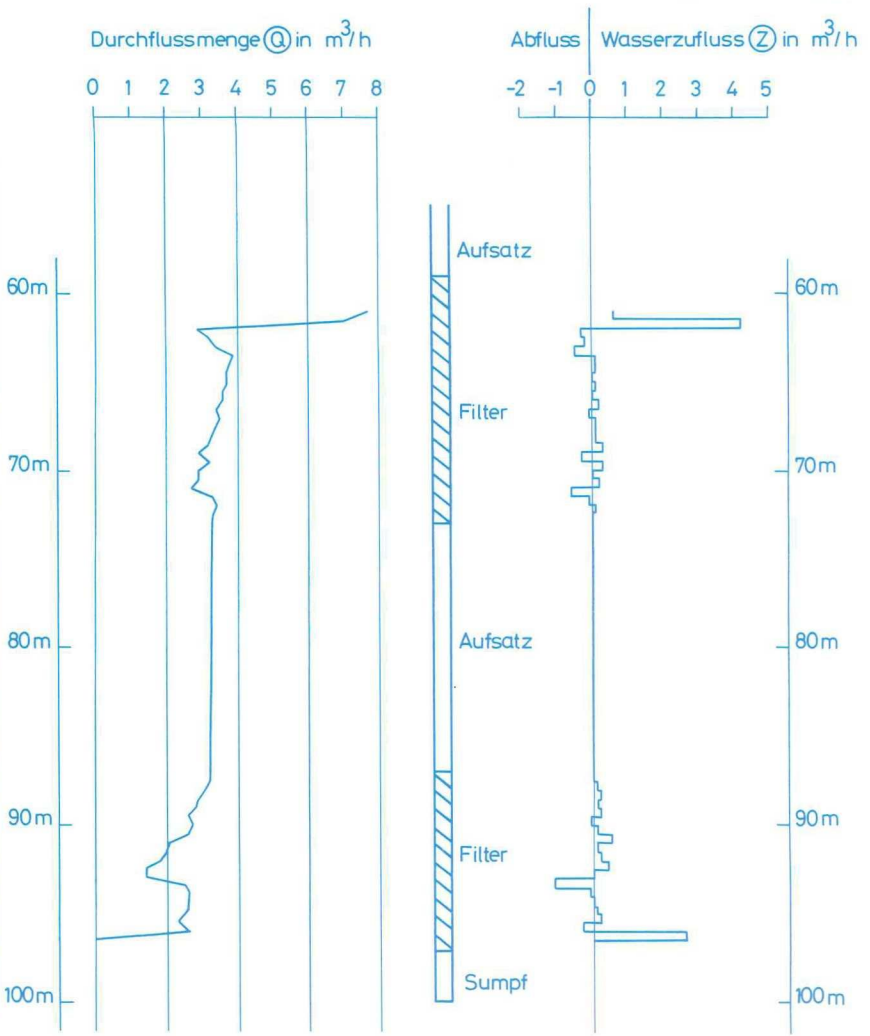
Rohrschuh n. Bohrer m Rohrschuh n. Messung: m

Endtiefe n. Bohrer: 100 m Endtiefe n. Messung: m

Spülungsart: Wasser Spülungsstand: 0 m

Bemerkungen: Förderleistung ca. 8 m^3/h,
Pumpeneinbautiefe 15 m,
Absenkung 7,5 m.

Graphische Darstellung der Durchflussmenge (Q) und des Wasserzuflusses (Z) in Abhängigkeit von der Tiefe.



wahrscheinlich aus Wasser von ähnlichem Alter wie bei BP 4 und VB besteht sowie aus jüngerem, das möglicherweise erst vor einigen Jahren infiltrierte (Mitteilung von U. SIEGENTHALER). In der Bohrung M 4 handelt es sich folglich nicht um ein stagnierendes Grundwasser, sondern um ein Vorkommen, das ständig erneuert wird und mit einem andern, höher liegenden Aquifer hydraulisch verbunden ist.

Tabelle 6.4: Tritium- und ^{18}O-Anteil im Tiefengrundwasser (TU: Tritium-Einheiten, $\delta\ ^{18}O$: Delta-Wert in Promille, vgl. Kapitel 4.3.2.)

Ort	Datum	Tritium	$\delta\ ^{18}O$
B 1	29.1074	4.0 TU	-10.25
BP 4	9. 3.79	4.4 TU	-10.12
	17. 2.81	3.2 ± 5.4 TU	-10.22 ± 0.15
VB	17. 2.81	1.6 ± 5.4 TU	-10.17 ± 0.15
M 4	8. 3.79	40.5 ± 4.4 TU	-10.27

6.4.2. Chemische Eigenschaften

Der Chemismus der Tiefengrundwässer ist aus der Tabelle 6.5 ersichtlich. Allen analysierten Proben ist die geringe Sauerstoffsättigung gemeinsam, die dadurch in Lösung gehaltenen Eisenionen und die nicht zu Nitrat oxydierten Stickstoffverbindungen. Zudem weisen alle Proben eine ähnliche Karbonathärte auf, die etwa mittelhartem Wasser entspricht. Abgesehen von 2 Wasserproben aus B 1 mit 9 und 12 mg Nitrat beträgt der Stickstoffanteil (als N) weniger als 1 mg, was gegenüber der Stickstoffführung der höher liegenden Grundwasservorkommen im Aaretal deutlich absticht. Diese Eigenschaften weisen auf die starke Isolierung gegenüber Oberflächeneinflüssen hin, was mit den Resultaten aus den Isotopenuntersuchungen übereinstimmt. Es ist zu beachten, dass die analysierten Grundwasserproben aus z.T. verschiedenen, miteinander nicht in direktem Kontakt stehenden Grundwasserleitern stammen.

Eine Sonderstellung gegenüber den 3 andern Probeentnahmestellen im Gebiet Hunzigenau nimmt H 1 ein. Aussergewöhnlich ist vor allem der erstaunlich hohe Chloridgehalt sowie die recht hohe Oxydierbarkeit, Werte die schwer begründet werden können (Kontamination durch undichten Piezometerringraum?). Etwas rätselhaft ist ebenfalls der hohe Sulfatgehalt in B 1, der etwa doppelt so hoch ist als an den anderen untersuchten Stellen. Aehnliche Werte konnten indessen wiederholt im oberen Stockwerk festgestellt werden (Kapitel 5.6.2.).

Tabelle 6.5: Chemische Analysen von Tiefengrundwasser

Bohr Nr., Ort	B 1, Marzili	H 1, Hunzigen	BP 2, Hunzigen	BP 4, Hunzigen	VB, Hunzigen	M 4, Münsingen
WEA Dok. Nr.	600/198.84	607/193.31	607/193.26	607/193.29	607/193.36	608/190.23
Datum Probeentnahme	8.74, 5.75, 6.77	5.74, 7.75	5.74, 7.75, 2.78	7.75, 6.77. 3.78, 11.78	6.79, 8.80	3.79
Gesamthärte frz°	32.2 - 35.3	16.1 - 16.6	21.9 - 23.5	25.1 - 26.5	19.7 - 23.1	22.4
Karbonathärte frz°	29.7 - 30.6	21.5 - 25.5	24.9 - 26.8	28.3 - 28.4	21.7 - 22.4	27.6
Chloride, mg Cl^-/l	8.3 - 17.4	58.5 -103.7	6.1 - 15.4	2.1 - 2.6	2.7 - 5.0	20.4
Sulfate, mg SO_4^{2-}/l	46 - 62	21 - 27	25 - 31	29 - 31	17 - 23	32**)
Nitrate, mg NO_3^-/l	1 - 12	<1 - 1	<1 - 1	<1 - 1	<1 - 1	<1
Oxydierbarkeit, mg $KMnO_4$/l	1.5 - 2.8	4.9 - 9.0*)	1.3 - 2.9	1.0 - 1.9	1.3 - 1.9	1.6
Nitrite, mg NO_2^-/l	<0.005-0.34	<0.005-0.008	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Ammonium, mg NH_4^+/l	<0.005	0.1 - 1.0	0.1-<0.05	<0.05 - 0.6	0.1 - 0.3	<0.05
Eisen, mg Fe/l	0.025-0.68	0.064-1.90	<0.005-0.09	0.56 - 1.0	0.04 - 1.7	0.33
Mangan, mg Mn/l	<0.1	<0.1	0.18-0.23	<0.1-<0.005	0 - 0.15	
Sauerstoffsättigung in %	18 - 33	20	6.3 - 43*)	2	6	

*) möglicherweise beeinflusst durch Probeentnahme

**) daneben Spuren von Schwefelwasserstoff vorhanden

6.5 Nutzungsmöglichkeiten

Die Feldergiebigkeiten für die unteren Grundwasserstockwerke sind nicht bekannt und können aufgrund vorliegender Daten kaum ermittelt werden. Einzig die Untersuchungen bei der Hunzigenbrücke haben ergeben, dass an dieser Stelle voraussichtlich dauernd gegen 2000 l/min. entnommen werden könnten. Indessen kann über den Nachschub, d.h. die Neubildung des Grundwassers nur gemutmasst werden; fest steht jedoch, dass es sich nicht oder nur zu einem geringfügigen Teil um Aareinfiltrat handelt.

Da das festgestellte Ammonium und Nitrit auf die vorherrschenden Reduktionsbedingungen und nicht auf Verunreinigungen zurückzuführen sind, würde eine geringfügige Aufbereitung (Belüftung) genügen, um das Tiefengrundwasser als Trink- oder Brauchwasser zu verwenden. Infolge seiner erhöhten Temperatur würde es sich vorzüglich für Wärmenutzungszwecke eignen. So könnten z.B. mit dem Versuchsbrunnen in der Hunzigenau 100 - 200 Wohnungen mittels Wärmepumpen beheizt werden. Andererseits könnte wegen seiner vorzüglichen Abschirmung gegenüber Verunreinigungen bei Trinkwasserfassungen weitgehend auf die Ausscheidung von Schutzzonen verzichtet werden.

Wie schon unter Kapitel 6.2. erwähnt, wurde nur im Gebiet der Hunzigenbrücke ein zusammenhängendes Tiefengrundwasservorkommen von eher bescheidener Ausdehnung erbohrt. Gemäss den Ausführungen im Kapitel 2.4. sowie den übrigen Sondierbohrungen (Tabellen 6.1 und 6.2) besteht jedoch die Möglichkeit, weit

grössere Tiefengrundwasservorkommen zu erschliessen, als dies in der Hunzigenau möglich ist. Da gemäss der Gesetzmässigkeit des Wasserandrangs Filterbrunnen in der Regel ein Mehrfaches liefern als kleinkalibrige Sondierbohrungen, kann angenommen werden, dass dies z.B. auch im Bereich der Sondierungen im Gebiet Selhofen-Marzili oder Münsingen der Fall sein dürfte. Die jeweilige Frage des Nachschubs müsste jedoch mit entsprechenden Dauerpumpversuchen abgeklärt werden.

Es muss ausdrücklich erwähnt werden, dass der grösste Tiefengrundwasserleiter, welcher in den Uttigen-Bümbergschottern liegt, kaum ernsthaft untersucht werden konnte. Im Gegensatz zu dem in der Hunzigenau mittels Filterbrunnen erschlossenen Grundwasserleiter, kann ein Nachschub von Aareinfiltrat in den weiter nördlich liegenden Uttigen-Bümbergschottern postuliert werden, da diese südlich von Kiesen mit den jüngeren Schotterablagerungen weitgehend eine hydraulische Einheit darstellen, die mit der Aare in Verbindung steht.

Daraus folgt, dass sich weitere Anstrengungen, Tiefengrundwasser in grösseren Mengen zu erschliessen - sei es für Trinkwasserzwecke oder für die Wärmenutzung - vor allem auf die Uttigen-Bümbergschotter im mittleren Abschnitt des Aaretals konzentrieren sollten. Die noch vorhandenen Unsicherheiten und die für die Filterbrunnen recht grosse Bohrtiefe sollten deshalb in Anbetracht des optimalen Verunreinigungsschutzes oder des grossen Wärmepotentials kein Hindernis für eine wirtschaftliche Nutzung bilden.

Im Marzili wurde das Tiefengrundwasser durch die Sondierbohrung Ryff und B 1 erbohrt (Tabellen 6.1 und 6.2). Wie aus den Kapiteln 2.3. und 2.4. hervorgeht, ist dort jedoch die geologische Unsicherheit über die Ausdehnung des Tiefengrundwasserleiters wesentlich grösser als im mittleren Aaretal. Falls sich - wie starke Argumente andeuten - diese Bohrungen in einem wesentlich vom Rhonegletscher mitgeprägten Becken befinden, dürfte die West-Ost-Ausdehnung der Grundwasserleiter beträchtlich sein und einen grossen Teil des Stadtgebietes umfassen. Bevor allerdings in diesem Gebiet eine Erschliessung von Tiefengrundwasser ernsthaft diskutiert wird, sind ausgedehnte hydrogeologische Prospektionsarbeiten nötig. Positive Resultate sind dabei durchaus zu erwarten.

7. GRUNDWASSERVORKOMMEN DER RANDGEBIETE

7.1. Allgemeines

Ueber die Grundwasservorkommen in den Randgebieten fehlen genaue Kenntnisse noch weitgehend, da sich die vorliegende Studie vor allem auf die Untersuchung des Hauptgrundwasserleiters in der Talebene sowie auf eine sehr generelle Erkundung möglicher Vorkommen von Tiefengrundwasser beschränkte.

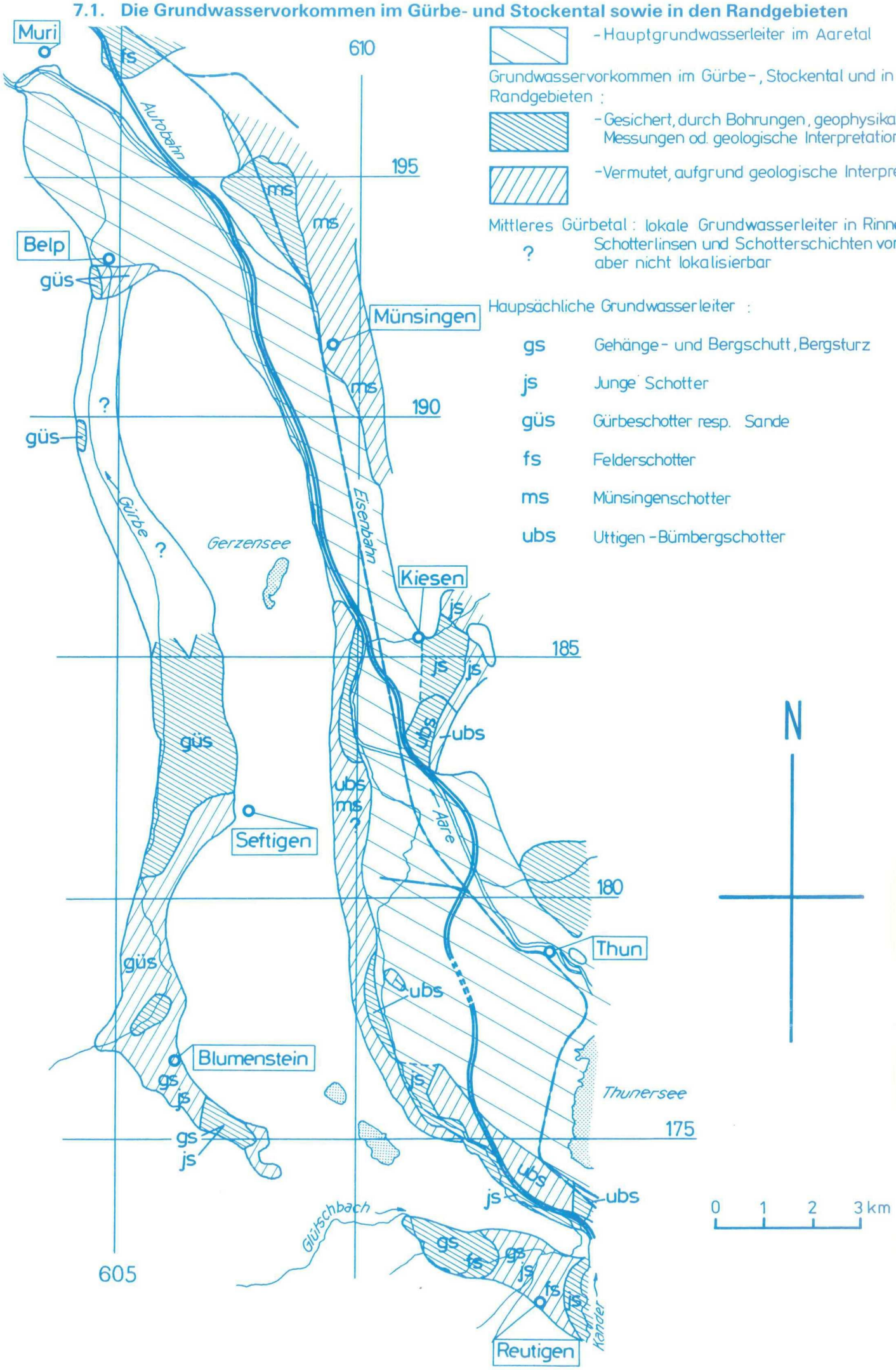
Zu den Grundwasservorkommen der Randgebiete werden all jene Vorkommen gezählt, die ausserhalb der heutigen Talsohle liegen, auch wenn sie, wie z.B. dasjenige westlich Uttigen, nicht vom Hauptgrundwasserleiter abgetrennt sind, sondern mit diesem hydraulisch mehr oder weniger eine Einheit bilden.

Es ist zu beachten, dass demnach die in den Beilagen 1 und 3 dargestellte seitliche Begrenzung des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters nicht mit der Grenzziehung zwischen dem Hauptgrundwasserleiter und den randlichen Grundwasservorkommen zusammenfällt. Diese stellt vielmehr die Schnittlinie zwischen dem mittleren Grundwasserspiegel im Hauptleiter und dem randlichen Stauer dar.

Aus den Kapiteln 2.4. und 6.2. geht hervor, dass auch die Grenzziehung zwischen dem Tiefengrundwasser- und den randlichen Grundwasservorkommen oft nicht genau fixiert ist. Diese Grenze zieht dort quer durch einen randlichen Grundwasserleiter, wo er unter den Hauptleiter abtaucht und von diesem durch eine wenig durchlässige Stauschicht abgetrennt wird. Am Beispiel Uttigen-Bümbergschotter (ubs) kann die Schwierigkeit der Grenzziehung erläutert werden. Zwischen der Kandermündung und Uttigen stehen diese Schotter im linksseitigen Hügelgebiet an und bilden einen randlichen Grundwasserleiter; zwischen Uttigen und Jaberg stehen sie im Aarebett und weiteren Teilen der Talebene an und formen zusammen mit den jungen Aareschottern (js) den Hauptgrundwasserleiter; nördlich Jaberg tauchen sie, wie Fig. 2.6 zeigt, weiter ab und beinhalten zwischen Thalgut und Hunzigen das wahrscheinlich wichtigste Vorkommen von Tiefengrundwasser.

Alle Schottervorkommen im Untersuchungsgebiet, mit Ausnahme der jungen Bachschuttkegel im Mündungsbereich der Seitentäler, stellen Teile des Füllmaterials des eiszeitlichen Aare- resp. Gürbetroges dar. Dies bedeutet, dass alle randlichen Grundwasservorkommen auf diejenigen Teile des eiszeitlichen Aaretrogs, welche weit über die heutige Talform hinausreichen, begrenzt sind. In den vorwiegend durch Molasse aufgebauten Hügelgebieten (z.B. Belpberg, Plateau von Noflen - Längenbühl - Amsoldingen) fehlen bedeutendere Grundwasservorkommen, da dort keine Sedimente vorkommen, welche sich als Grundwasserleiter eignen könnten.

7.1. Die Grundwasservorkommen im Gürbe- und Stockental sowie in den Randgebieten



- Hauptgrundwasserleiter im Aaretal

Grundwasservorkommen im Gürbe-, Stockental und in den Randgebieten :

- Gesichert, durch Bohrungen, geophysikalische Messungen od. geologische Interpretation.
- Vermutet, aufgrund geologische Interpretation.

Mittleres Gürbetal : lokale Grundwasserleiter in Rinnen, Schotterlinsen und Schotterschichten vorhanden, aber nicht lokalisierbar

?

Haupsächliche Grundwasserleiter :

gs	Gehänge- und Bergschutt, Bergsturz
js	Junge Schotter
güs	Gürbeschotter resp. Sande
fs	Felderschotter
ms	Münsingenschotter
ubs	Uttigen-Bümbergschotter

7.2. Grundwasservorkommen in der randlichen Hügelzone zwischen Kander und Jaberg sowie am Bümberg

Wie im Kapitel 2.4.2. erläutert wird, liegt in der Hügelzone auf der linken Seite des unteren Thunerseebeckens und des Aaretales zwischen dem Kanderdurchstich und Jaberg unter der Deckmoräne ein mächtiges nur lokal durch Stau - schichten aufgegliedertes Schotterpaket (ms und ubs), welches seinerseits Oppligensande (osa) und alte Seetone (at) überlagert.

Die Mächtigkeit, Höhenlage und Grundwasserführung dieses Schottervorkommens ist nur an wenigen Stellen bekannt:

- Längs des Kanderdurchstiches reichen die grobkörnigen, gut durchlässigen Hahnideltaschotter unter das Kanderniveau. Ueber die Infiltration der Kander in diese Schotter liegen keine Angaben vor. Wegen des starken Gefälles des Flusses und der variablen Wasserführung ist das Kanderbett jedoch nicht kolmatiert und folglich für eine beträchtliche Infiltration geeignet.
- Im Gebiet Brüggmatt im Glütschbachtal existieren mehrere Sodbrunnen und Hauswasserfassungen, welche das Grundwasser in den jungen Kander- resp. Glütschbachschottern nutzen. Diese stehen wiederum in direktem Kontakt mit dem grossen pleistocaenen Schotterkomplex (vergl. Beilage 2, Profil II) und dürften zu dessen Grundwasserspeisung beitragen.

Südöstlich der Mündung des Glütschbachtales bei Allmendingen ist das randliche Grundwasservorkommen durch die längs der Talflanke unter den Hauptgrundwasserleiter der Talsohle abtauchende Deckmoräne von diesem abgetrennt. Weder die Grundwassermächtigkeit noch die Spiegellage sind im randlichen Vorkommen bekannt. Die erwähnten geologischen Indizien deuten jedoch auf ein bedeutendes, bis heute ungenutztes Grundwasservorkommen hin. Seine vermutete Ausdehnung zeigt Fig. 7.1.

Nördlich der Glütschbachmündung steht das randliche Grundwasservorkommen mit jenem in der Talsohle in direktem Kontakt (vergl. Beilage 2, Profile V - VII, VIII b, IX b und X b). Die Festlegung der westlichen Begrenzung (vergl. Fig. 7.1) basiert südlich Uttigen auf detaillierten geologischen Kartierungen; eine Kontrolle durch Bohrresultate ist erst im Kiesabbaugebiet zwischen Uttigen und Jaberg möglich.

Nur aus diesem letzteren Gebiet liegen gesicherte Informationen über die Grundwassermächtigkeit und über die Durchlässigkeit des Leiters vor (vergl. Tabelle 7.1).

Fig. 7.2 zeigt, basierend auf den Untersuchungen der Firma COLOMBI, SCHMUTZ, DORTHE AG (s. WEA-Dokumentation 1976), die Lage des Grundwasserspiegels in den Uttigenschottern, östlich Kienersrüti, bei verschiedenen Randbedingungen:

Der dargestellte Spiegel vom 4.2.74 entspricht tiefen Wasserständen in der Aare und im Grundwasser. Das Wasser aus den Uttigenschottern exfiltriert in die Aare. Demgegenüber zeigen die Spiegelisohypsen vom 1.7.74 die Verhältnisse bei hohem Wasserstand: Die Aare infiltriert in die Uttigenschotter, wo das

Grundwasser annähernd parallel zum Aarelauf nach Norden fliesst. Aus den im zitierten Bericht der Firma CSD enthaltenen, langfristigen Spiegelmessungen geht hervor, dass die Grundwasserexfiltration gegenüber der Aareinfiltration vorherrscht.

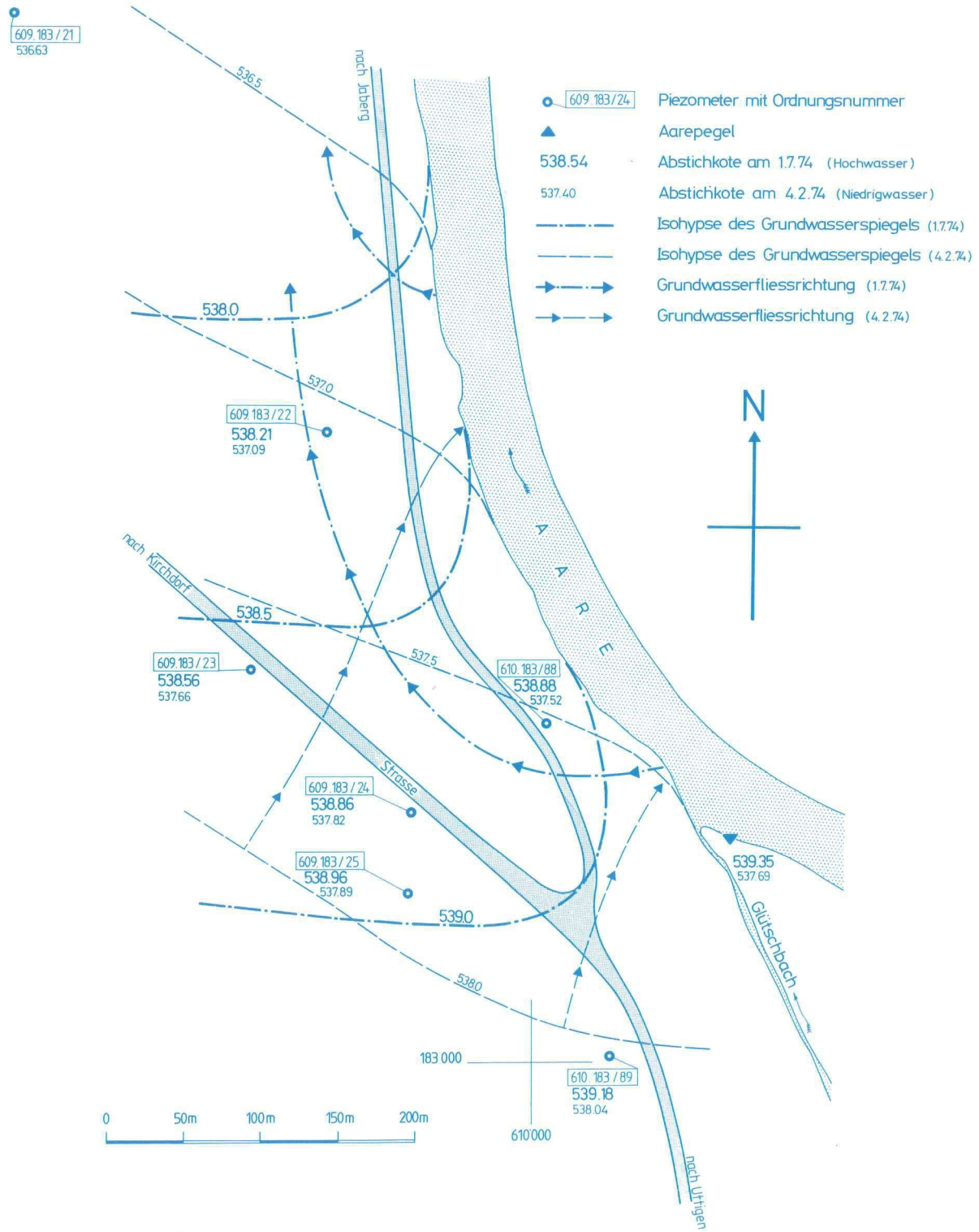
Tabelle 7.1: Kennwerte von Pumpversuchen in randlichen Grundwasserleitern

GW-Leiter	Name	WEA Ordnungs-Nr.	PV Datum	PV Q l/min.	H m	k 10^{-3} m/s	T 10^{-2} m^2/s	Bemerkungen
ubs Uttigen-Bümberg-Schotter	Piezo 4 1/2" Kiesgrube KAGA	609/183.23	26.7.73	180	>9	0,3	>0,27	Klein-PV
	Piezo 4 1/2" " "	609/183.24	25.7.73	100	42	0,1	0,42	Flow-Meter
	FB (r=0,3) Kiesgrube Bümberg	611/183.10	8.69	1200	>8	0,5	0,40	Klein-PV
js Rotache Schutt-kegel	Piezo 4 1/2" HGA 7	611/184.3	5.3.79	60	>8,4	1,1	0,91	Klein-PV
	" HGA 1	611/184.18	27.2.79	50	8,7	0,2	0,17	"
	" HGA 3	611/184.20	1.3.79	25	5,4	~0,2	~0,1	"
	" HGA 6	611/184.21	26.2.79	43	>13,5	0,5	0,67	"
	" HGA 4	611/185.22	21.11.78	125	6,1	0,2	0,13	"
	FB 6" Gemeindehaus Oppligen	Koord. 611.940/ 185.425	10.8.79	210	7,5	1,3	0,97	"
js Chise Schutt-kegel	Piezo 4 1/2" HGA 5	611/185.2	2.3.79	40	2,1	1,3	0,27	"
	" HGA 8	612/185.13	23.11.78	130	10,3	1,1	1,16	"
	" HGA 10	612/185.14	24.11.78	120	7,6	0,7	0,54	"
	" HGA 9	612/186.19	24.11.78	130	9,7	1,8	1,75	"
ms Münsingen Schotter	FB Kiesgrube Rubigen	607/194.19	19.-23.5.59	500	6,0	6,3	3,78	Gross-PV
	FB (r=1,05) Sanitätshilfs-stelle Primarschule Rubigen	608/193.2	8.56	600	>6,5	1,3	0,84	"
	Piezo 4" Fischzucht Münsingen	608/193.16	72	52	4,9	2,0	0,98	Klein-PV
	FB (r=0,3) " " (nördl. Landw.schule Schwand)	608/193.19	12.6.- 12.7.72	500	4,5	1,2	0,54	Gross-PV
	Piezo 4" Fischzucht Münsingen	608/193.21	72	48	4,0	1,0	0,40	Klein-PV
	FB (r=0,35) Schattholz Rubigen	608/194.5	16.7.- 6.8.70	3000	8,1	2,3	1,87	Gross-PV
	FB (r=0,25) Zivilschutz Rubigen	608/194.6	21.4.70	56	4,0	3,6	1,44	Klein-PV

Da die Speisung des randlichen Grundwasservorkommens nördlich der Glütschbachmündung praktisch ausschliesslich durch die Versickerung von Niederschlag erfolgt, und da die Einsickerungsrate wegen der den Grundwasserleiter überdekkenden, gering durchlässigen Würmmoräne (dm) sicher reduziert ist, wird vermutet, dass es sich bei der Infiltration von Aarewasser in den randlichen Grundwasserleiter nur um das Auffüllen der dort unter der jeweiligen Kote des Aarespiegels vorhandenen Reservoirkapazität handelt. Beim Absinken des Aarespiegels wird der grösste Teil des ursprünglich aus der Aare infiltrierten Wassers wieder in diese zurückfliessen.

Ausser der Exfiltration in die Aare resp. in den Hauptgrundwasserleiter der Talsohle kann, wie aus Fig. 2.6 ersichtlich ist, das Wasser des randlichen Grundwasservorkommens nur das Tiefengrundwasser in den Uttigen-Bümberg-Schottern speisen. In Kapitel 6.4.1. wird dargelegt, dass die Tritiumwerte dieses

7.2. Grundwasserisohypsen in den Uttigenschottern bei In- und Exfiltrationsverhältnissen



Tiefengrundwassers, welches mit der Bohrung M 4 erschlossen ist, tatsächlich auf einen gewissen Anteil Aareinfiltrat hinweisen. Die Zirkulation wird jedoch, solang das Tiefengrundwasser nicht massiv genutzt ist, beschränkt sein.

Ein dem oben beschriebenen ähnliches randliches Grundwasservorkommen findet sich nordwestlich Heimberg in den Bümbergschottern, an deren Typlokalität, dem Bümberg (vergl. Fig. 7.1 und 7.3 sowie Beilage 2, Profil XI b). Auf der West- und Südwestseite steht es in direktem Zusammenhang mit dem Hauptgrundwasserleiter, auf der Nordseite mit dem randlichen Grundwasservorkommen im Rotache-Schuttfächer. Zur Zeit wird dieses Vorkommen nicht genutzt. Die Kiesgrube Bümberg besitzt einen Filterbrunnen, welcher schon innerhalb der Talebene liegt, aber das Grundwasser aus den Bümbergschottern bezieht. Da im Bümberg selbst der Grundwasserleiter die gleichen Eigenschaften aufweist, wie bei diesem Brunnen, wurde dieser in die Tabelle 7.1, welche die Durchlässigkeit und die Grundwassermächtigkeiten zeigt, aufgenommen.

7.3. Grundwasservorkommen in den Schuttkegeln der Seitentäler

Zwischen Thun und Bern münden rechtsseitig nur 3 wesentliche Seitentäler in das Haupttal, diejenigen der Zulg, Rotache und Chise.

Ueber die Wasserführung des Schuttfächers der Zulg bei Steffisburg (vergl. Fig. 7.1 und Beilage 2, Profil VI) liegen kaum Informationen vor. Beobachtungen in Baugruben zeigen immerhin, dass die Durchlässigkeit der Zulgablagerungen generell wesentlich geringer ist als diejenige der Kanderschotter in der Talebene. Die Wasserführung der Zulg ist sehr variabel, extreme Hochwasser treten oft auf. Entsprechend dem sehr steilen Einzugsgebiet, in welchem neben Molasse auch Flysch auftritt, führt die Zulg bei Hochwasser eine grosse, unsortierte Sedimentfracht. Der Schuttkegel im Mündungsbereich weist demnach eine grosse Streuung in der Kornverteilung auf. Das Material kann als stark siltiger, sandiger Kies mit einem bedeutenden Anteil an Steinen und Blöcken beschrieben werden und stellt somit keinen besonders günstigen Grundwasserleiter dar. Dass trotz dieser Einschränkung eine ansehnliche Grundwassermenge durch den Schuttkegel abfliesst und zur Speisung des Hauptgrundwasserleiters beiträgt, folgt aus der Isohypsenkarte in Beilage 3.

Viel besser sind wir, dank mehreren im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen abgeteuften Bohrungen, über die Schuttfächer der Rotache resp. der Chise orientiert (vergl. Fig. 7.1 und 7.3; Beilage 2, Profil X b sowie Tabelle 7.1). Die Rotache zeigt ein ähnliches Abflussregime wie die Zulg; in ihrem Einzugsgebiet steht jedoch ausschliesslich Molasse an. Das Material des Schuttfächers ist wenig sortiert, es handelt sich vorwiegend um unsauberen Kies mit einzelnen Steinen. Die Durchlässigkeit liegt meist zwischen $2 - 5 \cdot 10^{-4}$ m/s, an ausgesprochen günstigen Stellen beträgt sie bis über $1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die Speisung des Grundwassers erfolgt grösstenteils durch Infiltration der Rotache (vergl. Beilage 3). Der gesamte Grundwasserdurchfluss tritt knapp 500 m östlich der SBB Linie in den Hauptgrundwasserleiter der Talsohle über.

Die Chise weist nur einen undeutlich in den feinkörnigen Deckschichten (Ueberschwemmungssande und -lehme) ausgeprägten Schuttkegel auf. Ein Transport von grobkörnigem Material aus dem Oberlauf der Chise bis zum Mündungsbereich findet entsprechend des kleinen Gefälles im mittleren Flussabschnitt kaum statt. Für das Grundwasser von Bedeutung ist jedoch die beträchtliche lokale Umlagerung von Münsingenschottern im Bereich zwischen Kiesen und Oppligen sowie die Auswaschung und Umlagerung von Material des direkt angrenzenden Schuttkegels der Rotache. Dies bewirkt, dass die Chiseablagerungen - mit Ausnahme der feinkörnigen Ueberschwemmungsschichten - aus vorwiegend sauberen Schottern mit entsprechend guter Durchlässigkeit in der Grössenordnung von $2 - 10 \cdot 10^{-3}$ m/s bestehen (vergl. Tabelle 7.1). Das Grundwasser in den Chiseablagerungen lässt sich von jenem im Rotacheschuttfächer nicht abtrennen, es tritt ebenfalls westlich Kiesen vollständig in den Grundwasserleiter der Talebene über.

Wie in Fig. 7.3 dargestellt wird, liegen die Schuttfächer der Chise und der Rotache grösstenteils der Schlammoräne auf.

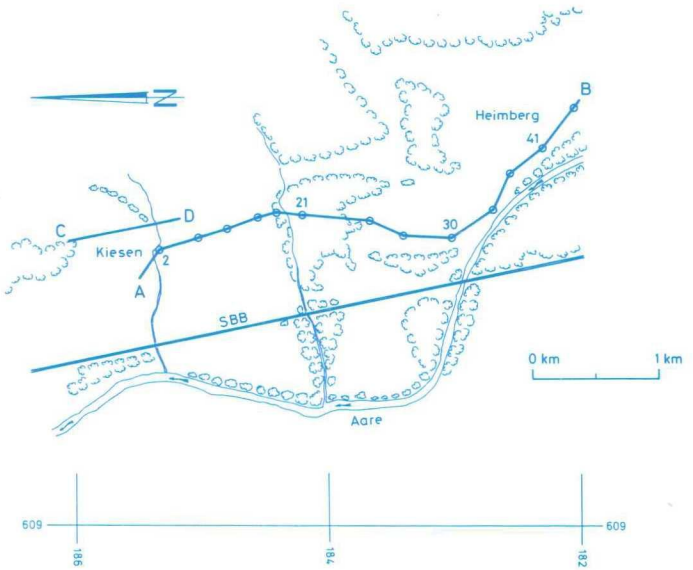
7.4. Grundwasservorkommen in den Münsingenschottern

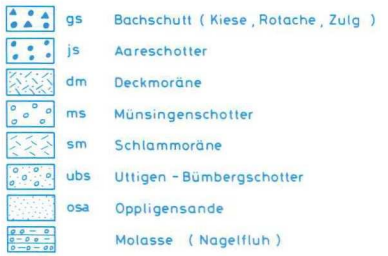
Der Grundwasserleiter in den Münsingenschottern (ms) wird durch den Einschnitt des Grabentales bei Münsingen zweigeteilt. Südlich Münsingen bis gegen Oberwichtrach bedecken die Münsingenschotter in einem Streifen von 300 m bis gegen 1 km Breite den untersten Teil der rechtsseitigen Talflanke. Die Schotter überlagern Schlammoräne (sm), Oppligensande (osa) und alte Seetone (at), wobei diese stauende Unterlage gegen das Aaretal zu einfällt. Am Rand der Aaretalebene resp. am bergseitigen Rand der aus älteren alluvialen Schottern aufgebauten Terrasse liegt die Stauschicht teils über, teils unter dem Haupt - grundwasserleiter der Talsohle (Beilage 2, Profile XII, XIII b, XIV b). Aus dieser Situation folgt, dass hier die Münsingenschotter z.T. durch eine Schichtentwässerung an ihrer Basis gegen das Aaretalgrundwasser hin drainiert werden; stellenweise enthalten sie jedoch kleine Grundwasservorkommen, welche vom Hauptgrundwasserleiter nicht abgetrennt sind.

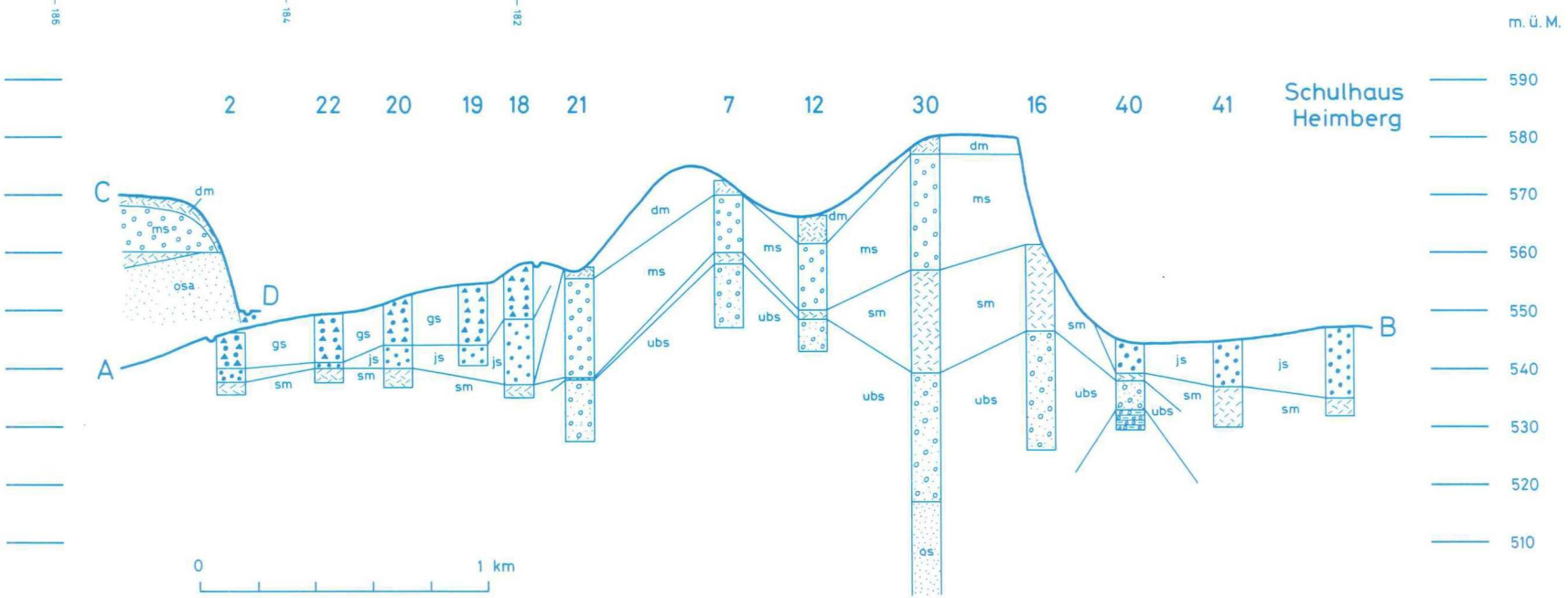
Nördlich Münsingen verbreitert sich das Vorkommen der Münsingenschotter, gleichzeitig steigen die die Stauschicht des Hauptgrundwasserleiters in der Talsohle bildenden postglazialen Seetone am Talrand an und bilden nördlich des Hunzigengutes die Fortsetzung der Niederterrasse von Münsingen. Sie trennen somit das Grundwasser in den Münsingenschottern von demjenigen in der Talsohle (Fig. 2.5, 2.6; Beilage 2, Profile XVI b, XVII b und XVIII). Wie aus den Bohrungen zwischen Schwand und Rubigen und im Schattholz hervorgeht, steigt östlich der Niederterrasse auch die Oberfläche der pleistocaenen Seetone wesentlich über die Niederterrasse an, um danach gegen Osten zu wieder einzufallen.

Aus dieser Form der Staueroberfläche folgt, dass direkt nördlich Münsingen bis zur Schwand eine Schichtentwässerung der Münsingenschotter vorliegt. Ein bedeutender Quellhorizont am bergseitigen Rand der Niederterrasse von Münsingen resultiert daraus. Nördlich und nordöstlich der Schwand existiert jedoch in den Münsingenschottern ein grosses, vom Grundwasser in der Talsohle unabhän-

7.3. Schematisches geologisches Längsprofil durch die Grundwasserleiter im Rotachedelta und im Bümberg







giges Grundwasservorkommen. Seine natürliche Entwässerung erfolgt durch die grossen Ueberlaufquellen bei der Säge südlich Rubigen, welche durch die Wasserversorgungen von Muri und Rubigen genutzt werden.

Die Qualität dieses Grund- resp. Quellwassers ist im allgemeinen einwandfrei, seine Temperatur steigt nie über 11°C.

Neben der Nutzung der natürlichen Ueberlaufquellen wird dieses Grundwasservorkommen zur Zeit nur für technische Zwecke (Kiesaufbereitung) genutzt, es existieren jedoch mehrere Reserve- und Zivilschutzbrunnen (Tabelle 7.1).

Die nördliche und westliche Begrenzung dieses Grundwasservorkommens sowie allfällige Zusammenhänge mit dem Grundwasser im Worbboden und demjenigen in Gümligen sind noch nicht bekannt. Diesbezügliche Untersuchungen werden zur Zeit im Rahmen der hydrogeologischen Kartierung des Worblen- und Kiesentales unternommen.

7.5. Grundwasservorkommen in den Felderschottern des Gümligen-, Muri- und Kirchenfeldes sowie im Gebiet Kehrsatz - Wabern

Diese Vorkommen wurden im Rahmen der vorliegenden Studie nicht untersucht; sie stehen nur in sehr losem Zusammenhang mit dem Aaretal zwischen Bern und Thun und werden daher hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt, aber nicht näher erläutert.

8. DIE GRUNDWASSERLEITER IM STOCKEN- UND GUERBETAL

8.1. Allgemeines

Das Stocken- und das Gürbetal stellen eine glazial geprägte, zum Thunerseebecken und Aaretal parallel verlaufende, 0,75 - 1,5 km breite Talfurche dar. Wie die Verteilung der Felsaufschlüsse zeigt, bestehen jedoch weder im Plateau von Amsoldingen noch im Raume Kirchdorf - Seftigen Querverbindungen zwischen den beiden Talanlagen. Die das Stockental vom Gürbetal trennende Wasserscheide liegt zwischen Pohlern und Oberstocken.

Im Jahre 1977 durchgeführte refraktionsseismische und geoelektrische Untersuchungen haben klar gezeigt, dass auch im Untergrund kein einheitlicher, von Reutigen am Südostende des Stockentales bis Belp am Ausgang des Gürbetales durchziehender Grundwasserleiter existiert.

Nach hydrogeologischen Gesichtspunkten lassen sich vielmehr vier Teilgebiete unterscheiden, nämlich:

- Die Schotterebene der Kander
- Das Gebiet Pohlern - Stocken - Reutigen, welches sich durch zwei in alpine Gesteine eingetiefte Becken auszeichnet, die hauptsächlich mit Seetonen, Moräne, Verlandungsbildungen und teilweise aber auch grobblockigen Bergsturz- und Bachschuttmassen angefüllt sind
- Der obere Teil des Gürbetales von Blumenstein über Wattenwil bis Mühledorf, in welchem ein durch bis 20 m mächtige feinkörnige Ablagerungen überdeckter, kiesig-sandiger Grundwasserleiter vorhanden ist
- Der untere Abschnitt des Gürbetales von Mühledorf bis Belp, welcher im wesentlichen mit schlecht durchlässigen Tonen und Lehmen erfüllt ist. In diesem Gebiet konnte Grundwasser lediglich in einigen wenigen, schmalen Schotterrinnen nachgewiesen werden.

Auch im Verlauf der Felsoberfläche unter der heutigen Talsohle zeigt sich zwischen dem oberen und unteren Gürbetal eine grosse Differenz: Nördlich Seftigen zeigt die Felsoberfläche einen U-förmigen Querschnitt, welcher auf eine glaziale Erosion hindeutet (Beilage 2, Profil IX a und X a). Die Trogsohle liegt ca. 140 m unter der Kote des heutigen Talbodens. Südlich Seftigen scheint ebenfalls ein U-förmiger Glazialtrog zu existieren, wobei seine Sohle nur ca. 10 m unter den Talboden reicht. In diese Trogform wurde offenbar in einer späteren Phase ein V-förmiger Einschnitt bis auf die Kote des Glazialtroges nördlich Seftigen fluviatil einerodiert (Beilage 2, Profil VIII a).

Im folgenden wird auf die erwähnten vier Teilgebiete und deren Grundwasservorkommen detaillierter eingegangen.

8.2. Die Schottervorkommen entlang der Kander

Die Simme und die Kander schütteten im Gebiet zwischen Wimmis, Lattigen, Hahni und Reutigen eine ausgedehnte Schotterebene. Diese baut sich aus jungen, unverfestigten Kiesen und Sanden auf, welche teilweise stark verkitteten, sog. Deltaschottern aufliegen. Die Mächtigkeit des gesamten Paketes variiert zwischen wenigen Metern bis über 20 Meter. Im Liegenden der Schotter treten sowohl als Stauer wirkende Seetone und Moräne auf, wie auch mehr oder weniger ausgelaugter Gips und Rauhwacke sowie Dolomite und Kalke. Gegen Westen dünnen die Schottervorkommen rasch aus (Beilage 2, Profil I b).

Angaben über die Grundwasserführung dieser Schotter sind innerhalb des Untersuchungsgebietes, d.h. westlich der Kander, kaum vorhanden. In einer einzigen Bohrung nordöstlich Reutigen (614/171.3) wurde im Schotter ein Grundwasserspiegel auf -10,4 m unter Terrain gemessen. Die Ausdehnung und besonders die Mächtigkeit dieses Grundwasservorkommens dürften sehr beschränkt sein, da die Stauerschichten oft bis über das Kanderbett hinaufreichen (Beilage 2, Profil I b).

Dort, wo der Grundwasserleiter bis unter das Niveau der Kander abtaucht, könnten sicher günstige Fassungsstandorte - allerdings nur von lokaler Bedeutung - gefunden werden. Eine weitere Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten stellen allerdings die bedeutenden Kiesgruben in diesem Gebiet dar.

8.3. Die grundwasserführenden Bergsturz- und Bachschuttmassen sowie Rückzugsschotter im Raume Reutigen - Niederstocken

Unter dem teilweise versumpften Talboden zwischen Reutigen und Niederstocken liegt Bachschutt- und Bergsturzmaterial (gs), das seitlich mit Verlandungsbildungen verzahnt und meist von solchen überdeckt ist und mächtigen Seeton- und Moränenablagerungen auflagert (Beilage 2, Profil I b). Zusammen mit den am Gerhubel westlich Reutigen und bei Niederstocken anstehenden reliktischen Vorkommen von Rückzugsschottern (fs) bilden diese partiell sehr durchlässigen Schuttmassen ein lokal bedeutendes Grundwasservorkommen.

Die Speisung dieses Vorkommens erfolgt vorwiegend durch Hangwasserzufluss am Fuss der Stockhornkette und durch unterirdische Karstwasserübertritte aus dem Kalk der Klippendecke in das Bergsturzmaterial. Eine direkte Infiltration von Niederschlag erfolgt in der Ebene von Reutigen bis Niederstocken wegen den abdichtenden Deckschichten kaum. Das Grundwasser im Bergsturzmaterial ist an den die Schuttmassen überdeckenden Verlandungslehmen gestaut und weist oft einen artesischen Druck auf. Das Grundwasser tritt in verschiedenen bedeutenden Ueberlaufquellen (Fluhbachquelle, Harnischlingequelle) am Hangfuss längs der Grenze zwischen nicht überdecktem Hangschutt und Bergsturzmaterial zu den Verlandungsbildungen aus.

Das Grundwasser wird zur Zeit durch die Gemeinden Reutigen, Zwieselberg und die kantonale Fischzuchtanstalt genutzt. Tabelle 8.1 zeigt die in den entsprechenden Fassungen bestimmten hydraulischen Kennwerte. Auffallend ist die sehr

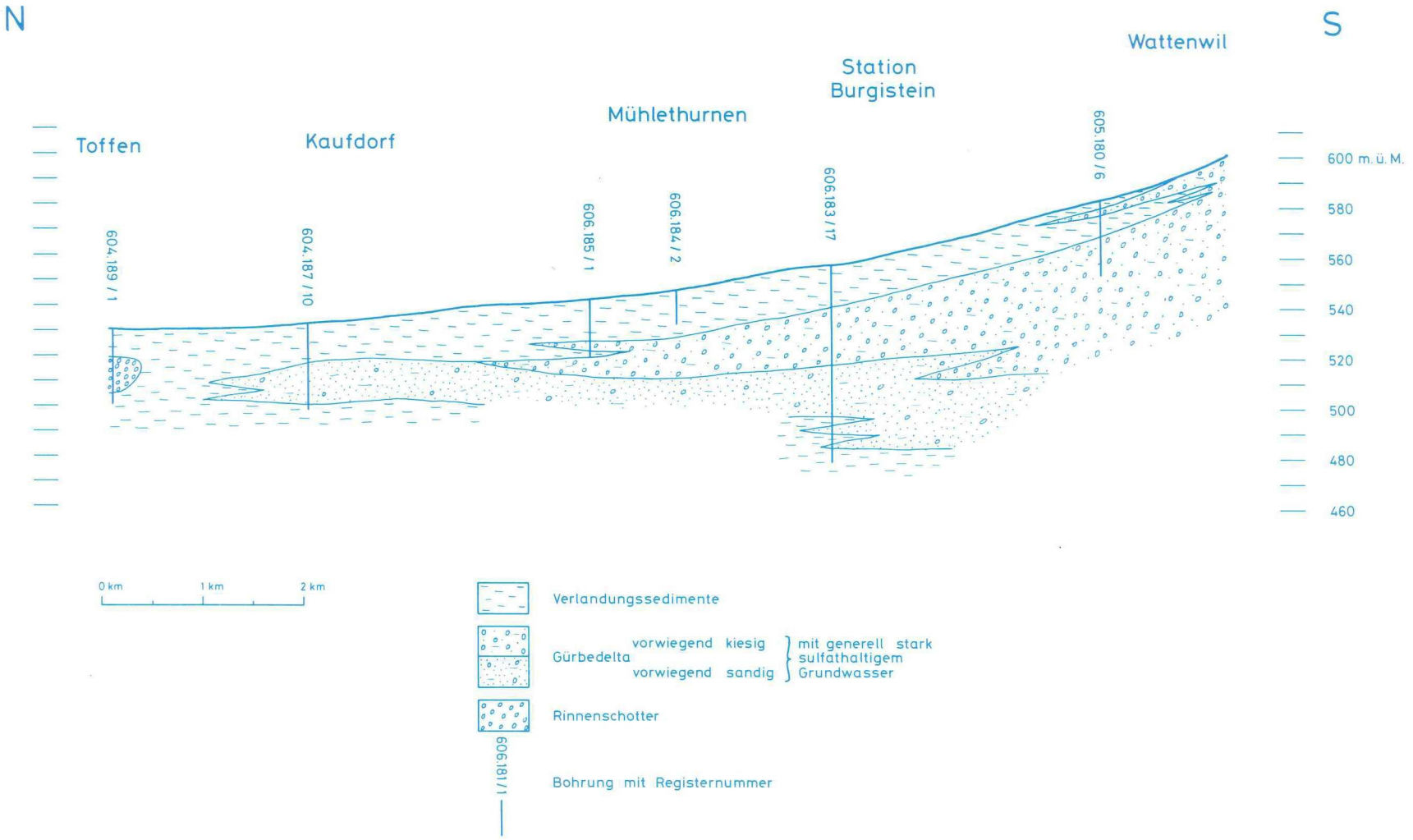
Tabelle 8.1: Kennwerte von Pumpversuchen im Gürbe- und Stockental

GW-Leiter	Bezeichnung / Name	WEA Ordnungs-Nr.	PV Datum	PV Q l/min.	H m	k 10^{-3} m/s	T 10^{-2} m^2/s	Bemerkungen
Lokale Rinnenschotter u. Kiesvorkommen des nördlichen Gürbetales	FB Galactina Belp	604/193.20	1.48	100	7,0	0,8	0,59	Gross-PV, GW gespannt
	FB WV Toffen	604/189.1	4.74	1900	14,0	$\geq 1,1$	$\geq 1,6$	kein Beharrungszustand erreicht, Absenkung extrapoliert (Gross-PV); GW gespannt
	VB (r = 0,125) Kaufdorf	604/187.15	2.64	100	6,0	5,5	3,33	Klein-PV, GW gespannt
Gürbeschotter zw. Wattenwil und Mühlethurnen	Sanierungsbrunnen Oelbohrung	606/185.1	12.70	1750	4,6	0,9	0,42	Klein-PV, GW gespannt
	SB beim PV Gemeindeverband Kirchdorf - Mühledorf - Noflen	607/183.1	3.46	1810	>10	5,2	5,2	Klein-PV, GW gespannt
	Piezo 4 1/2" HGB 1	606/183.7	28.11.78	110	~27	1,5	5,07	Klein-PV
Bergsturz- und Bachschuttmassen sowie Rückzugsschotter im Raum Reutigen - Niederstocken	FB (r = 0,55) WV Reutigen	612/172.2	9.42	295	> 18,7	0,16	0,31	Gross-PV, GW gespannt
	FB (r = 0,2) WV Zwieselberg	613/172.1	1.52	170	3,8	0,71	0,27	Gross-PV, GW gespannt
	FB (r = 1,10) Fischzucht Reutigen	Koord. 612.100/ 171.950	27.1.81	4300 - 3000	$\geq 6,5$	< 19	$< 12,5$	Klein-PV; kein Beharrungszustand erreicht bei Q = 4300 l/min.

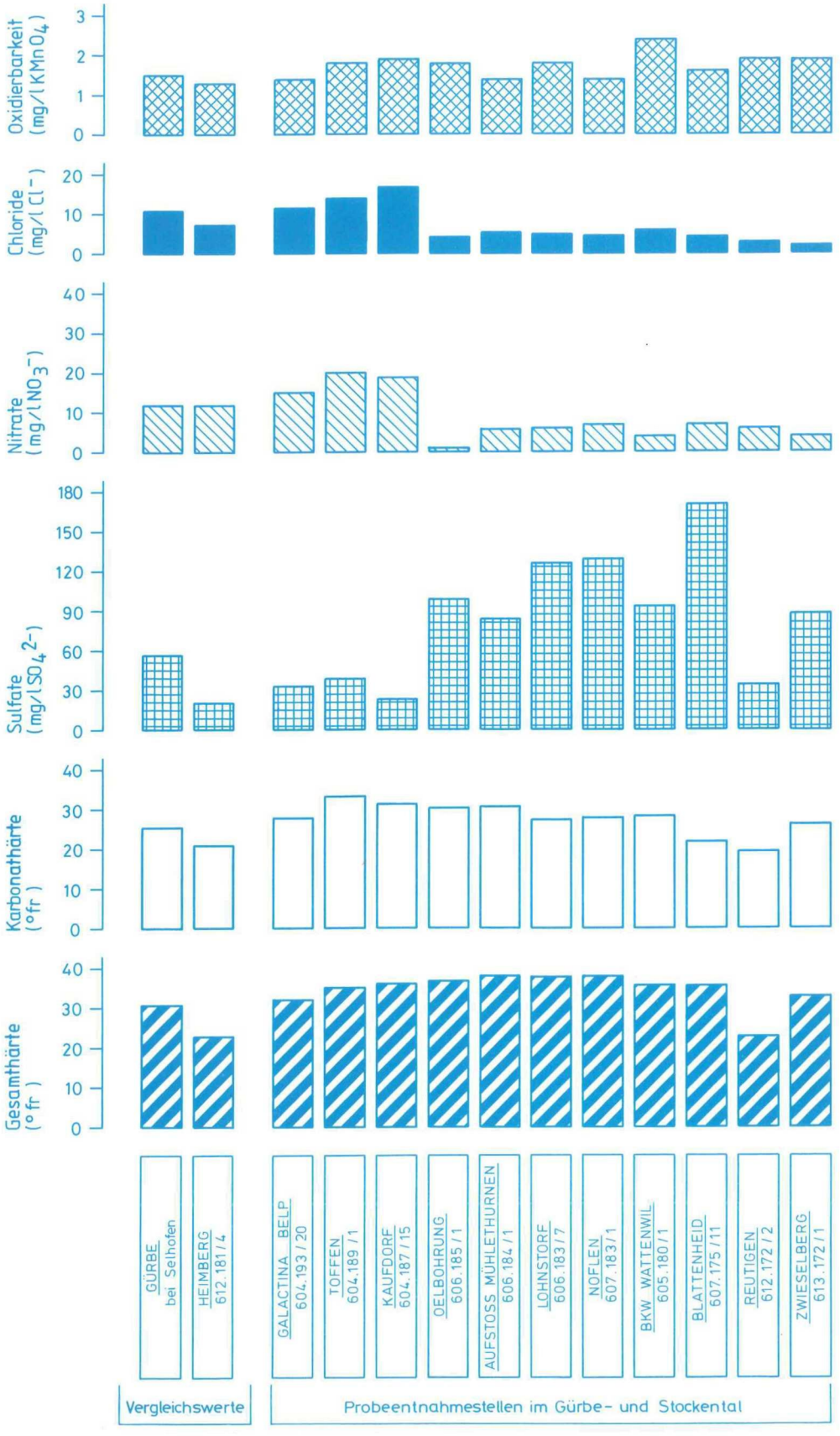
stark variierende Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, die durch seinen heterogenen Aufbau bedingt ist. Der Filterbrunnen der kantonalen Fischzucht liegt in reinem Bergsturzmaterial wenig bergseits der Fluhbachquelle. Entsprechend der grobblockigen Ausbildung des Grundwasserleiters, welcher dort kein Feinmaterial enthält, beträgt die Durchlässigkeit annähernd 0,02 m/s. Demgegenüber stehen die recht kleinen Durchlässigkeiten der Filterbrunnen von Zwieselberg $0,7 \cdot 10^{-3}$ m/s. resp. von Reutigen $0,16 \cdot 10^{-3}$ m/s, wobei der Brunnen von Zwieselberg in einem vom Hauptgrundwasserleiter durch Verlandungsbildungen mehr oder weniger abgetrennten Vorkommen von umgelagertem Gehängeschutt und derjenige von Reutigen in unsauberen, aber mit dem Bergsturzmaterial in direktem Kontakt stehenden Rückzugsschottern liegt. Dass das von Zwieselberg genutzte Grundwasser vom übrigen abgetrennt ist, zeigt sich auch in seiner stärkeren Mineralisierung (Fig. 8.2).

Eine starke Erhöhung der heutigen Nutzung des Grundwassers wird kaum möglich sein, da schon vor der Inbetriebnahme des Filterbrunnens der kant. Fischzucht (2000 l/min.) die Fluhbachquelle als hauptsächlichster natürlicher Ueberlauf während extremen Trockenzeiten oder sehr lange dauernden Frostperioden versiegte. Das vorhandene Reservoirvolumen im Grundwasserleiter reicht aus, um auch während diesen Zeiten den Betrieb des Fischzuchtbrunnens, welcher mittels einer Heberleitung Wasser fördert und demnach nicht beliebig abgesenkt werden kann, zu garantieren. Die sehr grosse Wasserführung der Ueberlaufquel-

8.1. Generelles geologisches Längsprofil durch das Gürbedelta zwischen Wattenwil und Toffen



8.2. Übersicht über ausgewählte chemische Parameter der Grundwässer im Gürbe- und Stockental



len während der Schneeschmelze in der Stockhornkette von bis über 25'000 l/min. ist für die Trinkwasserversorgung kaum nutzbar, da sie nur während kurzer Zeit anfällt.

Es bleibt anzufügen, dass die im Raum Blumenstein/Pohlern für den Gemeindeverband Blattenheid durchgeführten Grundwasserprospektionen zu keinen befriedigenden Ergebnissen führten.

8.4. Die Gürbeschotter zwischen Wattenwil und Mühlethurnen

Zwischen Wattenwil und Mühlethurnen wurden mittels Geophysik und Bohrungen bis über 24 m mächtige, deltaförmig in einen See abgelagerte Schotter nachgewiesen. Wie Fig. 8.1 zeigt, werden diese Schotter, welche gegen unten und gegen Norden versanden, von vermutlich postglazialen Seetonen und Verlandungsbildungen unter- und überlagert. Zwischen Kaufdorf und Toffen scheint diese grobkörnige Deltaschüttung auszukeilen. Ob sie in einem direkten Zusammenhang mit den weiter nördlich, z.B. bei Toffen lokal festgestellten, in die Seetone einerodierten und mit Schotter angefüllten Rinnen steht, ist ungewiss.

Zwischen Mühlethurnen und Noflen existierten vor der Melioration des Moosgebietes (1918 - 20) zahlreiche natürliche Grundwasseraufstösse, die in der grossen und kleinen Müsche abflossen. Diese Austritte sind heute grösstenteils gefasst und werden durch das Drainagesystem der Müsche zugeleitet. Messungen des Drainageausflusses in diesem Gebiet nach langen Trockenperioden ergeben eine Schüttung von rund 3000 l/min. Es wird sich dabei fast ausschliesslich um aufgestossenes Grundwasser handeln.

Diese Grundwasseraufstösse sind die Folge des sich gegen Norden zu verkleinernden Durchflussquerschnittes und der gegen Norden zu kleiner werdenden Durchlässigkeit des grobkörnigen Deltas.

Das in den Deltaschottern zirkulierende Grundwasser ist gespannt und weist stellenweise einen artesischen Druck auf.

Dieses Grundwasservorkommen wird vom Gemeindeverband Kirchdorf - Mühledorf - Noflen (607/183.1) und von der WV Mühlethurnen (606/184.1) genutzt. Beide Fassungen liegen unmittelbar auf, resp. neben natürlichen Grundwasseraufstössen. Wie aus Fig. 8.2 hervorgeht, zeichnet sich dieses Grundwasservorkommen durch einen ausserordentlich hohen Sulfatgehalt aus. Dieser ist leicht erklärbar, da im Einzugsgebiet des Fallbaches und der Gürbe, welche das Delta schütteten, stellenweise Gips und Rauhwacke ansteht. Während der Schüttung des Deltas wurden diese sulfathaltigen Gesteine abgetragen und in den Grundwasserleiter transportiert, wo sie nun, wegen der leichten Löslichkeit des Gipses, Sulfat an das Grundwasser abgeben. Das im oberen Teil in das Delta infiltrierende Bachwasser weist ausserdem schon selbst einen hohen Sulfatgehalt auf.

Die Wasserqualität kann gesamthaft als genügend bezeichnet werden. Der hohe Sulfatgehalt ist zwar ungünstig, jedoch gesundheitlich unbedenklich. Die durchwegs sehr niedrigen Werte an Eisen (< 0,005) und Mangan (< 0,05) sowie

die geringe Oxidierbarkeit schliessen eine bedeutende direkte Einsickerung von der vielerorts mit Torf überdeckten Talsohle aus.

Da, wie oben erwähnt, auch bei Trockenzeit noch wesentliche Grundwassermengen in die Müsche ausfliessen, könnte die Nutzung dieses Grundwasservorkommens ohne Bedenken noch um bis 3000 l/min. erhöht werden.

8.5. Die grundwassererfüllten Schotterrinnen des nördlichen Gürbetales

In der nördlichen Gürbetalebene zwischen Mühlethurnen und Belp, sind nur wenige nutzbare Grundwasservorkommen in mit Schottern angefüllten Rinnen sowie in kiesiger Moräne am Hangfuss vorhanden. Es handelt sich dabei um die mit den Fassungen von Kaufdorf, Toffen und der Galactina AG Belp genutzten Grundwässer. Bezeichnenderweise liegen diese Grundwasservorkommen alle nahe der westlichen Talflanke, welche durchgehend von einer mächtigen, lokal kiesigen Moränenschicht überdeckt ist, im Gegensatz zur östlichen Talflanke, die nur sporadisch eine Moränenüberdeckung aufweist.

Die begrenzte Ausdehnung der bei Toffen und Belp erbohrten Rinnen (vergl. Beilage 2, Profil XV a) geht nicht nur aus den zahlreichen Sondierungen in der Nähe der beiden Fassungen hervor, sie zeigt sich auch in der sehr langsamen Wiederauffüllung nach längeren, grösseren Wasserentnahmen bei Pumpversuchen. Beide Fassungen liefern bei normalem Pumpbetrieb ein sulfatarmes Wasser (Fig. 8.2), das als Hangwasserzufluss interpretiert werden kann. Bei starkem Pumpbetrieb mit grosser Wasserentnahme nimmt der Sulfatgehalt zu.

Ein Zusammenhang dieser Rinnen mit dem Grundwasserleiter südlich Mühledorf kann daher aufgrund der chemischen Wasserbeschaffenheit nicht ausgeschlossen werden, vor allem auch, da in der Nähe der beiden Fassungen natürliche Grundwasseraufstösse mit gipsreichem Wasser liegen (Fischloch bei Toffen und von R.F. RUTSCH erwähnte Wasseraufstösse im Gürbebett nördlich der Station Belp).

Die private Fassung Kaufdorf (604/187.15) dagegen liegt eindeutig im Bereich der Talflanke.

Eine wesentliche Erhöhung der heutigen Grundwassernutzung dieser kleinen Schotterrinnen erscheint kaum möglich.

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR

BECK, P. & RUTSCH, R.F. (1958): Geologischer Atlas der Schweiz 1 : 25'000, Atlasblatt 21. Erläuterungen. - Schweiz. Geol. Komm.

DIEGEL, F. (1975): Quartärgeologische Zusammenhänge im Jungpleistozän von Jaberg. - Eclogae geol. Helv. 68/3, 517 - 530.

DIEGEL, F. (1976): Zur Gliederung des Aaretalquartärs im Jungpleistozän von Rubigen. - Eclogae geol. Helv. 69/3, 685 - 698.

GASSER, U., MATTER, A.& NABHOLZ, W. (1964): Sedimentologie eines temporären Aufschlusses von "Altmoräne" am Aarebord unter der Monbijoubrücke in Bern. - Mitt. natf. Ges. Bern (N.F.) 21.

MATTER, A., SUESSTRUNK, A., HINZ, K. & STURM, M. (1971): Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen im Thunersee. - Eclogae geol. Helv. 64/3, 505 - 520.

MUELLER, K. & LUGINBUEHL, R. (1975): Beiträge zur Hydrogeologie des Aaretals, zwischen Thun und Bern. - Diss. Univ. Bern.

SCHLUECHTER, C. (1976): Geologische Untersuchungen im Quartär des Aaretals südlich von Bern. - Beitr. geol. Karte Schweiz. (N.F.) 148.

SCHLUECHTER, C. (1978): Die stratigraphische Bedeutung von Verwitterungshorizonten im Quartär des Kantons Bern. - Eclogae geol. Helv. 71/1, 227 - 232.

SCHLUECHTER, C. (1979): Uebertiefte Talabschnitte im Berner Mittelland zwischen Alpen und Jura (Schweiz). - Eiszeitalter u. Gegenwart, 29, 101 - 113.

SCHNEIDER, J.K., SCHWARZENBACH, R.P., HOEHN, E., GIGER, W. & WASMER, H.R. (1981): The behaviour of organic pollutants in a natural river - groundwater infiltration system. - In: Van DUIJVENBOODEN, W. et al (Eds.): Studies in Environmental Science, Vol. 17 - Elsevier, Netherlands.

SIEGENTHALER, U. & SCHOTTERER, U. (1977): Hydrogeologische Anwendung von Isotopenmessungen in der Schweiz. - Gas-Wasser-Abwasser 57, 501 - 506.

TODD, P. (1959): Ground Water Hydrology. - Wiley + Sons, Inc. 1959.

WASSER- U. ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA) (1976): Hydrogeologie Seeland. - Bearbeitung KELLERHALS, P. & TROEHLER, B., Bern.

LISTE DER GEBRAEUCHLICHSTEN ABKUERZUNGEN

SB	Sondierbohrung
VB	Versuchsbrunnen
FB	Filterbrunnen
Ø	Durchmesser
GW	Grundwasser
P	Pegel
Q	Abfluss
TOK	Terrainoberkante
WV	Wasserversorgung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BKW	Bernische Kraftwerke AG
MZA	Meteorologische Zentralanstalt Zürich
LWW	Licht- und Wasserwerke Thun

Der Bericht kann beim Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern bezogen werden.

Der Preis beträgt Fr. 40.--

Beilage 1

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern (inkl. Gürbetal) 1:25 000 Blatt Nord

Grundkarte

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler†
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- XII — Lage eines geologischen Profils
- 14 — Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- ? — Angabe fraglich

Künstliche Aufschlüsse[1]

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht
- Bohrung
- Schlitz, Baugrube
- K — Kiesgrube

Ausbildung der Deckschichten, sowie der oberflächennahen Festgesteine der Talränder

- Künstl. Ablagerung
- Künstl. Dammschüttung
- Schuttkegel
- Bergsturz
- Gehängeschutt, -lehm
- Torf, anmoorige Bildungen
- Quelltuff
- Fels, verrutscht, zum Teil mit Moräne vermischt
- Molasse
- Subalpiner Randflysch
- Tonig-sandiger Silt, Lehm
- Sand
- Verkitteter Sand
- Kies, sandiger Kies
- Moräne
- Moräne verschwemmt
- Gurnigelflysch
- Klippendecke
- Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten

Durchlässigkeitsbereiche
Profil-k-Werte des wassererfüllten Teils des Grundwasserleiters

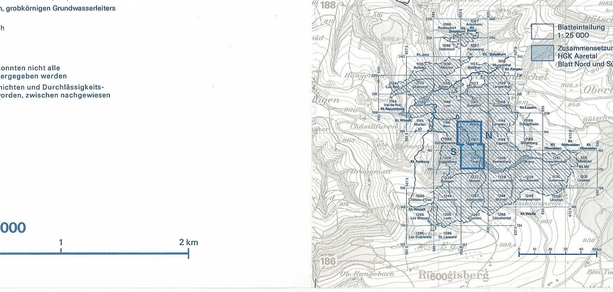
Durchlässigkeit:

- Gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
- Mittel, $k\ 2 \cdot 10^{-3}$–$2 \cdot 10^{-4}$ m/s
- Klein, $k\ 2 \cdot 10^{-4}$–$1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Sehr klein, $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Hydrogeologische Kennziffern

6.7	Durchlässigkeit k, in 10^{-3} m/s, bestimmt aus Grosspumpversuch
3.0	Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, zur Zeit des Pumpversuches
(4.5)	Bestimmt aus Kleinpumpversuch
(3.0)	Geschätzter Wert

[1] Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle künstlichen Aufschlüsse wiedergegeben werden
Bei der Darstellung der Deckschichten und Durchlässigkeitsbereiche ist darauf verzichtet worden, zwischen nachgewiesen und vermutet zu unterscheiden



1:25000
1000 m 500 0 1 2 km

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aemi-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

Beilage 1

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern (inkl. Gürbetal) 1:25 000 Blatt Süd

Grundkarte

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler†
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- XII Lage eines geologischen Profils
- 14 Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- ? Angabe fraglich

Künstliche Aufschlüsse [1]

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht
- Bohrung
- Schlitz, Baugrube
- K Kiesgrube

Ausbildung der Deckschichten, sowie der oberflächennahen Festgesteine der Talränder

- Künstl. Ablagerung
- Künstl. Dammschüttung
- Schuttkegel
- Bergsturz
- Gehängeschutt, -lehm
- Torf, anmoorige Bildungen
- Quelltuff
- Fels, verrutscht, zum Teil mit Moräne vermischt
- Molasse
- Subalpiner Randflysch
- Tonig-sandiger Silt, Lehm
- Sand
- Verkitteter Sand
- Kies, sandiger Kies
- Moräne
- Moräne verschwemmt
- Gurnigelflysch
- Klippendecke
- Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten

Durchlässigkeitsbereiche
Profil-k-Werte des wassererfüllten Teils des Grundwasserleiters

Durchlässigkeit:

- -Gross, k > 2 · 10⁻³ m/s
- -Mittel, k 2 · 10⁻³–2 · 10⁻⁴ m/s
- -Klein, k 2 · 10⁻⁴–1 · 10⁻⁵ m/s
- -Sehr klein, k < 1 · 10⁻⁵ m/s
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Hydrogeologische Kennziffern

6.7	Durchlässigkeit k, in 10^{-3} m/s, bestimmt aus Grosspumpversuch
3.0	Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, zur Zeit des Pumpversuches
(4.5)	Bestimmt aus Kleinpumpversuch
(3.0)	Geschätzter Wert

[1] Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle «Künstlichen Aufschlüsse» wiedergegeben werden

Bei der Darstellung der Deckschichten und Durchlässigkeitsbereiche ist darauf verzichtet worden, zwischen nachgewiesen und vermutet zu unterscheiden

Blatteinteilung 1:25 000

Zusammensetzung HGK Aaretal Blatt Nord und Süd

1:25 000

1000 m 500 0 1 2 km

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text

Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diasset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

Beilage 2

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern (inkl. Gürbetal) 1:25 000 Blatt Nord

Geologische Profile
L ~1:25 000 H ~1:2500 10fach überhöht

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler†
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- 609/184.2 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Bohrung, Brunnen, Schlitz, auf oder bis 50 m neben der Profillinie liegend
- Bohrung, Brunnen, Schlitz, bis 200 m neben der Profillinie liegend, Projektion gemäss Lagerungsverhältnissen
- Grundwasserspiegel, relativer Hochstand Mitte November 1979
- ? Angabe fraglich

Geologie

Lockergesteine

- Künstl. Ablagerung
- Bachablagerung (Silt, Sand, Kies, Blöcke)
- Bergsturz
- Gehängeschutt, -lehm
- Torf, anmoorige Bildungen, inkl. Seekreide
- Quelltuff
- Sandiger Silt-Ton (Lehm, «Seeton»)
- Sand
- Verkitteter Sand
- Kiessand
- Kies
- Unsauberer Kies mit Blöcken
- Moräne, tonig-siltig-sandiger Kies mit Blöcken
- Schlammoräne, tonig, sandiger Silt mit Blöcken
- Silt und Sand mit Schieferkohle
- Moräne der Guntelsei

Festgesteine (Richtung der Signaturen: Lagerung)

- Sandstein u. Mergel der Molasse
- Alpine Gesteine
- Verrutscht
- Nagelfluh (Sandsteine und Konglomerate der Molasse)
- Versackt

——— Lithologische Grenze

Lithostratigraphische Einheiten
(Die Reihenfolge entspricht der vermuteten Altersabfolge)

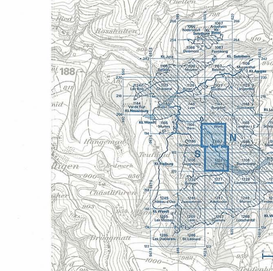
Holocaen	*Junge Verlandungsbildungen*	v
	Gehängeschutt, -lehm, Bachschutt, Bergsturz	gs
	Junge Schotterablagerungen der Flüsse	js
	Ältere alluviale Schotter, z.B. Wichtrachterrasse, oft nicht gegen js abgegrenzt	äas
	Ältere alluviale Verlandungsbildungen (Seetone)	äav
	Gürbeschotter resp.- sande, inkl. Rinnenschotter unbekannten Alters im mittl. Gürbetal	güs
Pleistocaen	*Felderschotter*	fs
	Deckmoräne	dm
	Münsingenschotter (obere und untere)	ms
	«Seeton» z.B. Thalgut (interstadial?) } *zum Teil nicht dargestellt, in ms enthalten*	ist
	Kirchdorf-Deltaschotter	ks
	Blocklage	wm
	«Seeton» z.B. Thungschneit (interglazial?)	igt
	Schlammoräne, Moräne der Guntelsei	sm
	Uttigen-Bümberg-Steghaldeschotter	ubs
	Oppligensande	osa
	Alte «Seetone»	at
Tertiär-Trias	*Miocaene Molasse* } Stufen gemäss RUTSCH & SCHLÜCHTER 1973	m 1–3
	Oligocaene Molasse	o 3
	Alpine Gesteine	ag

Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen

Durchlässigkeit:

- -Gross, k > 2 · 10⁻³ m/s
- -Mittel, k 2 · 10⁻³ -2 · 10⁻⁴ m/s
- -Klein, k 2 · 10⁻⁴ -1 · 10⁻⁵ m/s
- -Sehr klein, k < 1 · 10⁻⁵ m/s

– – – – Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen



Bei der Darstellung der lithologischen Grenzen und Durchlässigkeitsbereiche ist darauf verzichtet worden, eines nachzuweisen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die eingetragenen Sondierungen erlauben dem Betrachter, den Grad der Interpretation selbst einzuschätzen.

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG, Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

1:25000
1000 m 500 0 1 2 km

Beilage 2

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern (inkl. Gürbetal) 1:25 000 Blatt Süd

Geologische Profile

L ~ 1:25 000 H ~ 1:2500 10fach überhöht

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler †
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- 609/184.2 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Bohrung, Brunnen, Schlitz, auf oder bis 50 m neben der Profillinie liegend
- Bohrung, Brunnen, Schlitz, bis 200 m neben der Profillinie liegend, Projektion gemäss Lagerungsverhältnissen
- Grundwasserspiegel, relativer Hochstand Mitte November 1979
- ? Angabe fraglich

Geologie

Lockergesteine

- Künstl. Ablagerung
- Bachablagerung (Silt, Sand, Kies, Blöcke)
- Bergsturz
- Gehängeschutt, -lehm
- Torf, anmoorige Bildungen, inkl. Seekreide
- Quelltuff
- Sandiger Silt-Ton (Lehm, «Seeton»)
- Sand
- Verkitteter Sand
- Kiessand
- Kies
- Unsauberer Kies mit Blöcken
- Moräne, tonig-siltig-sandiger Kies mit Blöcken
- Schlammoräne, tonig, sandiger Silt mit Blöcken
- Silt und Sand mit Schieferkohle
- Moräne der Guntelsei

Festgesteine (Richtung der Signaturen: Lagerung)

- Sandstein u. Mergel der Molasse
- Alpine Gesteine
- Verrutscht
- Nagelfluh (Sandsteine und Konglomerate der Molasse)
- Versackt
- Lithologische Grenze

Lithostratigraphische Einheiten
(Die Reihenfolge entspricht der vermuteten Altersabfolge)

Holocaen	*Junge Verlandungsbildungen*	v
	Gehängeschutt, -lehm, Bachschutt, Bergsturz	gs
	Junge Schotterablagerungen der Flüsse	js
	Ältere alluviale Schotter, z.B. Wichtrachterrasse, oft nicht gegen js abgegrenzt	äas
	Ältere alluviale Verlandungsbildungen (Seetone)	äav
	Gürbeschotter resp. -sande, inkl. Rinnenschotter unbekannten Alters im mittl. Gürbetal	güs
Pleistocaen	*Felderschotter*	fs
	Deckmoräne	dm
	Münsingenschotter (obere und untere)	ms
	«Seetone» z.B. Thalgut (interstadial?)	ist
	Kirchdorf-Deltaschotter (zum Teil nicht dargestellt, in ms enthalten)	ks
	Blocklage	wm
	«Seetone» z.B. Thungschneit (interglazial?)	igt
	Schlammoräne, Moräne der Guntelsei	sm
	Uttigen-Blumberg-Steghaldeschotter	ubs
	Oppligensande	osa
	Alte «Seetone»	at
Tertiär-Tilas	*Miocaene Molasse* (Stufen gemäss RUTSCH & SCHLÖCHTER 1973)	m 1–3
	Oligocaene Molasse	o 3
	Alpine Gesteine	ag

Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen

Durchlässigkeit:

- -Gross, k > 2 · 10⁻³ m/s
- -Mittel, k 2 · 10⁻³ -2 · 10⁻⁴ m/s
- -Klein, k 2 · 10⁻⁴ -1 · 10⁻⁵ m/s
- -Sehr klein, k < 1 · 10⁻⁵ m/s
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Blatteinteilung 1:25 000

Zusammensetzung HGK Aaretal: Blatt Nord und Süd

Bei der Darstellung der lithologischen Grenzen und Durchlässigkeitsbereiche ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterschieden. Die eingetragenen Sondierungen erlauben dem Betrachter, den Grad der Interpretation selbst einzuschätzen.

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text

Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

1:25000

1000 m 500 0 1 2 km

Beilage 3

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern 1:25 000 Blatt Nord

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels, Mittelstand

Isohypsen des Grundwasser-Stauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler†
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- 35 — Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- ? — Angabe fraglich
- Grundwasser-Fliessrichtung
- Unterirdische Speisung des Grundwassers:
- Nachgewiesen
- Vermutet
- Speisung des Grundwassers durch Oberflächengewässer (Infiltration)
- Speisung des Oberflächengewässers durch Grundwasser (Exfiltration)
- Infiltration mit Exfiltration wechselnd

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 19.–21. 11. 1979 [1]
Freier Grundwasser-Spiegel

- 538 — 1 m Grundwasser-Spiegel Kurve mit Kote in m ü. M.
- 0.50 m Zwischenkurve

Gespannter Grundwasser-Spiegel (Druckspiegel)

- 556 — 1 m Grundwasser-Spiegel Kurve mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen [2]

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Drainagepumpwerk
- Peilrohr
- Grundwasser-Schreibpegel
- .16 — Grundwasser-Spiegelhöhe vom 19.–21. 11. 1979 in m ab nächst tieferer 1 m Kurve, z.B. 430.16
- (549.3) — Grundwasser-Spiegelhöhe durch Entnahme beeinflusst

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- 523.7 — Wasserstands-Schreibpegel, resp. Abstichpunkt
- Zahl = Spiegelhöhe vom 20. 11. 1979

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers [1, 3]

- 530 — 5 m Kurve mit Kote in m ü. M.
- 2.5 m Zwischenkurve

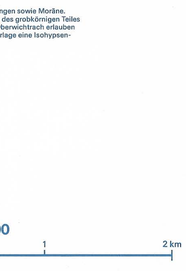
Sondierungen

- Bohrung
- Andere Sondierung
- 527.5 — Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.
- Seismisches und/oder geoelektrisches Profil

[1] Bei den Isohypsendarstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungspunkte erlaubt dem Betrachter, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen

[2] Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen wiedergegeben werden

[3] Als Stauer treten auf: Feinkörnige Ablagerungen sowie Moräne. Die Stauoberfläche ist mit der Unterfläche des grobkörnigen Teiles des Grundwasserleiters identisch. Südlich Oberwichtrach erlauben die spärlichen Informationen über die Stauerlage eine Isohypsendarstellung nicht mehr



1:25000

1000 m 500 0 1 2 km

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text

Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aemi-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

Beilage 3

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern 1:25 000 Blatt Süd

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels, Mittelstand

Isohypsen des Grundwasser-Stauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler†
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- 35 — Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- ? — Angabe fraglich
- Grundwasser-Fliessrichtung
- Unterirdische Speisung des Grundwassers:
- Nachgewiesen
- Vermutet
- Speisung des Grundwassers durch Oberflächengewässer (Infiltration)
- Speisung des Oberflächengewässers durch Grundwasser (Exfiltration)
- Infiltration mit Exfiltration wechselnd

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 19.–21. 11. 1979 [1]
Freier Grundwasser-Spiegel

- 538 — 1 m Grundwasser-Spiegel Kurve mit Kote in m ü. M.
- 0.50 m Zwischenkurve

Gespannter Grundwasser-Spiegel (Druckspiegel)

- 556 — 1 m Grundwasser-Spiegel Kurve mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen [2]

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Drainagepumpwerk
- Peilrohr
- Grundwasser-Schreibpegel
- .16 — Grundwasser-Spiegelhöhe vom 19.–21. 11. 1979 in m ab nächst tieferer 1 m Kurve, z.B. 430.16
- (549.3) — Grundwasser-Spiegelhöhe durch Entnahme beeinflusst

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- 523.7 — Wasserstands-Schreibpegel, resp. Abstichpunkt Zahl=Spiegelhöhe vom 20. 11. 1979

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers [1] [3]

- 530 — 5 m Kurve mit Kote in m ü. M.
- 2.5 m Zwischenkurve

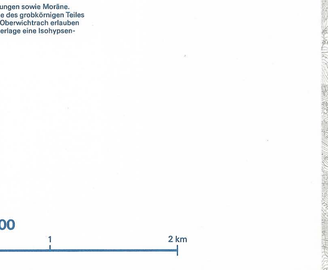
Sondierungen

- Bohrung
- Andere Sondierung
- 527.5 — Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.
- Seismisches und/oder geoelektrisches Profil

[1] Bei den Isohypsendarstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungspunkte erlaubt dem Betrachter, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen

[2] Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen wiedergegeben werden

[3] Als Stauer treten auf: Feinkörnige Ablagerungen sowie Moräne. Die Stauoberfläche ist mit der Unterfläche des grobkörnigen Teiles des Grundwasserleiters identisch. Südlich Oberwichtrach erlauben die spärlichen Informationen über die Stauerlage eine Isohypsendarstellung nicht mehr



1:25000

1000 m 500 0 1 2 km

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981

Beilage 4

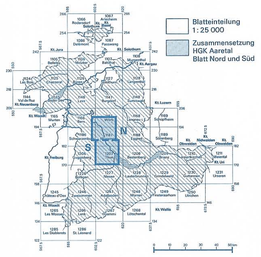
Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Aaretal, zwischen Thun und Bern 1:100 000 6 Teilkarten

Hydrochemie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli u. B. Tröhler †
Geologen SIA/ASIC, Bern

Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)



Grundwasser-Analysen, Kant. Labor am: 23.–25.3.1971, 30.8.–13.9.1971, 14.–16.3.1978, 20.–23.3.1978, 29./30.3.1978, 5.4.1978.
Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Planungsmitarbeit, kartographische Technik: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit Kartographie: D. Hofstetter, Rossens
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck: Aerni-Lauch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 1. August 1981

Ausgabe 1981