

NEU!
Grundwasser-
Nutzungs- u. Schutz-Karte
Haslital 1:25 000

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Haslital,
zwischen Innertkirchen und Briener See



WEA

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung:

Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Haslital,
zwischen Innertkirchen und Briener See



WEA

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung:

Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern
(BVED)

Bericht:
Hydrogeologie Haslital,
zwischen Innertkirchen und Briener See

Ausgabe: 1994

Herausgeber/Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Geologie Dr. G. della Valle

Bearbeitung:
Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Druck, Einband:
Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Bern

**Der vorliegende Bericht ist ein Beitrag zur Entscheidungsfindung
und enthält keine politischen Beschlüsse.**

**Die Reproduktion und Weiterverwendung der Ergebnisse
ist unter Quellenangabe gestattet.**

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	10
RESUME	13
1. EINLEITUNG	17
1.1 Aufgabe und Zielsetzung	17
1.2 Kredite und Untersuchungsablauf	18
1.3 Bearbeiter	19
1.4 Untersuchungsgebiet	19
1.5 Unterlagen	20
2. GEOLOGISCHE SITUATION	21
2.1 Allgemeiner Ueberblick	21
2.1.1 Talebene zwischen Meiringen und Briener See	21
2.1.2 Becken von Innertkirchen	21
2.1.3 Die randlichen Talflanken (Fig. 2.1)	21
2.2 Karstwasserverhältnisse	23
2.2.1 Allgemeines	23
2.2.2 Karstgebiete nördlich des Aaretals	24
2.2.3 Karstgebiete südlich des Aaretals	25
2.3 Trogbildung	26
2.3.1 Aaretal zwischen Meiringen und Briener See	26
2.3.2 Becken von Innertkirchen	26
2.4 Trogfüllungen	27
2.4.1 Aaretal zwischen Meiringen und Briener See (Profile III bis VIII auf Beilage 2)	27
2.4.2 Becken von Innertkirchen (Profile I und II auf Beilage 2)	30

	Seite
3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN	31
3.1 Allgemeines	31
3.2 Niederschlag	36
3.3 Abfluss	40
3.4 Verdunstung	42
4. EIGENSCHAFTEN DES GRUNDWASSERLEITERS	43
4.1 Allgemeines	43
4.2 Räumliche Begrenzung	47
4.3 Grundwasserstauer	49
4.4 Deckschichten	50
4.5 Lithologischer Aufbau und hydraulische Kennwerte	52
5. GRUNDWASSERSTROEMUNG	55
5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse	55
5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Aare und Grundwasser	56
5.3 Entwässerungen	60
5.4 Grundwasserspiegelschwankungen	61
5.4.1 Allgemeines	61
5.4.2 Ursachen	64
5.4.3 Einfluss der Aare	65
6. WASSERQUALITAET	77
6.1 Allgemeines	77
6.2 Physikalische Eigenschaften	77
6.2.1 Oberflächengewässer	77
6.2.2 Grundwasser	85
6.3 Chemische Eigenschaften	95
6.3.1 Oberflächengewässer	95
6.3.2 Grundwasser	96
6.3.2.1 Allgemeines	96
6.3.2.2 Einzelne Komponenten	99
	(Tab. 6.4 und 6.5, Beilage 5)

	Seite
6.4 Thermalwasservorkommen von Willigen	107
6.4.1 Ueberblick	107
6.4.2 Hydrogeologische Situation	108
6.4.3 Temperaturverhältnisse	111
6.4.4 Chemismus	112
6.4.5 Herkunft	115
6.4.6 Wärmenutzung	115
7. EINFLUSS DES KWO-PROJEKTES GRIMSEL-WEST	118
7.1 Ausgangslage	118
7.2 Quantitative Beeinflussung des Grundwassers	120
7.3 Qualitative Beeinflussung des Grundwassers	122
7.4 Grundwasserbedingte Auswirkung auf die Umwelt	122
7.4.1 Naturschutzgebiete (Fig. 7.3)	122
7.4.2 Landwirtschaftsgebiete (Fig. 7.3)	124
7.4.3 Verschiedenes	125
8. GRUNDWASSERBILANZ	126
9. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE	134
9.1 Grundwasserdargebot	134
9.1.1 Allgemeines	134
9.1.2 Becken von Innertkirchen	134
9.1.3 Abschnitt Aareschlucht - Meiringen - Junzlen (rechte Seite)	135
9.1.4 Abschnitt Aareschlucht - Reichenbach - Balm/Ey (linke Seite)	136
9.1.5 Abschnitt Balm/Ey - Unterbach	136
9.1.6 Abschnitt Unterbach - Briener See	137
9.1.7 Zusammenfassung	138
9.2 Grundwassernutzung	139
9.2.1 Bestehende Nutzung	139
9.2.2 Grundwasserbewirtschaftung	139
9.2.2.1 Allgemeines	139
9.2.2.2 Nutzungsbereiche (Beilage 6)	142
9.2.2.3 Trinkwassernutzungsmöglichkeiten	144
9.2.2.4 Energiegewinnung	144
9.3 Grundwasserschutz	146

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR.

149

VERZEICHNIS DER FIGUREN

2.1	Schematisches geologisches Sammelprofil durch den Gesteinsaufbau im Einzugsgebiet	22
3.1	Verlauf der Grundwasserstände im Raum Meiringen (Tagesmittel), des Aareabflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsmittel) 1992 - 1993	33
3.2	Verlauf der Grundwasserstände in Innertkirchen sowie zwischen Hüsen und Briener See (Tagesmittel), des Aareabflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsmittel) 1992 - 1993	34
3.3	Durchschnittliche Monatsniederschläge (1901 - 1960) der SMA-Stationen Guttannen, Meiringen und Brienz Kienholz	39
3.4	Mittlere monatliche Abflussmengen der Aare bei Brienzwiler (649/177.16). Abflussmessstation der Landeshydrologie	39
3.5	Dauerkurven für den Aareabfluss bei Brienzwiler (649/177.16). Abflussmessstation der Landeshydrologie	41
3.6	P/Q-Beziehung der Aare bei Brienzwiler (649/177.16). Abflussmessstation der Landeshydrologie	41
4.1	Elektromagnetische Messungen (VLF-R): Elektrischer Widerstand des Untergrundes bei 200 kHz	44
4.2	Ausschnitt einer historischen Karte aus dem Jahr 1764: Aareverlauf im Gebiet Meiringen - Funtenen (MIRANJ 1764)	45
4.3	Ausschnitt einer historischen Karte aus dem Jahr 1764: Aareverlauf zwischen Ballenberg und Briener See (MIRANJ 1764)	46
4.4	Flurabstand bei erhöhtem Mittelwasserstand des Grundwasserspiegels (7.5.1992)	48
5.1	Wasseraustausch zwischen Aare und Grundwasser, schematische Querschnitte	58
5.2	Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels während den Jahren 1992 und 1993	62
5.3	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, KB4, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom 24. Februar bis 24. März 1992	66
5.4	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1992 (Tagesmittel)	68

5.5	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1993 (Tagesmittel)	69
5.6	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen RB3, Aarmatte, Feldli, KB4 und der Aare sowie Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1992 (Tagesmittel)	70
5.7	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen RB3, Aarmatte, Feldli, KB4 und der Aare sowie Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1993 (Tagesmittel)	71
5.8	Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen KB4, P5, Hauptkanal Stägmatten, Aare sowie Niederschlagshöhen für das Jahr 1993	73
5.9	Korrelation der Wasserstände der Aare mit den Grundwasserspiegeln von Bohrung P1, P4, P6 und P5 für die Jahre 1992 und 1993 (Tagesmittel)	74
5.10	Korrelation des Aarestandes mit den Grundwasserspiegeln der Piezometer RP2, RP31 und RP5 im Exfiltrationsgebiet Stägmatten (Tagesmittel)	75
6.1	Wassertemperatur (°C, Monatsmittel) in RB5 B, Aarmatte, Feldli und der Aare bei Brienzwiler	78
6.2	Lufttemperatur bei Meiringen, Wassertemperatur der Aare, des Hauptkanals und des Grundwassers bei Bohrung P5	79
6.3	Grundwassertemperatur im Mai 1992	87
6.4	Grundwassertemperatur im November 1992	88
6.5	Temperaturisoplethen im Profil der Bohrungen P4 und P5	89
6.6	Mittlere spezifische Leitfähigkeit des Grundwassers ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 1992 - 1993	92
6.7	Thermalwasser Willigen: Geologisches Profil der Bohrungen RB3 - RB5 A/B (Situation Fig. 6.9)	109
6.8	Situation Thermalwasser Willigen: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Isothermen des Grundwassers vom 17.3.1983 (unterer Grundwasserleiter)	110
6.9	Thermalwasser Willigen: Vertikaler Schnitt durch die Thermalwasserfahne im März und November 1983	113
6.10	Thermalwasser Willigen: Anströmung der Bohrung RB1 und die daraus resultierende Temperaturentbreitung	114
7.1	Mittlere monatliche Abflüsse der Aare bei Brienzwiler, Vergleich zwischen dem heutigen Zustand Z0 und dem Zustand Z1 nach der Ausführung des KWO-Projektes (SIGMAPLAN, 1988)	119
7.2	Jahresgang der Normalabflusstiefen der mittleren Abflussmengen der Aare bei Innertkirchen und Brienzwiler für den heutigen Zustand Z0 und den Zustand Z1 nach Ausführung des KWO-Projektes (KOELLA und LAMBERT, 1986)	119
7.3	Voraussichtliche durch das KWO-Projekt verursachte jahreszeitliche Grundwasserspiegelveränderungen gegenüber heute (+ im Winter, - im Sommer)	123
8.1	Vorherrschende Grundwasserneubildung	132

VERZEICHNIS DER TABELLEN

	Seite	
3.1	WEA-Messstellenbohrungen 1991/92	35
3.2	Niederschläge im Haslital 1991 - 1993	38
5.1	Schwankungsbereich des Grundwassers und der Oberflächengewässer bei den instrumentierten Beobachtungsstellen	63
6.1	Chemische und physikalische Eigenschaften der Aare beim Einlauf in den Briener See (Aareggbrücke, 646/177.15)	81
6.2	Chemische und physikalische Eigenschaften der Oberflächengewässer	82
6.3	Sauerstoff-Isotopenwerte $\delta^{18}\text{O}$ im Grundwasser	93
6.4	Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers in den WEA-Rotationskernbohrungen KB1 - KB7	97
6.5	Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers in den WEA-Schlagkernbohrungen P1 - P10	98
6.6	Thermalwasser Willigen: Chemische und physikalische Eigenschaften des thermal geprägten Grundwassers in Bohrungen RB3 und RB5 B (Situation Fig. 6.8)	116
8.1	Abflussmessungen im Wychelbach vom 4. Februar 1993 (l/s)	127
8.2	Abflussmessungen im Hüsenbach vom 4. Februar 1993 (l/s)	128
8.3	Abflussmessungen im Hauptkanal vom 3. Februar 1993 (l/s)	129
8.4	Grundwasserabfluss bei den Querprofilen I - VIII (l/s) (Situation Beilage 2)	131
9.1	Konzessionierte Grundwasserentnahmen (Dezember 1993)	140/141
9.2	Basisdaten für die Grundwasserbewirtschaftung	145

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

- 1 Grundkarte 1:25 000
- 2 Geologische Profile 1:25 000 / 1:2 500
- 3 Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992
(tiefer Grundwasser- und tiefer Aarestand) 1:25 000
- 4 Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992
(hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand) 1:25 000
- 5 Hydrochemie, 4 Teilkarten 1:50 000
- 6 Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1:25 000

VERZEICHNIS ANHANG

152

Profile der Bohrungen
KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6, KB7,
P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10
(mit WEA-Ordnungsnummern)

ZUSAMMENFASSUNG

Der Grundwasserleiter des Haslitals zwischen Innertkirchen und Briener See umfasst ca. 16 km². Die darunterliegende Felsoberfläche befindet sich in etwa 400 m Tiefe, ausgenommen im Innertkirchenbecken, wo sie etwa 100 m unter Terrain ansteht. Der Felsriegel des Chirchen ist von alten Flussrinnen durchzogen, die jedoch mit schwerdurchlässigem Moränenmaterial verfüllt sind, so dass das Becken von Innertkirchen hydraulisch nur über die Aareschlucht mit dem unteren Haslital verbunden ist.

Der gut durchlässige Grundwasserleiter, d.h. die Schotterablagerungen der Aare, wurde maximal bis in eine Tiefe von ca. 50 m angetroffen. Darunter besteht die Trogfüllung vorwiegend aus Moräne und Seeablagerungen, die den Grundwasserstauer bilden. Verlandungsbildungen und Ueberschwemmungssedimente, seitwärts eingeschwemmter Gehänge- und Bachschutt sowie Bergsturzmaterial sind wesentlich an der Trogfüllung beteiligt und alternieren stellenweise mit den Schotterablagerungen, was lokal zu Grundwasserstockwerkbau führt.

Das Grundwasser wird grösstenteils durch Niederschläge und infiltrierendes Wasser der Talflanken, vorwiegend Karstwasser, angespiesen. Letzteres ist auch für die zahlreichen Quellen, die sich teilweise am Hangfuss befinden, verantwortlich. Zu nennen sind vor allem die Funtenenquelle mit einer mittleren Schüttung von 400 l/s und das Thermalwasser (siehe unten) von Willigen.

Das Flussbett der Aare ist, trotz der hohen Fliessgeschwindigkeit und trotz der Hochwässer (trotz zahlreicher Staustufen), infolge der hohen Schwebstoffkonzentration (Gletschertrübe) stark abgedichtet. Ihr Anteil an der Grundwasserneubildung erreicht kaum mehr als 15 %. Starke Flusswasserinfiltrationen sind nur östlich von Innertkirchen (schwebstoffarmes Restwasser) und ausgangs der Aareschlucht (grosses Gefälle mit Turbulenz) zu verzeichnen. Aus diesem Grund ist die Lage des Grundwasserspiegels nur sehr beschränkt oder gar nicht vom Aarestand abhängig. Dank der starken Kolmation des Flussbettes vermag das Grundwasser die Aare zwischen Meiringen und Balm zu unterfliessen.

Dort wo der Grundwasserspiegel < 2 m unter Terrain liegt, d.h. stromabwärts von Hüsen, besteht ein ausgedehntes Entwässerungssystem, das ausgleichend auf die Schwankungen des Grundwasserspiegels wirkt. In den Exfiltrationsgebieten der Aare, d.h. im Innertkirchenbecken nach der Einmündung des Gadmerwassers und im Abschnitt Meiringen - Briener See stromabwärts von Schwarzeney (bei Hochwasser) bzw. Unterbach (bei Niederwasser) passt sich der Grundwasserspiegel dem

Wasserstand der Aare an. Im Becken von Innertkirchen fliessen etwa 50 % des Grundwassers in die Aare, der Rest ins Entwässerungssystem des Wychelbaches. Im Abschnitt Meiringen - Brienz werden etwa 30 % des Grundwassers durch die Aare (inkl. Parallelkanäle) und den Briener See aufgenommen, ca. 15 % fliessen ins Drainagesystem des Hüsenbads und ca. 55 % in dasjenige des Hauptkanals.

Das Aarewasser mit einer durchschnittlichen spezifischen Leitfähigkeit von nur 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ist sehr wenig mineralisiert. Demgegenüber weisen die Karstwässer und die meisten Seitenbäche eine etwa dreimal höhere Mineralisation auf, wobei vor allem die Karbonathärte dafür verantwortlich ist. All diese Gewässer sind von der Umwelt wenig belastet, was sich unmittelbar in der Grundwasserqualität widerspiegelt. Das Grundwasser besitzt häufig eine spezifische Leitfähigkeit um 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und in der Regel sehr wenig Chlorid und Nitrat. Abgesehen von einigen Verunreinigungen (siehe unten) weist das Grundwasser Trinkwasserqualität auf. Stromabwärts von Unterheid ist die Qualität wegen Sauerstoffmangel über ausgedehnte Gebiete beeinträchtigt. Hoher Grundwasserspiegel, fehlende Grundluftzone und siltige Deckschichten verursachen reduzierende Bedingungen, so dass das Grundwasser infolge seiner Aggressivität und der entstandenen Reduktionsprodukte (Eisen, Mangan, Ammonium, Nitrit) nur noch sehr bedingt verwendet werden kann.

Bei Willigen im Bereich der Privaten Nervenklinik AG Meiringen befindet sich das mit Abstand grösste Thermalwasservorkommen des Kantons Bern, das im Verlauf der letzten Jahrhunderte verschüttet und kürzlich wieder neu erschlossen wurde. Dieses Thermalwasser tritt etwa auf einer Strecke von 300 m mehr oder weniger diffus in den Grundwasserleiter des Haslitals aus. Die Ergiebigkeit wird auf mindestens 200 l/min Thermalwasser (20 - 22 °C) und 2'000 l/min Subthermalwasser (14 - 20 °C) geschätzt. Davon wird gegenwärtig ein Bruchteil für Heiz- und Badezwecke genutzt. Das Thermalwasser weist Trinkwasserqualität auf und ist mit einer spezifischen Leitfähigkeit von 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ wenig mineralisiert.

Durch das geplante Pumpspeicherwerk Grimsel-West der Kraftwerke Oberhasli (KWO) würde das Abflussregime der Aare stark verändert, d.h. viel ausgeglichener, indem gegenüber heute der Wasserstand der Aare im Sommer bis zu 70 cm tiefer und im Winter bis zu 60 cm höher wäre (Station Brienzwiler). Auf die Grundwasseranspeisung, die Grundwasserqualität und die mittlere Lage des Grundwasserspiegels hätte dieser Eingriff keinen merklichen Einfluss. Allerdings müsste vor allem im Exfiltrationsgebiet entlang der Aare, d.h. stromabwärts von Unterheid, mit jahreszeitlichen Grundwasserstandsveränderungen von bis zu 0.5 m gerechnet werden. Die Naturschutzgebiete würden dadurch nur wenig betroffen. Für die Landwirtschaft dürften gesamthaft gesehen durch das Projekt kaum Nachteile er-

wachsen. Geringfügige Vorteile würden sich bezüglich Gebietsvernässungen, Grundwasserkontamination und dem Grundwasserdargebot ergeben. Bei Meiringen müsste in Flussnähe mit einer Grundwasserabkühlung von ca. 0.5 °C gerechnet werden, was einige Wärmepumpenanlagen leicht beeinflussen könnte.

Die Feldergiebigkeit des untersuchten Gebietes beträgt gesamthaft etwa 750 l/s, davon könnten im Becken von Innertkirchen ca. 120 l/s und im Abschnitt Meiringen - Briener See ca. 470 l/s genutzt werden, wovon vorbehaltlos ca. 210 l/s (12'500 l/min) für Trinkwasser. Gegenwärtig bestehen Konzessionen für die Entnahme von rund 154 l/s (9'250 l/min) Grundwasser, wobei 84 % auf Wärmepumpen- und Kühlanlagen entfallen. Die effektive Nutzung beträgt aber nur ca. 33 l/s (2'000 l/min). Obschon die öffentliche Trinkwasserversorgung heute restlos mittels Quellwasser sichergestellt wird, sollten für die langfristige Versorgungssicherheit einige Gebiete der Trinkwassernutzung vorbehalten bleiben.

Durch Deponien und Auffüllungen von alten Kiesgruben sowie einzelne Landwirtschaftsbetriebe wird das Grundwasser z.T. massiv verschmutzt. Hervorzuheben ist vor allem die Deponie Balmgüeter zwischen Balm und Willigen, die eine über 1 km lange Verschmutzungsfahne verursacht. Massive Grundwasserverunreinigungen wurden auch im Gebiet Locheren/Linden und Talguet festgestellt. Zahlreiche wiederaufgefüllte Kiesgruben müssen als Altlasten-Verdachtsflächen taxiert werden, vor allem, wenn früher Nassabbau betrieben wurde, was heute ausnahmsweise nur noch in Junzlen (Funtenen) der Fall ist.

RESUME

L'aquifère du Haslital, entre Innertkirchen et le lac de Brienz, s'étend sur près de 16 km². Le substratum rocheux se trouve à environ 400 m de profondeur, sauf dans le bassin d'Innertkirchen où il remonte jusqu'à 100 m de profondeur. Le seuil rocheux de Chirchen est entamé par d'anciens sillons d'érosion, qui sont toutefois remplis de dépôts morainiques peu perméables. Ainsi, le bassin d'Innertkirchen ne communique hydrauliquement avec le Haslital inférieur que par les gorges de l'Aare.

L'aquifère perméable, composé d'alluvions grossières de l'Aare, n'occupe au maximum que les 50 premiers mètres des sédiments de la cuvette. En dessous, on rencontre principalement de la moraine et des dépôts lacustres formant l'imperméable. L'aquifère comprend des intercalations de sédiments fins (alluvions terminales, zones inondables) et, sur les bords, des éboulis de pente et des dépôts torrentiels, qui lui confèrent par endroits une structure en étages.

L'aquifère est alimenté en grande partie par les précipitations et l'eau infiltrée sur les versants, en général de l'eau karstique. Cette dernière alimente aussi les nombreuses sources situées en partie au pied des versants. On mentionnera spécialement la source de Funtenen (débit moyen de 400 l/s) et l'eau thermale de Willigen (voir ci-dessous).

Le lit de l'Aare est fortement colmaté par les matières en suspension (troubles de glacier), bien que la vitesse d'écoulement soit élevée et que des crues surviennent, malgré de nombreuses digues de régulation. L'Aare ne participe à l'alimentation de l'aquifère que pour 15% environ. Une forte infiltration de la rivière n'a lieu qu'à l'est de Innertkirchen (eau résiduelle pauvre en particules en suspension) et à la sortie des gorges de l'Aare (rapides et turbulence). En conséquence, le niveau de la nappe n'est que très peu dépendant du débit de l'Aare. Entre Meiringen et Balm, l'eau souterraine s'écoule même en-dessous de l'Aare dont le lit est très colmaté.

En aval de Hüsen, là où la profondeur de la nappe est inférieure à 2 m, un système de drainage étendu écrête les variations du niveau de la nappe. Dans les zones d'exfiltration de la nappe dans l'Aare, c'est à dire dans le bassin d'Innertkirchen en aval de l'embouchure du Gaden Wasser et entre Meiringen et le lac de Brienz, en aval de Schwarzeney (en crue) et de Unterbach (en étiage), le niveau de la nappe s'ajuste à celui de l'Aare. Dans le bassin d'Innertkirchen, environ 50% de l'eau souterraine s'exfiltre dans l'Aare, le reste alimente le réseau de drainage du Wychelbach. Entre Meiringen et Brienz, 30% de l'eau souterraine s'écoule dans

l'Aare (y c. ses canaux parallèles) et le lac, 15% s'écoule dans le réseau de drainage de Hünenbad et le reste (55%) dans celui du canal principal.

L'eau de l'Aare est très peu minéralisée (conductibilité électrique moyenne de 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En comparaison, l'eau karstique et celle de la plupart des cours d'eau affluents est trois fois plus fortement minéralisée, principalement à cause d'une plus grande dureté carbonatée. Toutes ces eaux sont peu chargées par l'environnement, ce qui se reflète dans la qualité de l'eau souterraine. Cette dernière a une conductibilité électrique avoisinant généralement 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et peu de chlorures et de nitrates. En dehors de quelques exceptions (voir ci-dessous) l'eau souterraine possède tous les critères de potabilité. Toutefois, sa qualité est réduite par une sous-saturation en oxygène dans une région assez étendue en aval de Unterheid. Un niveau piézométrique élevé et la présence d'un aquiclude limoneux (manque de zone non-saturée, aérée) provoquent des conditions réductrices, si bien que l'eau souterraine, agressive et contenant des produits de la réduction (fer, manganèse, ammonium et nitrite), ne peut être utilisée que de manière très restrictive.

A Willigen, dans la zone de la clinique privée "Nervenklinik AG Meiringen", se trouve de loin la plus grande occurrence d'eau thermale du canton de Berne. Obstruée au cours des derniers siècles, elle fut remise en valeur récemment. L'eau thermale s'écoule de manière plus ou moins diffuse dans l'aquifère du Haslital sur un tronçon de 300 m. Le débit de l'eau thermale (20 - 22 °C) est estimé à au moins 200 l/min, et celui de l'eau subthermale (14 - 20 °C) à 2'000 l/min. Une partie seulement de ce débit est actuellement utilisé pour les besoins de chauffage et l'eau des bains. L'eau thermale est potable et peu minéralisée (270 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

L'ouvrage projeté de pompage/stockage Grimsel-Ouest de la centrale électrique de Oberhasli (KWO) aurait pour conséquence de modifier sensiblement le régime de l'Aare en aval, en ce sens que le niveau d'été serait abaissé jusqu'à 70 cm, et le niveau d'hiver élevé jusqu'à 60 cm à la station de Brienzwiler. Ces modifications auraient peu d'impact sur l'alimentation de la nappe et son niveau moyen, ainsi que sur la qualité de l'eau. Toutefois, il faudrait s'attendre à une modification des niveaux saisonniers de la nappe pouvant atteindre 0.5 m dans la zone d'exfiltration dans l'Aare, c'est à dire le long de la rivière en aval de Unterheid. Les zones de protection de la nature seraient peu affectées par de telles modifications. Quant à l'agriculture, elle n'aurait dans l'ensemble pas à souffrir du projet. Ce dernier pourrait occasionner de légères améliorations sur le plan des zones inondables, de la contamination de l'eau souterraine et des réserves en eau souterraine. A Meiringen, il faudrait s'attendre à un refroidissement d'environ 0.5 °C de l'eau souterraine aux abords

de l'Aare, ce qui pourrait légèrement influencer le rendement de quelques pompes à chaleur.

Dans la région étudiée, le débit global de la nappe est d'environ 750 l/s, et le débit exploitable d'environ 120 l/s dans le bassin d'Innertkirchen et 470 l/s dans celui de Meiringen - lac de Brienz (mais ici seulement 210 l/s ou 12'500 l/min - pour l'eau potable). A l'heure actuelle, le débit d'eau souterraine concessionné est de 154 l/s (9'250 l/min), dont 84% pour des installations de pompes à chaleur ou de refroidissement. Le prélèvement effectif à la nappe est d'environ 33 l/s (2'000 l/min) seulement. Bien que l'approvisionnement public en eau potable soit actuellement assuré en totalité par l'eau des sources, il serait prudent de réserver quelques régions de la nappe, pour garantir l'approvisionnement en eau potable à long terme.

L'eau souterraine est localement très polluée par des décharges et des remblais d'anciennes gravières, ainsi que par quelques exploitations agricoles. Il faut mentionner avant tout la décharge "Balmgüeter" entre Balm et Willigen, qui provoque un panache de pollution sur plus de 1 km de longueur. Une pollution massive de l'eau souterraine a également été constatée dans les régions de Locheren/Linden et de Talguet. De nombreuses gravières remblayées doivent être taxées de zones de décharge ou zones suspectes, surtout si l'extraction a eu lieu dans la nappe, ce qui aujourd'hui n'est plus le cas qu'à Junzlen (Funtenen), à titre exceptionnel.

1. EINLEITUNG

1.1 Aufgabe und Zielsetzung

Der Staat besitzt das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer, er ist daher von Gesetzes wegen verpflichtet, das Wasser güte- und mengenmässig zu schützen. Diese Aufgabe kann jedoch nur erfüllt werden, wenn die Wasservorkommen ausreichend erforscht sind. Erst die genauen Kenntnisse der hydrologischen und hydraulischen Zusammenhänge erlauben eine zweckmässige Bewirtschaftung der Wasserressourcen. Dies ist besonders beim Grundwasser der Fall, das im vorliegenden Untersuchungsgebiet eine mannigfaltige wirtschaftliche und ökologische Funktion besitzt, teils als Trink- und Brauchwasserreservoir oder Energieträger, teils als Wasserlieferant in landwirtschaftlich genutzten Zonen oder als Basis von unter Naturschutz stehenden Feucht- und Sumpfgebieten.

Den Ausschlag für die detaillierte Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Haslital hat nicht nur das Kraftwerkprojekt Grimsel-West der Kraftwerke Oberhasli (KWO) gegeben, sondern auch folgende, in jüngster Zeit zunehmend aktuell gewordene Punkte:

- Die Erkundung und Sicherung der Trink- und Brauchwasserreserven im Grundwassertrog Meiringen-Brienz
- Das gänzlich unbekanntes Grundwasserbecken von Innertkirchen
- Das grösste Thermalwasservorkommen des Kantons Bern in Willigen
- Die intensive Grundwasserwärmenutzung im Raum Meiringen

Mit dem geplanten Pumpspeicherwerk der KWO wird das Abflussregime der Aare drastisch verändert, was auch die Grundwasserverhältnisse tangiert, da zwischen der Aare und dem Grundwasser ein intensiver Wasseraustausch besteht. Eines der Ziele der Untersuchungen war deshalb, die Folgen des geplanten Kraftwerkes auf den Grundwasserhaushalt abzuklären.

Im Gegensatz zum Raum Meiringen, wo der Grundwasserleiter durch zahlreiche Bohrungen und Fassungen schon recht gut bekannt war, bestanden über das Grundwasserbecken von Innertkirchen nur sehr wenige Angaben. Die Grundwassernutzungsmöglichkeiten standen hier eindeutig im Vordergrund.

Eine der intensivsten Grundwasserwärmenutzungen im Kanton findet im Gebiet von Meiringen statt (Tab. 9.1). Zahlreiche Grossüberbauungen, Hotels, Betriebe und Einfamilienhäuser werden durch Energienutzung aus dem Grundwasser beheizt. In Anbetracht der Konfliktsituationen, die aus einer Uebernutzung entstehen könnten, drängte sich die Ermittlung des Grundwasserdargebots auf.

Abgesehen von einer unbedeutenden Thermalquelle bei Weissenburg stellt das Thermalwasser von Willigen das einzige bekannte Vorkommen im Kanton Bern dar, das zudem auch wirtschaftlich genutzt wird. Ueber die Herkunft und Ausdehnung des Vorkommens ist indessen wenig bekannt. Im Hinblick auf eine weitere Nutzbar-machung (Energie, Heilbäder, Mineralwasser) waren weitere Abklärungen ange-zeigt.

Weitere Abklärungen bedingten die grossen Schottervorkommen des Talbodens mit verschiedenen älteren und neueren Kiesgruben, die z.T. wieder zugeschüttet, d.h. als Deponien verwendet wurden. Dabei wurde aus der Sicht des Gewässerschutzes nicht immer mit der notwendigen Sorgfalt vorgegangen.

Uebergeordnet zu all diesen Untersuchungen war die Erarbeitung einer hydro-geologischen Grundkarte mit geologischen Profilen, von Grundwasserqualitäts-karten und einer Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte für das gesamte Unter-suchungsgebiet. Diese bilden die Grundlage für die zukünftige Grundwasserbewirt-schaftung.

1.2 Kredite und Untersuchungsablauf

Die Arbeiten wurden im Juni 1991 begonnen. Gemäss dem Untersuchungs-programm vom 5. Dezember 1990 diente die erste, bis Ende 1991 dauernde Arbeits-phase vor allem den Vorabklärungen, während für die zweite, bis Herbst 1992 sich erstreckende Phase die Ausführung der Sondierarbeiten und die Errichtung des Messstellennetzes vorgesehen waren. Die anschliessende dritte Arbeitsphase enthielt schwergewichtig das Messen und Analysieren während bis zu 18 Monaten. Die nachfolgende Synthese mit Bericht war auf Ende 1994 vorgesehen. In Anbetracht der Aktualität einiger Probleme, insbesondere des geplanten und zur Diskussion stehenden Pumpspeicherwerks, wurden einige Arbeiten vorgezogen und der Abschluss der Untersuchungen auf den Sommer 1994 vorverlegt.

Nachdem vom Grossen Rat am 21. März 1991 der notwendige Kredit von Fr. 942'000.-- bewilligt wurde, erfolgte vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft am 17. Dezember 1992 die Zusicherung eines Bundesbeitrages.

1.3 Bearbeiter

Die Arbeiten standen unter der Leitung des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes. Zuständig für die Leitung war Herr Dr. G. della Valle. Die Untersuchungen wurden vom betrauten Geologiebüro durch Herrn Dr. Ch. Haefeli mit den Herren Dres. A. Greco und U. Gruner sowie den Herren A. Däppen und A. Kunzer durchgeführt.

Ein Teil der hydrometrischen Stationen wurde direkt durch das WEA betreut (Herr J.C. Bader).

Die zahlreichen chemischen Analysen führte das Labor des Kantonschemikers aus.

Für die geophysikalischen Untersuchungen wurde Prof. I. Müller, Neuenburg, beigezogen. Die Bohrarbeiten und Pumpversuche besorgte die Firma Stump Bohr AG, Zollikofen und die Rammarbeiten die Firma A. Raemy, Belp.

1.4 Untersuchungsgebiet

Der Untersuchungsperimeter umfasst einerseits den unteren Teil des Haslitals zwischen dem Briener See und der Aareschlucht und andererseits den Talkessel von Innertkirchen. Die grundwasserführende Talsohle hat eine Ausdehnung von ca. 16 km². Das dazugehörige Einzugsgebiet ist schwer abzuschätzen, da es infolge teilweiser Verkarstung nicht rein orographisch abgegrenzt werden kann, wie verschiedene Markierungsversuche gezeigt haben.

Die Arbeiten haben sich fast ausschliesslich auf die Grundwasservorkommen im Talboden konzentriert. Nur zur Abklärung der Grundwasserneubildung und der Herkunft des Thermalwassers wurden auch die Randketten in die Untersuchungen einbezogen.

Im Untersuchungsgebiet liegen nachfolgende Gemeinden:

Amtsbezirk Interlaken:

Brienz, Schwanden, Hofstetten b.Br., Brienzwiler

Amtsbezirk Oberhasli:

Meiringen, Schattenhalb, Hasliberg, Innertkirchen

1.5 Unterlagen

Der vorliegende Schlussbericht ist eine Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse; diese einzeln zu veröffentlichen würde den üblichen Rahmen sprengen.

Alle im Untersuchungsgebiet bisher durchgeführten Sondierungen, geologische und geotechnische Gutachten, hydrometrische Messungen etc. wurden so weit als möglich gesammelt. Nach erfolgter Auswertung wurden sie gemäss den Auflagen des WEA in der Grundlagendatei (GLD) erfasst. Detailresultate und greifbare geologische Dokumente, mit Ausnahme eines kleinen Teils, der durch Eigentümer oder Inhaberrechte für die öffentliche Einsichtnahme gesperrt ist, können sämtliche Unterlagen beim Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, Abteilung Geologie "Hydrogeologische Dokumentation (HDOK)" eingesehen werden.

Das Auffinden und Sammeln einer derart grossen Anzahl geologischer Dokumente von Einzel- und Regionaluntersuchungen war nur möglich dank dem weitgehenden Entgegenkommen und der Mitarbeit zahlreicher Privatpersonen, Baubehörden, Ingenieurbüros und Bohrfirmen. Allen denen, die in uneigennützigter Art Informationen und geologische Dokumente zur Verfügung stellten, sei herzlich gedankt.

2. GEOLOGISCHE SITUATION

2.1 Allgemeiner Ueberblick

2.1.1 Talebene zwischen Meiringen und Briener See

Die Talebene des Haslitals zwischen Meiringen und Briener See ist die interglaziale und postglaziale Füllung eines ausserordentlich tiefen Erosionstrog. Dieser langgestreckte Trog bildete einst einen bedeutenden Alpenrandsee - den sogenannten Wendelsee -, der nach der jüngsten Eiszeit und vermutlich auch zwischeneiszeitlich von Meiringen bis in die Gegend von Bern reichte. Der weitaus grösste Teil der Lockergesteinsfüllung des Haslitaltrog besteht daher wahrscheinlich aus Moränenablagerungen und aus feinkörnigen Seeablagerungen. Lediglich die obersten 30 bis ca. 45 m bestehen aus jungen fluviatilen Ablagerungen der Aare, welche in Form eines Deltas in den Wendel- bzw. in den Briener See geschüttet worden sind, aus Ueberschwemmungssedimenten und aus Schuttmaterial der verschiedenen Seitenbäche.

2.1.2 Becken von Innertkirchen

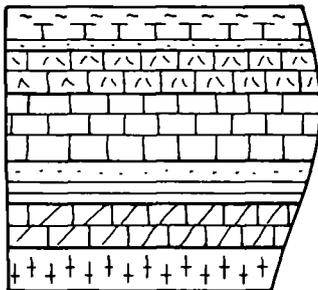
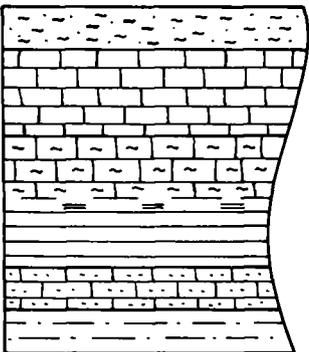
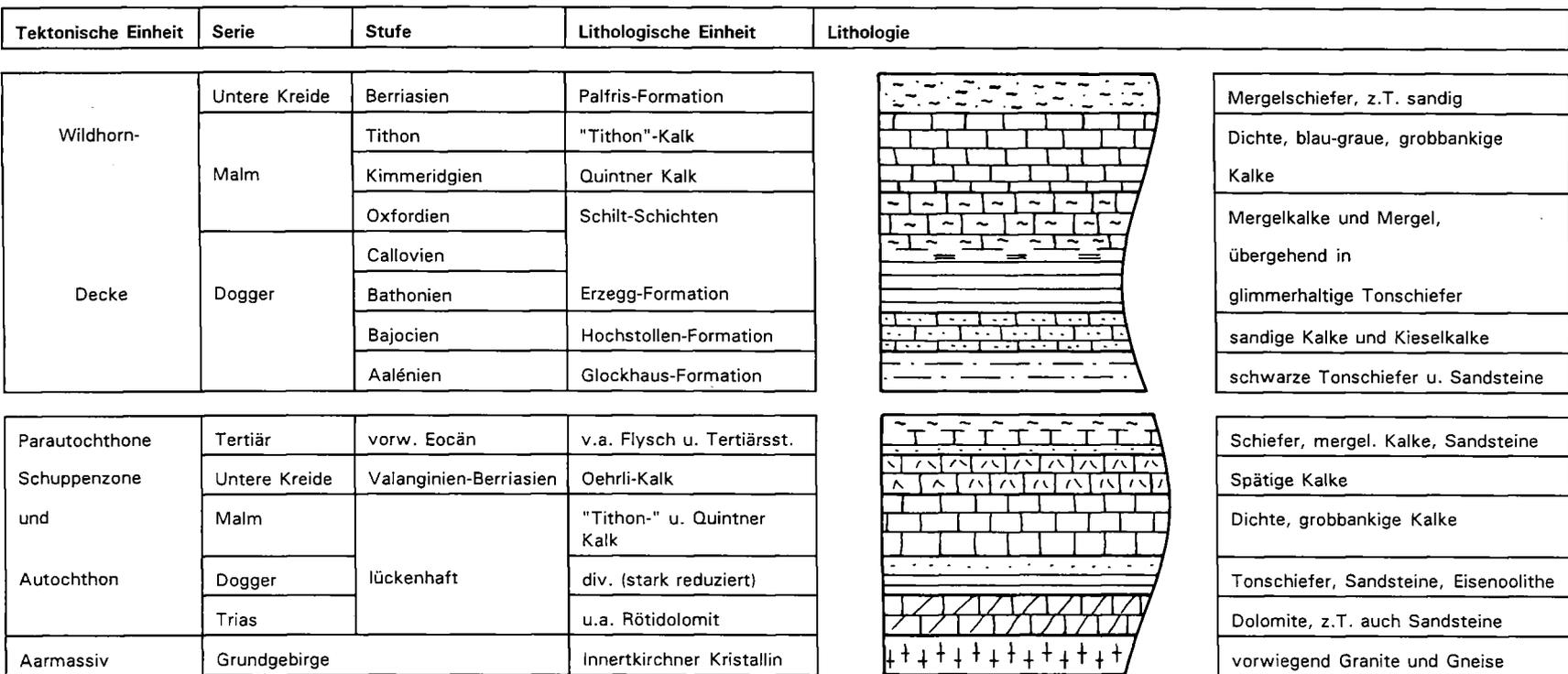
Das durch steile Felsflanken eng begrenzte Becken von Innertkirchen ist durch eine massive Auskolkung bei der Vereinigung von Gadmer- und Urbach-Eis mit dem Aaregletscher entstanden. Dieser Trog ist im unteren Teil wahrscheinlich mit Seeablagerungen, im oberen Teil jedoch mit jungen Flussschottern, mit Gehänge- und Bachschutt sowie mit Bergsturzmateriel wieder aufgefüllt worden.

2.1.3 Die randlichen Talflanken (Fig. 2.1)

Die geologischen Verhältnisse der angrenzenden Talflanken sind aus verschiedenen Publikationen und unveröffentlichten Gutachten recht gut bekannt (ARBENZ 1911, GUENZLER-SEIFFERT 1924 und 1952, KELLERHALS & HAEFELI 1982, MICHEL 1922, PILLOUD 1990, TROEHLER 1966). Die markanteste tektonische Einheit im Untersuchungsgebiet ist die sogenannte mittlere Wildhorn-Decke der helvetischen Hauptschubmasse.

Auf der Südseite des Aaretales wurde die Wildhorn-Decke als Stapel flachliegender, axial nach NE abtauchender Falten angehäuft. Dabei wurden die Gesteine des Doggers (schiefrige Sandsteine, Sand- und Kieselkalke) und diejenigen

Figur 2.1 Schematisches geologisches Sammelprofil durch den Gesteinsaufbau im Einzugsgebiet



des Malms (Kalke und untergeordnet Mergel) miteinander verfaltet. Nördlich der Aare erfolgte hingegen eine deutliche Auftrennung der Wildhorn-Decke in Stockwerke. Dabei wurden Dogger und Malm weitgehend unabhängig voneinander in Falten und Schuppen gelegt. Jüngere Formationen wie z.B. die zur Unterkreide gehörenden Mergel der Palfris-Formation sind hier nur lokal in den Faltenmulden oder Schuppengrenzen erhalten geblieben.

Die Unterlage der an der Basis der weichen Doggermassen abgescherten Wildhorn-Decke wird von der parautochthonen Schuppenzone und dem Autochthon gebildet. Diese Einheiten gehören nicht zur helvetischen Hauptschubmasse und bestehen vorwiegend aus Kalken des Malms und der Kreide sowie untergeordnet aus Schiefen und Sandsteinen des Tertiärs. Diese Schichten sind erst östlich von Meiringen zu finden und bilden u.a. auch den Kirchen-Riegel zwischen Meiringen und Innertkirchen. Im Liegenden dieser Einheiten und z.T. mit diesen verschuppt folgt das Kristallin des Aarmassivs, das den östlichen Teil des Untergrundes und zugleich auch die östlichen Talflanken des Beckens von Innertkirchen bildet.

Die randlichen Talflanken wie auch der Felsriegel des Kirchen sind teilweise mit Moränenablagerungen aus den verschiedenen Gletscherstadien des Aaregletschers überdeckt.

2.2 Karstwasserverhältnisse

2.2.1 Allgemeines

Aus den nachfolgenden Untersuchungen geht hervor, dass das Grundwasser im Haslital zwischen Meiringen und Briener See zu einem ansehnlichen Teil auch durch Karstwasserzutritte gespeisen wird. Aus diesem Grund wird kurz auf die Karstwasserverhältnisse im weiteren Untersuchungsgebiet eingegangen.

Von den hier auftretenden Gesteinseinheiten stellt der obere Malmkalk (Quintner Kalk, "Tithon"-Kalk) den wichtigsten Karstwasserleiter dar. Untergeordnet können auch die kieseligen Kalke des oberen Doggers (Hochstollen-Formation) Verkarstungen aufweisen. Die Durchlässigkeit in diesen Gesteinen ist in erster Linie durch Klüfte und Brüche gegeben, die sich durch zirkulierendes Wasser zu unterirdischen Höhlen- bzw. Karstsystemen erweitern können. Als Stauerschichten wirken dabei einerseits die praktisch undurchlässigen Schiefer des untersten Malm und oberen Doggers (Schilt-Schichten und Erzegg-Formation), andererseits des unteren Doggers (Glockhaus-Formation).

2.2.2 Karstgebiete nördlich des Aaretals

Das Brüniggebiet bildet mit seinen vor allem aus Malmkalken aufgebauten Stockwerken einen bedeutenden verkarstungsfähigen Komplex: Ein geschlossenes Gebiet von gut 15 km², zwischen 600 m und 2'000 m ü.M. gelegen, entwässert praktisch vollständig unterirdisch. Bedeutende Karstquellen befinden sich einerseits bei Lungern im Kanton Obwalden, andererseits im Aaretal am Hangfluss beim Uebergang zur Alluvialebene. Die weitaus grösste auf dieser Seite ist die Funtenen-Quelle westlich von Hüsen, die für die Trinkwasserversorgung von Meiringen genutzt wird.

Aus eingehenden hydrogeologischen Untersuchungen, welche im Rahmen der geologischen Studien für den Nationalstrassenbau N 8 im Brüniggebiet durchgeführt worden sind (vgl. KELLERHALS & HAEFELI / DR. VON MOOS AG 1982 und 1983), ist bekannt, dass nur ein kleinerer Teil des Karstwassers aus dem Brünigkomplex in Richtung Kanton Obwalden fliesst und der weitaus grösste Teil in das Aaretal entwässert. Allerdings haben im Aaretal nur vereinzelte kleinere Quellen auf die verschiedenen Markierversuche angesprochen. In der Funtenen-Quelle gelang der Farbnachweis z.B. nicht. Es lohnt sich in diesem Zusammenhang ein kurzer Blick auf diese bereits früher verschiedentlich untersuchte Quelle (vgl. WILDBERGER, GRUNER & SIEGENTHALER 1982):

Die Schüttung der Funtenen-Quelle ist sehr ausgeglichen: Sie weist einen mittleren Schüttungsbetrag von 400 l/s auf, mit einem Schwankungsbereich von 140 bis ca. 700 l/s. Die Quellaustritte am Rande der Talebene sind auf einer Länge von 50 m verteilt. Der grösste Teil der Karstwasseraustritte speist einen Quellbach; ein weiterer Teil tritt, wie detaillierte Grundwasserspiegelmessungen gezeigt haben, direkt ins Grundwasser der Aaretalebene über. Eine langjährige Messreihe von Isotopen (³H, ¹⁸O) im Quellwasser deuten auf ein mittleres Wasseralter von 10 - 15 Jahren und eine mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes von 1'500 ± 200 m hin. Die lange unterirdische Verweilzeit und Berechnungen der möglichen Reservoirgrösse weisen darauf hin, dass die Funtenen-Quelle bzw. der entsprechende unterirdische Austritt als wichtigster Basisabfluss des Karstgebietes am Brünig zu betrachten ist.

Die weiteren, am nördlichen Hangfluss des Aaretals entspringenden, ungefassten Karstquellen sind alle wesentlich kleiner. Sie befinden sich westlich der Funtenen-Quelle. Die grössten unter ihnen erreichen ein Maximum bis gegen 100 l/s, einige liegen jedoch zeitweise trocken. Ein nicht bezifferbarer Anteil des Karstwassers tritt dabei direkt ins Grundwasser des Aaretals über.

2.2.3 Karstgebiete südlich des Aaretals

Auf der südlichen Talseite mit den flachliegenden, axial nach NE abtauchenden Falten ist das unterirdische Karstwasserpotential mit der mächtigen, teilweise schlecht durchlässigen Doggerabfolge eher weniger gross. Immerhin existieren am Fuss der Talflanken ebenfalls einzelne grössere, z.T. ungefasste Quellaustritte. Erwähnenswert sind insbesondere die ungefassten Quellen beim Schulhaus Balm mit einer Schüttung von z.T. weit über 100 l/s.

Das Einzugsgebiet der Balm-Quellen liegt, wie SPENGLER (1974) aufgrund eines Färbversuches im Hinterburgseeli nachweisen konnte, im Gebiet der Axalp. Dies ist gemäss der oben aufgeführten geologisch-tektonischen Situation - die Faltenachsen fallen nach NE ab - durchaus plausibel. Da auch das Grundwasser auf die Färbung angesprochen hat, muss dies entweder auf weitere unterirdische Karstwasseraustritte oder auf eine Infiltration des Quellbaches zurückgeführt werden.

Eine weitere Felsquelle befindet sich bei der privaten Nervenklinik Meiringen westlich von Willigen (Kap. 6.4). Diese Quelle trat offenbar bis vor wenigen Jahrhunderten direkt am Fusse des Berghanges aus, und zwar nahe unterhalb der Ueberschiebungsfläche der helvetischen Wildhorn-Decke über die parautochthone Schuppenzone. Die Quelle wies damals eine Temperatur von ca. 23 - 24 °C auf. Im Verlaufe der letzten Jahrhunderte versiegte der oberflächliche Quellaustritt, wahrscheinlich aufgrund eines kleinen Bergsturzes. Das Thermalwasser trat darauf direkt in das Grundwasser über.

Eingehende Abklärungen zur Nutzung dieses Thermalwassers (vgl. KELLERHALS & HAEFELI 1983 und 1984) zeigten, dass die früher oberirdisch entsprungene Thermalquelle nur einen Teilausfluss des gesamten Thermalwassers darstellt, welches heute in verschiedenen Tiefen und Stellen in das Lockergestein austritt. Dank diesen Erkundungsarbeiten können heute grössere Mengen Thermal- und Subthermalwasser gefördert werden (Kap. 6.4). Aufgrund der isotopenhydrologischen Untersuchungen sowie der geologisch-tektonischen Situation kommt als möglicher Herkunftsort des Thermalwassers das Gebiet Rosenloui-Schwarzwaldalp in Frage.

2.3 Trogbildung

2.3.1 *Aaretal zwischen Meiringen und Briener See*

Ueber die Form und Tiefe des grossen eiszeitlichen Troges des Aaregletschers, welcher von Meiringen bis in die Gegend von Bern reicht und dessen Sohle bezüglich der heutigen Geländeoberfläche und Seeböden durchwegs um oft mehrere 100 m übertieft ist, liegen dank den Publikationen von MATTER et al. (1971 und 1973) im Bereich der beiden Seen neuere Informationen vor. Anhand geophysikalischer Untersuchungen mittels Reflexionsseismik konnte u.a. nachgewiesen werden, dass die Felsoberfläche im östlichen Bereich des Briener Sees teilweise gegen 800 m unter der heutigen Seeoberfläche liegt. Ein reflexionsseismisches Profil, welches im Rahmen der vorliegenden WEA-Studie im östlichen Teil der Ebene des Haslitales, westlich von Hünen, ausgeführt worden ist, zeigte selbst in diesem Gebiet noch eine Uebertiefung von gegen 400 m.

Die Anlage des Haslitales zwischen Meiringen und Briener See erfolgte zunächst vermutlich fluviatil am Ende des Tertiärs infolge der Hebung der Zentralmassive. Im Pleistozän folgte sodann der Aaregletscher dieser Talfurche und hobelte diese zu einem tiefen Trog aus. Die Erosion verlief dabei nicht wie im Briener See-Gebiet entlang den Faltenstrukturen, sondern quer zu diesen. Aus der geologisch-tektonischen Situation geht hervor, dass die Talanlage an die sogenannte Haslitaldepression der Wildhorn-Decke gebunden ist, einer axialen Depression der Faltenachsen im Haslital. Da Anzeichen für einen rein tektonischen Ursprung des Tales wie Bruch- bzw. Störungssysteme fehlen, stellt der Trog wahrscheinlich eine reine Erosionsform dar, indem vor allem weiche Gesteine des Doggers durch die verschiedenen Gletschervorstösse wegerodiert worden sind.

2.3.2 *Becken von Innertkirchen*

Das Becken von Innertkirchen wird durch den aus Kalken der unteren Kreide bestehenden Felsriegel des Chirchens von der Talebene bei Meiringen abgetrennt. Das Becken verdankt seine Entstehung der intensiven Auskolkung des Aaregletschers und der verschiedenen Seitengletscher, welche im Bereich der erosionsanfälligen Dogger- und Malmschiefer für eine relativ tiefe, durch Stufenmündungen noch intensiviertere Erosion sorgten. Auf geophysikalische Untersuchungen zur Erfassung der Felsoberfläche wurde im Becken von Innertkirchen aus Kostengründen verzichtet. Aufgrund der Lage der Beckenränder dürfte der Fels maximal in einer Tiefe von ungefähr 100 m liegen. Der heutige Durchbruch der Aare durch den

Chirchen-Felsriegel - die fast 200 m tiefe Aare-Schlucht - ist erst nach dem letzten Gletscherrückzug gebildet worden, d.h. in den vergangenen ca. 10'000 Jahren. Aehnliche, aber ältere Schluchten durch den Felsriegel sind schon früher entstanden (vgl. MUELLER 1983), beim jeweils folgenden Gletschervorstoss aber wieder verfüllt worden. Das Wasser musste sich deshalb immer wieder einen neuen Weg durch den Riegel suchen (vgl. Darstellung der alten Erosionsrinnen auf Beilage 1).

2.4 Trogfüllungen

2.4.1 Aaretal zwischen Meiringen und Briener See (Profile III bis VIII auf Beilage 2)

Eiszeitliche Ablagerungen

Die lithologische Zusammensetzung der Trogfüllung im 400 m und mehr übertieften Haslital ist nur in den obersten 30 - 50 m gut bekannt. Aufschlüsse aus Tiefbohrungen bestehen nach wie vor keine. Aufgrund der wenigen tieferen Bohrungen (maximale Tiefe 52 m) sowie der geoelektrischen und seismischen Profile darf angenommen werden, dass der untere Teil der Trogfüllung pleistozänen (eiszeitlichen) Alters ist. Er besteht aus Moränenablagerungen der verschiedenen, evtl. sogar präwürmzeitlichen Gletschervorstösse und aus feinkörnigen interglazialen oder interstadialen Seeablagerungen.

Der grosse, nacheiszeitliche Wendelsee zwischen Meiringen und der Region Bern bestand vermutlich bereits vor der letzten Eiszeit und hat sich auch während des etappenweise erfolgten Rückzuges des würmzeitlichen Aaregletschers immer wieder neu gebildet. BODMER (1976) konnte im Becken des Briener Sees, in einem aus 140 m Tiefe (d.h. Kote 424) bei Iseltwald gezogenen Bohrkern auf Grund von pollenanalytischen Untersuchungen das sogenannte Bölling-Interstadial nachweisen, d.h. eine zwischeneiszeitliche Warmzeit, welche auf ca. 11'000 Jahre v.Chr. datiert werden kann. Wahrscheinlich dürfte in dieser Warmzeit auch das Becken des Wendelsees vorübergehend bis in die Gegend westlich von Meiringen frei von Eis gewesen sein.

Gesicherte pleistozäne Ablagerungen sind im Untersuchungsgebiet nur im östlichen Haslital erbohrt worden. Die Ablagerungen von **Würmmoräne** (wm), wie sie z.B. in einzelnen Bohrungen im Gebiet von Meiringen festgestellt worden sind (vgl. Profile III und IV, evtl. auch V), dürften auf einen der letzten Vorstösse des Aaregletschers zurückzuführen sein und bildeten vermutlich auch den östlichen Abschluss des Wendelsees. Die in der WEA-Bohrung KB2 (658/174.17) in der

Moräne eingelagerten Schotter (vgl. Profil III) sind als **ältere**, pleistozäne **Schotter der Aare** (qs) zu interpretieren.

Nacheiszeitliche Ablagerungen

Entscheidend für das Verständnis der jüngsten Geschichte der Trogfüllung im Haslital sind die Datierungen von BODMER (1976) aufgrund von Pollenanalysen an erbohrten Seeablagerungen. In einer Bohrung, welche im Rahmen der N 8 - Untersuchungen südlich der Aaremündung im Briener See abgeteuft worden ist (WEA-Nr. 646/176.20, vgl. Beilage 1) konnte BODMER in einer Tiefe von ca. 40 m (ca. 523 m ü.M.) die Grenze zwischen dem sogenannten Subboreal und dem Subatlantikum nachweisen, was einem Alter von ca. 600 Jahren v. Chr. entspricht. Die Pollenzusammensetzung der Seetone bei - 23 m, d.h. 540 m ü.M., weist auf ein Alter um das Jahr 0 hin. Der Briener See dürfte damals, wie verschiedene Bohrungen vermuten lassen, bis etwa in das Gebiet von Unterbach gereicht haben. Diese wichtige Datierung zeigt somit, dass der oberste, ca. 30 m mächtige Abschnitt der Lockergesteinsfüllung im westlichen Haslital die Sedimentationsgeschichte allein der letzten 2'000 Jahre darstellt, was einer durchschnittlichen Sedimentationsrate von ca. 1.5 cm pro Jahr entspricht! Ähnlich hohe, evtl. sogar noch grössere Sedimentationsraten sind auch im östlichen Haslital zu erwarten, wo die Auffüllung durch Aare-Geschiebe, Murgänge und Bergstürze sicher noch stärker beschleunigt worden ist (vgl. unten). Durch zahlreiche Bohrungen sowie auch durch verschiedene, historisch belegte Naturereignisse (vgl. HANTKE 1980) sind diese Ablagerungen relativ gut bekannt.

Die postglaziale Sedimentationsgeschichte wird sich ungefähr wie folgt abgespielt haben:

Nach dem endgültigen Rückzug des Aaregletschers hat sich der Wendelsee erneut bis in die Gegend von Meiringen ausgedehnt. Anschliessend folgte eine schrittweise Auffüllung des Sees mit Schottern, Deltasanden und Trübestromablagerungen der Aare sowie mit Bachschuttmaterial des Alp- und Mülibaches und des Rychenbaches. Gleichzeitig dämmten auch die Schuttmassen der verschiedenen Seitenbäche - Hüsenbach, Wandelbach, Oltschibach etc. - allmählich einzelne Stillwasserbereiche ab, so dass es zu einer kontinuierlichen Verlandung kam.

Die erwähnte schnelle Auffüllung des obersten Abschnittes des Haslitales in den letzten 2'000 Jahren ist nicht zuletzt auch auf eine Reihe von katastrophalen Naturereignissen wie Geschiebefluten, Ueberschwemmungen, Murgänge und Berg-

stürze etc. zurückzuführen, welche aus der jüngeren Zeit z.T. auch historisch belegt sind.

Nebst den zahlreichen Naturkatastrophen hatten jedoch auch verschiedene künstliche Eingriffe eine nachhaltige Auswirkung auf die Sedimentationsgeschichte des Haslitaales. So führte eine im Jahre 1434 durch Mönche vom Kloster Interlaken im Bördeli bei Unterseen erstellte Schwelle zu einem Rückstau des Briener Sees und somit zu einer allmählichen Versumpfung des unteren Haslitaales. Eine ähnliche Auswirkung dürfte die im 19. Jahrhundert erfolgte Umleitung der Lutschine in den Briener See gehabt haben. Erst die in den Jahren 1866 - 1880 durchgeführte Korrektur der Aare zwischen Meiringen und Briener See und das Anlegen von Seitenkanälen führten zu einer endgültigen Entwässerung des Talbodens.

Bei den nacheiszeitlichen Ablagerungen handelt es sich, wie aus den Profilen III und VIII auf Beilage 2 hervorgeht, um die folgenden lithostratigraphischen Einheiten:

Als **junge Deltaschotter der Aare** (ds) werden diejenigen Ablagerungen bezeichnet, welche in einem Delta in den Wendelsee (bzw. in den Briener See) geschüttet wurden und diesen langsam auffüllten. Die Kiese und Sande weisen mit ihrem relativ hohen Silt-Sand-Anteil nur eine mittlere Durchlässigkeit auf (Kap. 4.5). Randlich geht diese Abfolge in siltig-sandige **Seeablagerungen** (1) über, welche u.a. durch weitreichende Trübestrome abgelagert worden sind (vgl. insbesondere Profil VII).

Als **junge Schotterablagerungen der Aare** (js) werden diejenigen Schichten bezeichnet, die im Bereich des stark mäandrierenden Flusslaufes geschüttet worden sind. Es handelt sich dabei vorwiegend um sandige, gut durchlässige Kiese. Infolge von Murgängen oder Bergstürzen wurde der Aarelauf verschiedentlich verdrängt. Nachdem die Aare lange Zeit mehrheitlich auf der linken Talseite gelegen hatte, verlegte der Fluss im Jahre 1762 sein Bett auf Grund von grossen Ueberschwemmungen und Murgängen auf die rechte Talseite. Eine Karte von A. Miranj aus dem Jahre 1764 hält die entsprechenden verschiedenen Aareläufe im Detail fest (Fig. 4.2 und 4.3). Die auf der Grundkarte in Beilage 1 aufgezeichneten Durchlässigkeitsbereiche - zusammengestellt aus Bohrresultaten, Pumpversuchen und geophysikalischen Untersuchungen - zeigen eine gute Uebereinstimmung mit den oben erwähnten, historisch bekannten Aareläufen. Die jungen Schotterablagerungen der Aare stellen den wichtigsten Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes dar.

Randlich gehen diese Aareschotter in feinkörnige **alluviale Ueberschwemmungs-sedimente** (a) und in **junge Verlandungsbildungen** (v), bestehend aus z.T. torfhaltigem Silt-Ton, über.

Von den Talflanken trugen schliesslich auch **Gehängeschutt** (gs) **Bachschuttkegel** (bs) und **Bergsturzmateriale** (bg) zur Auffüllung des Haslitaales bei. Von den Bachschuttkegeln sind insbesondere diejenigen des Ful- bzw. des Lammbaches, des Hüsenbaches, des Alpbaches und des Rychenbaches von Bedeutung. Vom Alpbach in Meiringen ist aufgrund von historisch belegten Ereignissen im 14. und 18. Jahrhundert bekannt, dass dessen Schuttfächer innerhalb dieses kurzen Zeitraumes infolge von Murgängen um rund 10 m angestiegen ist. Mit ihren z.T. weit in die Talebene hinausreichenden Kegeln bildet das Bachinfiltrat der Schuttkegel heute ebenfalls einen nicht unbedeutenden Beitrag zur Speisung des Grundwassers im Haupttal.

Von den Bergstürzen ist in erster Linie derjenige von Balm südwestlich von Meiringen erwähnenswert, weil er im Jahre 1650 mit seiner gewaltigen Masse das ganze Dorf bis auf einige wenige Häuser vernichtete. Weitere grössere Bergstürze aus den südlichen Talflanken, die den Talboden erreichten, bestehen z.B. bei Bitschihublen, bei Lewersbiel und bei Unterheid.

2.4.2 Becken von Innertkirchen (Profile I und II auf Beilage 2)

Mit der 52 m tiefen Bohrung KB1 (660/172.12) im östlichen Abschnitt des Beckens wurden bei rund 50 m unter jungen fluvialen Schottern noch **Moräneablagerungen** (WM) der letzten Eiszeit erbohrt.

Mit dem Zurückweichen des Eises aus dem Becken von Innertkirchen bildete sich auch hier ein See. In einigen der wenigen tieferen Bohrungen in diesem Untersuchungsgebiet wurden zwischen 15 bis 20 m tonig-siltige Ablagerungen festgestellt, die als **Seeablagerungen** (l) interpretiert werden können.

Im obersten Abschnitt ist das Becken vorwiegend mit **jungen Schotterablagerungen der Aare sowie des Urbach- und Gadmerwassers** (js) aufgefüllt. Diese mittel- bis gut durchlässigen, siltigen bis sandigen Kiese mit Blöcken verfangern sich im randlichen Bereich mit feinkörnigen **Verlandungsbildungen** (v) und mit meist schlecht durchlässigem Material von kleineren **Bachschuttkegeln** (bs), **Gehängeschutt** (gs) und von **Bergstürzen** (bg).

3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN

3.1 Allgemeines

Das gesamte orographische Einzugsgebiet der untersuchten Talabschnitte beträgt bis zur Einmündung der Aare in den Briener See 560 km². Davon entfallen 449 km² bis zum Eingang der Aareschlucht bei Innertkirchen und 554 km² bis zur hydrometrischen Messstation Brienzwiler der Landeshydrologie.

Infolge der teilweisen ausgedehnten Verkarstung darf indessen die unterirdische Wasserscheide nicht immer mit der orographischen gleichgesetzt werden, so dass das effektive hydrologische Einzugsgebiet geringfügig von den obigen Zahlen abweichen kann.

Bei einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 2'140 m ü.M. erreicht der höchste Punkt 4'274 m (Finsteraarhorn) und der tiefste 564 m (Briener See). Etwa ein Fünftel des Einzugsgebietes ist vergletschert. Die aus 353 km² des Einzugsgebietes anfallende Abflussmenge wird für die Energieproduktion genutzt und zwar mittels folgenden Stromanlagen der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO):

	Stauziel (m ü.M.)	Nutzzinhalt (Mio m ³)
Oberaar	2'303.0	60.5
Trübtensee	2'365.2	1.0
Grimsel	1'908.7	98.7
Gadmen	1'850.2	13.4
Totensee	2'160.0	2.5
Räterichsboden	1'767.0	25.0
Mattenalp	1'876.1	2.0
Engstlensee	1'850.8	2.0

Zwischen dem Oberaar- und dem Grimselsee besteht ein Pumpspeicherwerk, das für eine maximale Nutzwassermenge von 90 m³/s ausgelegt ist.

Infolge der Höhenlage und der beträchtlichen Vergletscherung sowie der zahlreichen Staustufen wird das Niederschlagsgeschehen der höher gelegenen Regionen stark gedämpft auf das Untersuchungsgebiet in der Talsohle übertragen. Dieser Umstand wie auch die schwer abschätzbaren Karstwasserzuflüsse schlossen von vornherein eine hydrologische Gesamtbilanz aus. Sie hätte das Ziel dieser Studie und die zur Verfügung stehenden Mittel bei weitem überschritten. Es wurde deshalb nur eine Grundwasserbilanzierung angestrebt, wozu hydrologische Daten Grenz- und Richtwerte abgaben.

Die Beobachtungsperiode betrug grösstenteils 22 bis 24 Monate. Sie begann im Winter 1992 und dauerte bis Ende 1993. Daneben wurden zu Vergleichszwecken einzelne Messungen ausserhalb dieser Periode berücksichtigt. Die 5 wichtigsten Grundwassermessstationen (Limnigraphen) gingen sodann in das permanente hydro-metrische Netz des Kantons über.

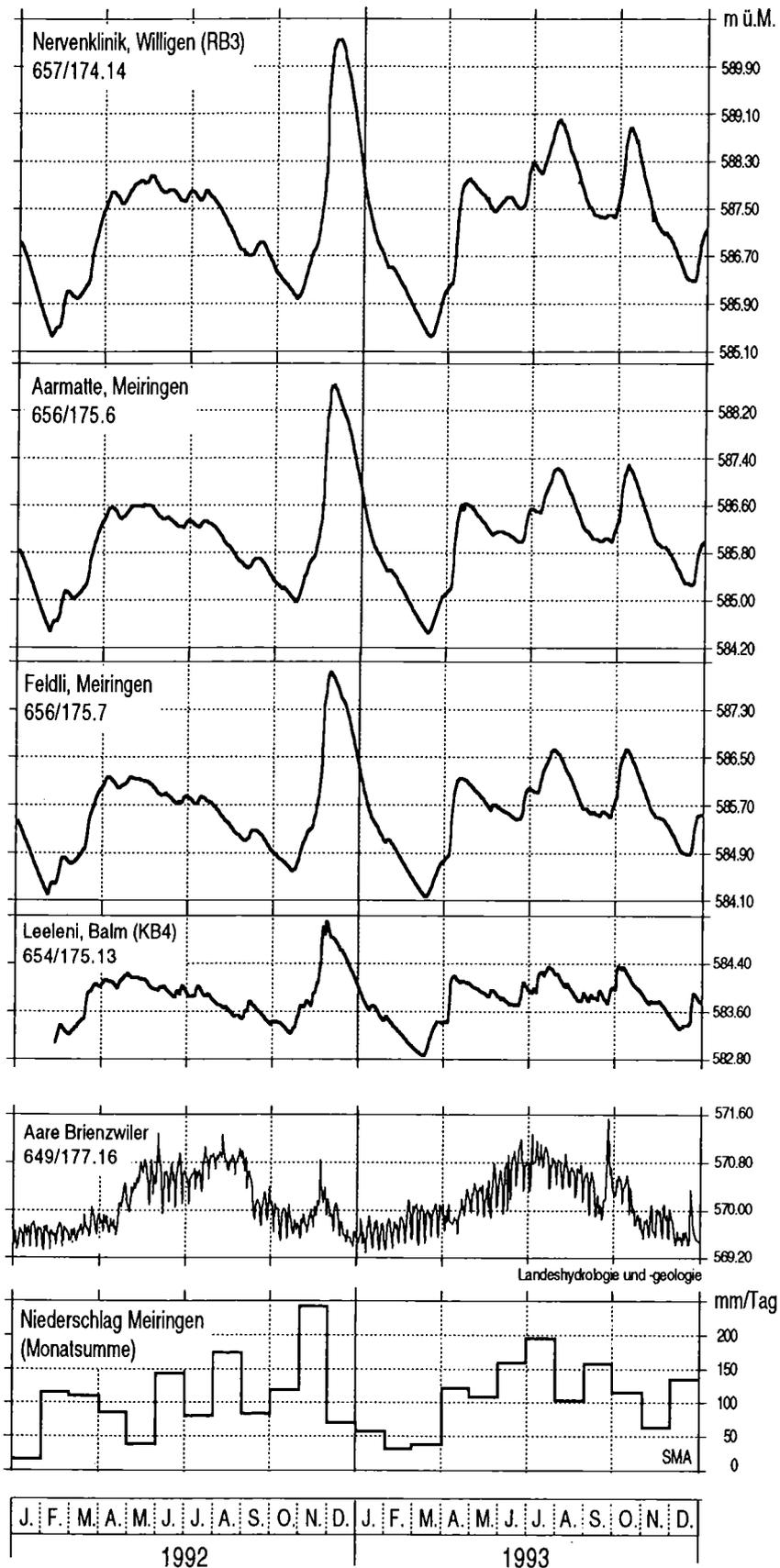
Das Grundwasser-Messstellennetz umfasste 9 Limnigraphen, 12 Grundwasserfassungen (Vertikalfilterbrunnen), 18 Grundwasserschächte, 35 Bohrungen sowie bis zu 42 gerammte Piezometerrohre (Zahl variabel, da einige nur kurzfristig). Die im Rahmen dieser Untersuchungen gebohrten Beobachtungsstellen sind in der Tabelle 3.1 aufgeführt (die Bohrprofile sind im Anhang ersichtlich). Die Oberflächenwasser-Messstellen umfassten den Limnigraphen der Landeshydrologie an der Aare (Station Brienzwiler), 3 Drucksonden sowie 79 Pegelmarken. Dazu konnten einige Installationen vorübergehend benutzt werden, die für andere Zwecke vorgesehen waren (z.B. Bohrungen zur Wärmegewinnung).

Die Beobachtungsstellen wurden wie folgt gekennzeichnet:

KB	WEA-Rotationskernbohrungen
P	WEA-Schlagbohrungen
B, RB	Aeltere Bohrungen
EB	Entnahmebrunnen
SB	Sickerbrunnen
S	Sodbrunnen
RP	Gerammte Piezometer
A	Messstellen am Oberflächengewässer

Einen allgemeinen Ueberblick zum Verhalten des Grundwasserspiegels im Vergleich zu den Niederschlägen und der Wasserführung der Aare vermitteln die Figuren 3.1 und 3.2 (vgl. auch Kap. 5).

Figur 3.1 Verlauf der Grundwasserstände im Raum Meiringen (Tagesmittel), des Aareabflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsumme) 1992 - 1993



Figur 3.2 Verlauf der Grundwasserstände in Innertkirchen sowie zwischen Hüsen und Briener See (Tagesmittel), des Aareabflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsumme) 1992 - 1993

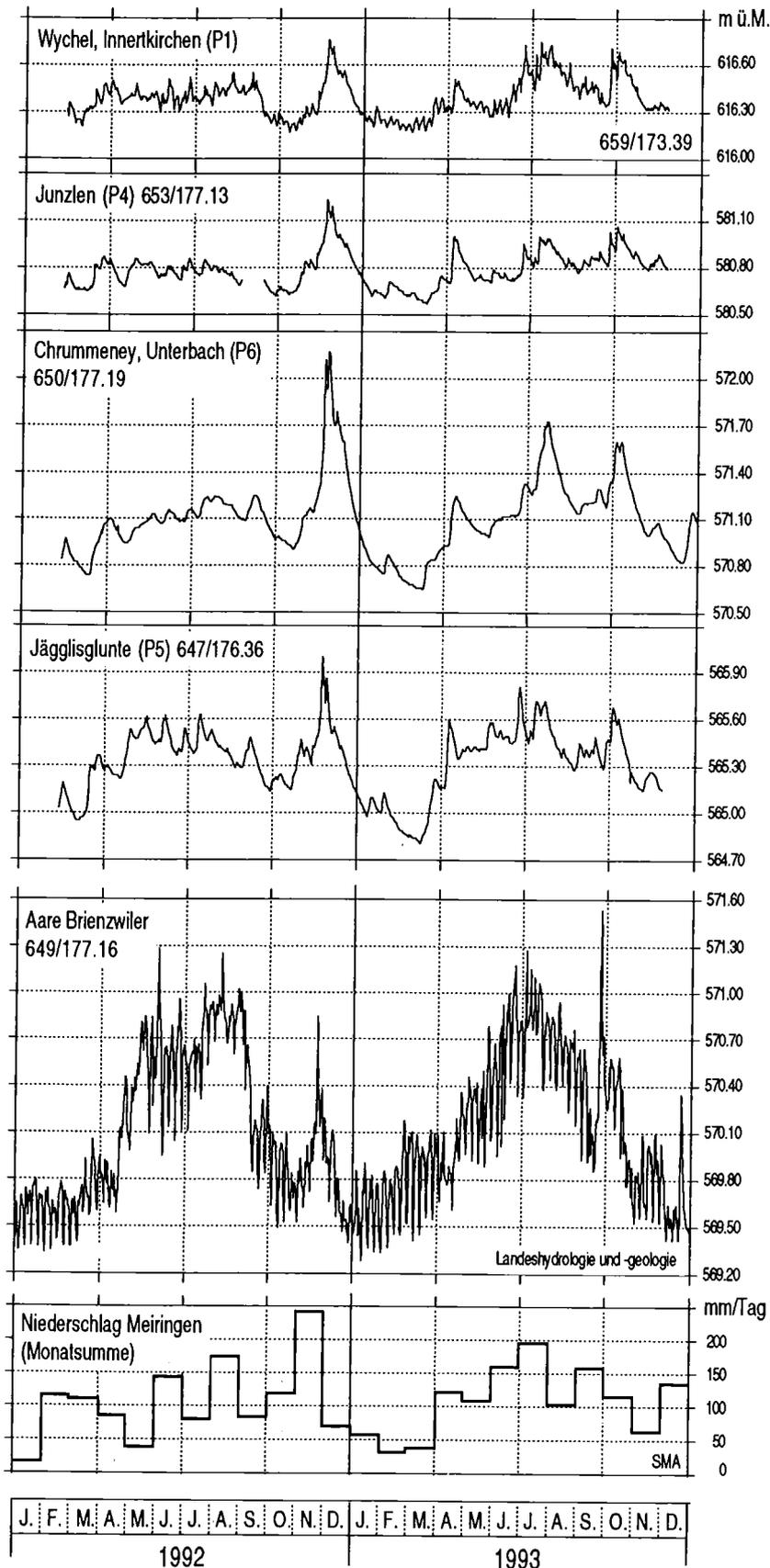


Tabelle 3.1: WEA-Messstellenbohrungen 1991/92

Rotationskernbohrungen:

Bohr-Nr.	WEA-Nr.	Ort	Tiefe (m)	Ø Einbau (Zoll)
KB1	660/172.12	Innertkirchen	52	6
KB2	658/176.17	Meiringen	46	6
KB3	656/176.15	Reichenbach	36	4 1/2 + 2
KB4	654/175.13	Balm	52	6 + 2
KB5	657/172.11	Innertkirchen	16	4 1/2
KB6	657/174.34	Willigen	24	4 1/2 + 1
KB7	648/176.15	Brienz	10	4 1/2

Rammkernbohrungen:

Bohr-Nr.	WEA-Nr.	Ort	Tiefe (m)	Ø Einbau (Zoll)
P1	659/173.39	Innertkirchen	18	4 1/2
P2	657/175.19	Balm	16	4 1/2
P3	655/175.23	Balm	13	4 1/2
P4	653/177.13	Junzlen	16	4 1/2
P5	647/76.36	Jägglisglunte	11	4 1/2
P6	650/177.19	Unterbach	15	4 1/2
P7	651/176.24	Unterbach	24	4 1/2
P8	654/176.21	Balm	17	4 1/2
P9	656/174.17	Reichenbach	18	4 1/2 + 1
P10	656/174.18	Meiringen	18	4 1/2 + 1

Die genaue Lokalität der Bohrungen ist aus der Beilage 1 ersichtlich.

3.2 Niederschlag

Beinahe mitten im Untersuchungsgebiet liegt die Station Meiringen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA). Nahe der östlichen Gebietsgrenze befindet sich die SMA-Station Brienz-Kienholz und 7 km östlich von Innertkirchen die SMA-Station Guttannen. Da indessen Guttannen mehr als 400 m höher liegt als Innertkirchen, sind die Niederschlagswerte für das Untersuchungsgebiet nicht repräsentativ. Als Vergleichswerte wurden sie trotzdem in die Auswertung einbezogen.

Die gemessenen monatlichen Niederschläge für die Jahre 1991 - 1993 sind in der Tabelle 3.2 aufgeführt. Zudem wurden die durchschnittlichen Monatsniederschläge (1901 - 1960) in der Figur 3.3 dargestellt. Beim Betrachten dieser Werte fällt vor allem folgendes auf:

- Die Niederschläge der Station Guttannen liegen durchschnittlich etwa 30 % höher als im Talboden zwischen Meiringen und Briener See, wobei sich die Niederschläge im Sommer erstaunlicherweise sehr geringfügig voneinander unterscheiden.
- Die Niederschläge der Periode 1991 - 1993 wichen nur wenig von den Normalwerten ab (3 - 5 %). Auch die einzelnen Jahre zeigten gegenüber den Mittelwerten eine Abweichung von < 10 %.
- Folgende Monatsniederschläge wichen zu mehr als 100 % von den Normalwerten ab:

• Februar	1991	-	zu trocken	(Guttannen, Meiringen)
• August	1991	-	zu trocken	(alle Stationen)
• Januar	1992	-	zu trocken	(alle Stationen)
• Mai	1992	-	zu trocken	(alle Stationen)
• November	1992	-	zu nass	(Meiringen, Brienz-Kienholz)
• Februar	1993	-	zu trocken	(Meiringen, Brienz-Kienholz)
• März	1993	-	zu trocken	(Meiringen)
• November	1993	-	zu trocken	(Guttannen)

- Der teilweise grosse Niederschlagsunterschied zwischen den im Talboden benachbarten Stationen Meiringen und Brienz-Kienholz, z.B. im Juli 1992 und März 1993; was vor allem auf gewitterhafte Niederschläge zurückzuführen ist.

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass die Periode 1991 - 1993, abgesehen von wenigen Monaten, die meist zu trocken waren, ein ausgeglichenes Niederschlagsgeschehen aufwies, das dem der langjährigen Normalwerte entsprach.

Tabelle 3.2: Niederschläge im Haslital 1991 - 1993

Verwendete Stationen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt (SMA)

Guttannen	(SMA 5030):	1'055 m ü.M.
Meiringen	(SMA 5070):	595 m ü.M.
Brienz-Kienholz	(SMA 5090):	575 m ü.M.

Monatssumme (mm)

Station	Jahr	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Guttannen	1991	110	45	102	166	212	227	183	66	143	75	107	208	1'644
Meiringen	1991	72	31	90	105	124	177	207	38	84	51	92	158	1'229
Brienz-Kien..	1991	88	44	69	109	123	202	188	29	82	61	72	152	1'219
Guttannen	1992	23	173	220	129	38	173	106	145	105	139	244	105	1'600
Meiringen	1992	17	115	110	86	39	143	81	174	84	119	242	70	1'278
Brienz-Kien.	1992	21	109	128	55	50	147	177	128	94	165	242	94	1'410
Guttannen	1993	98	72	69	176	119	183	204	160	239	191	55	159	1'725
Meiringen	1993	57	31	38	121	108	159	195	103	157	115	63	135	1'282
Brienz-Kien.	1993	62	32	60	109	141	158	221	116	142	114	54	146	1'353

Mittelwerte 1991 - 1993 (mm)

Station	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Guttannen	77	97	130	157	123	194	164	124	162	135	135	157	1'656
Meiringen	49	59	79	104	90	160	161	105	108	95	132	121	1'263
Brienz-Kien..	57	62	86	91	105	169	195	91	106	113	123	131	1'328

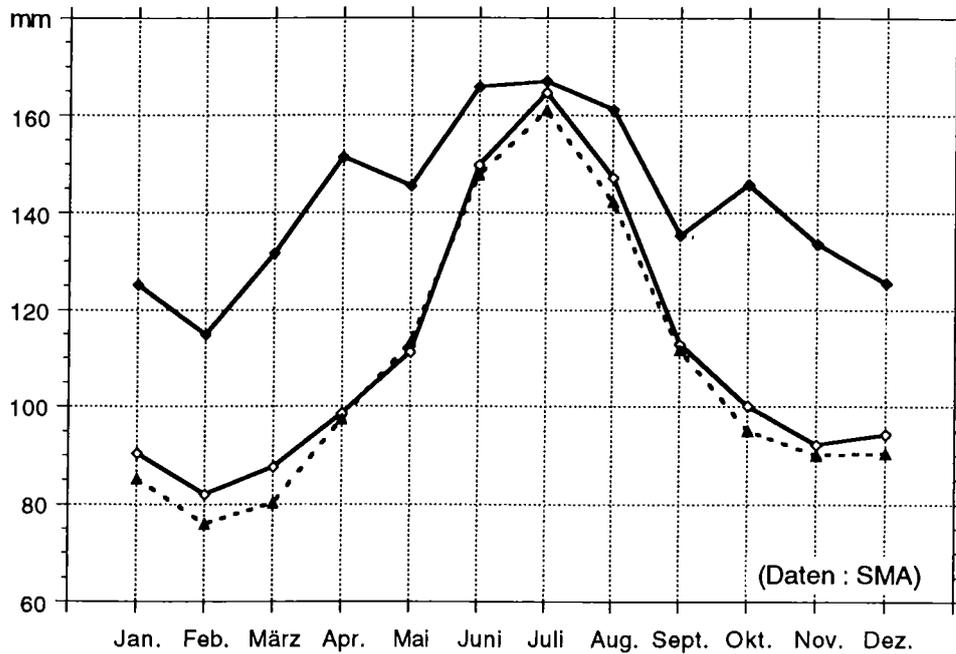
Normalwerte (Mittelwerte) 1991 - 1993 (mm)

Station	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Guttannen	128	115	131	151	147	166	168	161	137	146	134	126	1'711
Meiringen	92	82	88	99	111	149	161	148	113	100	92	94	1'329
Brienz-Kien..	84	75	80	98	114	149	160	144	112	95	90	90	1'290

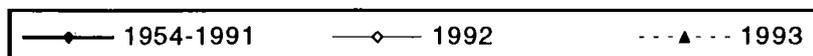
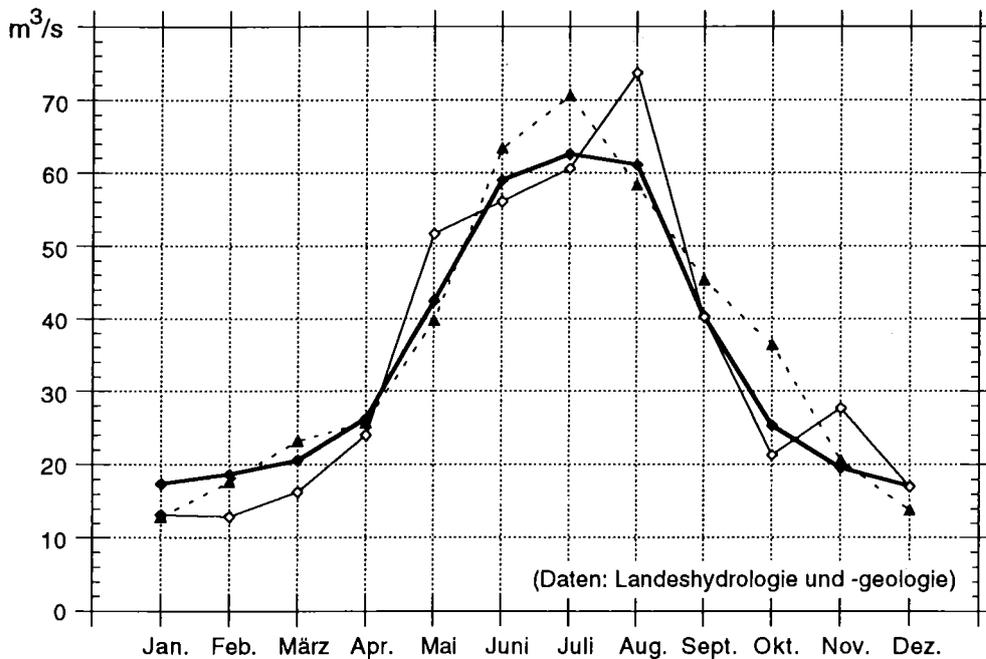
Verhältnis Mittelwerte 1991 - 1993 / Normalwerte (%)

Station	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Guttannen	60	84	99	104	84	117	98	77	119	93	101	125	97
Meiringen	53	72	90	105	82	107	100	71	96	95	144	129	95
Brienz-Kien..	68	82	107	93	92	113	122	63	95	119	136	146	103

Figur 3.3 Durchschnittliche Monatsniederschläge (1901 - 1960) der SMA-Stationen Guttannen, Meiringen und Brienz Kienholz



Figur 3.4 Mittlere monatliche Abflussmengen der Aare bei Brienzwiler (649/177.16). Abflussmessstation der Landeshydrologie



3.3 Abfluss

Die Aare stellt den dominierenden Abfluss im Untersuchungsgebiet dar, wo sie zahlreiche Zuflüsse besitzt. Zu nennen sind vor allem das Gadmer- und Urbachwasser (Becken von Innertkirchen) sowie der Reichenbach, Alpbach und Oltschibach. Zwischen Innertkirchen und dem Briener See ist sie vollständig kanalisiert (in der Aareschlucht natürlicherweise). Das Gefälle des Aarebettes beträgt durchschnittlich 2 - 2.5 ‰, was eine beträchtliche Fließgeschwindigkeit mit weitgehend rollender Flusssohle verursacht.

Seit 1954 wird der Abfluss der Aare durch die Station der Landeshydrologie bei Brienzwiler registriert (649/177.16), die sich ca. 3 km vor der Einmündung in den Briener See befindet (Einzugsgebiet 554 km². Seit 1964 wird an dieser Stelle auch die Temperatur der Aare festgehalten.

Wie erwähnt ist der Abfluss der Aare nicht nur niederschlagsabhängig, sondern wird auch stark von der Schneeschmelze, der Kraftwerksregulierung und dem Rückhaltevermögen der Stauanlagen beeinflusst (Kap. 3.1). Bei einer durchschnittlichen Jahresabflussmenge von 34.3 m³/s variieren die Extremwerte in Anbetracht der zahlreichen Staustufen recht stark zwischen 3.61 und 390 m³/s. Das Abflussregime der Aare ist aus den monatlichen Abflussmengen (Fig. 3.4) und aus den Dauerkurven (Fig. 3.5) ersichtlich. Für die langjährige Periode 1954 - 1991 und die Jahre 1992 und 1993 ergeben sich folgende charakteristische Werte (m³/s):

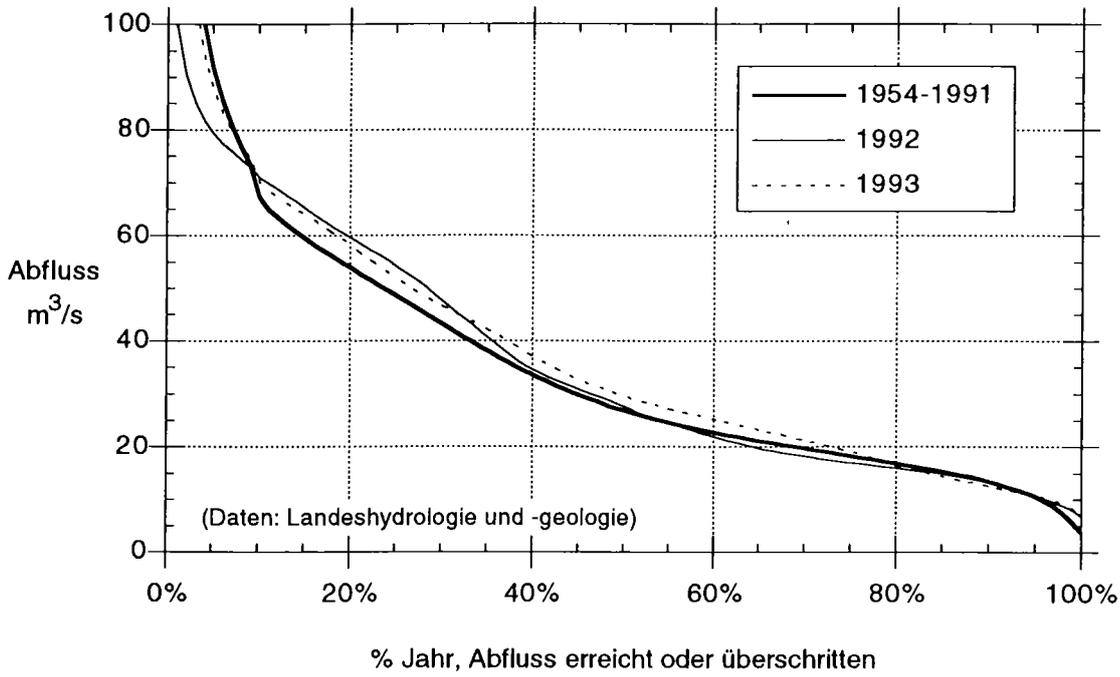
	1954 - 1991	1992 ³⁾	1993 ³⁾
Q min.	3.61	8.4	7.6
Q max.	390	156	324
Q 10 ¹⁾	67.1	71.6	69.7
Q 50 ¹⁾	26.7	28.3	29.8
Q 90 ¹⁾	13.7	13.8	12.7
MQ ²⁾	34.3	32.0	33.5

1) Abflussmenge während 10 %, 50 % bzw. 90 % des Jahres vorhanden oder überschritten

2) Durchschnittliche Jahresabflussmenge

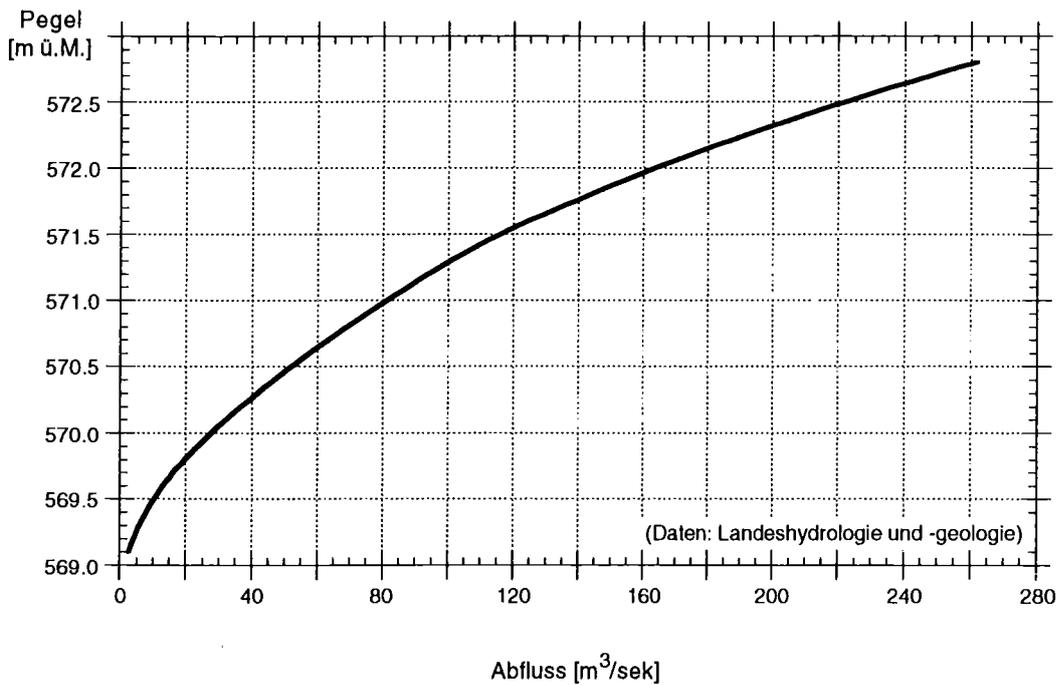
3) Werte provisorisch

Figur 3.5 Dauerkurven für den Aareabfluss bei Brienzwiler (649/177.16).
Abflussmessstation der Landeshydrologie



Figur 3.6 P/Q-Beziehung der Aare bei Brienzwiler (649/177.16).
Abflussmessstation der Landeshydrologie

Aare Brienzwiler (649/177.16) : P/Q Beziehung



Die flach verlaufenden Dauerkurven weisen auf die zahlreichen Speicherbecken im Einzugsgebiet hin, die einen gedämpften Abfluss verursachen. Dementsprechend erreicht das Verhältnis Q_{10}/Q_{90} in der Regel nur etwa den Wert 5. Figur 3.6 illustriert die Pegel/Abflussbeziehung bei der Station Brienzwiler. Infolge des eher schmalen Flussbettes steigt der Flusswasserspiegel mit zunehmendem Abfluss verhältnismässig stark an, so dass eine Spiegeldifferenz von über 4 m resultieren kann.

Folgende Extremstände wurden bis heute gemessen (m ü.M.):

10., 20. Dezember	1927	569.03
1. Januar	1986	569.11
4. September	1948	573.69
31. Juli	1977	573.48

Während 80 % des Jahres, d.h. zwischen Q_{10} und Q_{90} variiert die Niveaudifferenz allerdings nur innerhalb 1.3 m. Da zwischen der Aare und dem Grundwasser nur teilweise eine enge hydraulische Beziehung besteht, reagiert der Grundwasserspiegel sehr unterschiedlich auf Wasserstandsveränderungen der Aare (Kap. 5).

Im untersten Teil der Talebene beeinflusst der Briener See den Aare- und Grundwasserspiegel nachhaltig. Betragen doch die monatlichen Schwankungen des Seestandes etwa 1 m. Die Extremstände des Briener Sees können jedoch bis über 2 m auseinander liegen.

Die Bach- und Kanalabflüsse wurden für die Grundwasserbilanzierung gemessen, sie sind deshalb unter Kapitel 8 aufgeführt.

3.4 Verdunstung

Da im vorliegenden Untersuchungsgebiet der Verdunstung zu viele Unsicherheiten anhaften, als dass mittels einer hydrologischen Bilanzierung verlässlich auf die Grundwasserneubildung geschlossen werden könnte, wurde auf eine entsprechende Ermittlung verzichtet. Der dafür notwendige Aufwand hätte zudem den vorgesehenen Kostenrahmen weit überschritten.

4. EIGENSCHAFTEN DES GRUNDWASSERLEITERS

4.1 Allgemeines

Nachstehend wird der Grundwasserleiter aus praktischen Gründen gemäss folgender Definition behandelt: "Ein Grundwasserleiter ist ein geologischer Körper, der Grundwasser in nutzbaren Mengen enthält und weiterleiten kann." Damit entfallen Zonen, denen infolge ihrer Ausdehnung oder Durchlässigkeit wirtschaftlich kein Grundwasser entzogen werden kann. Es ist deshalb ausschliesslich nur vom Lockergesteinsgrundwasser des Talbodens die Rede.

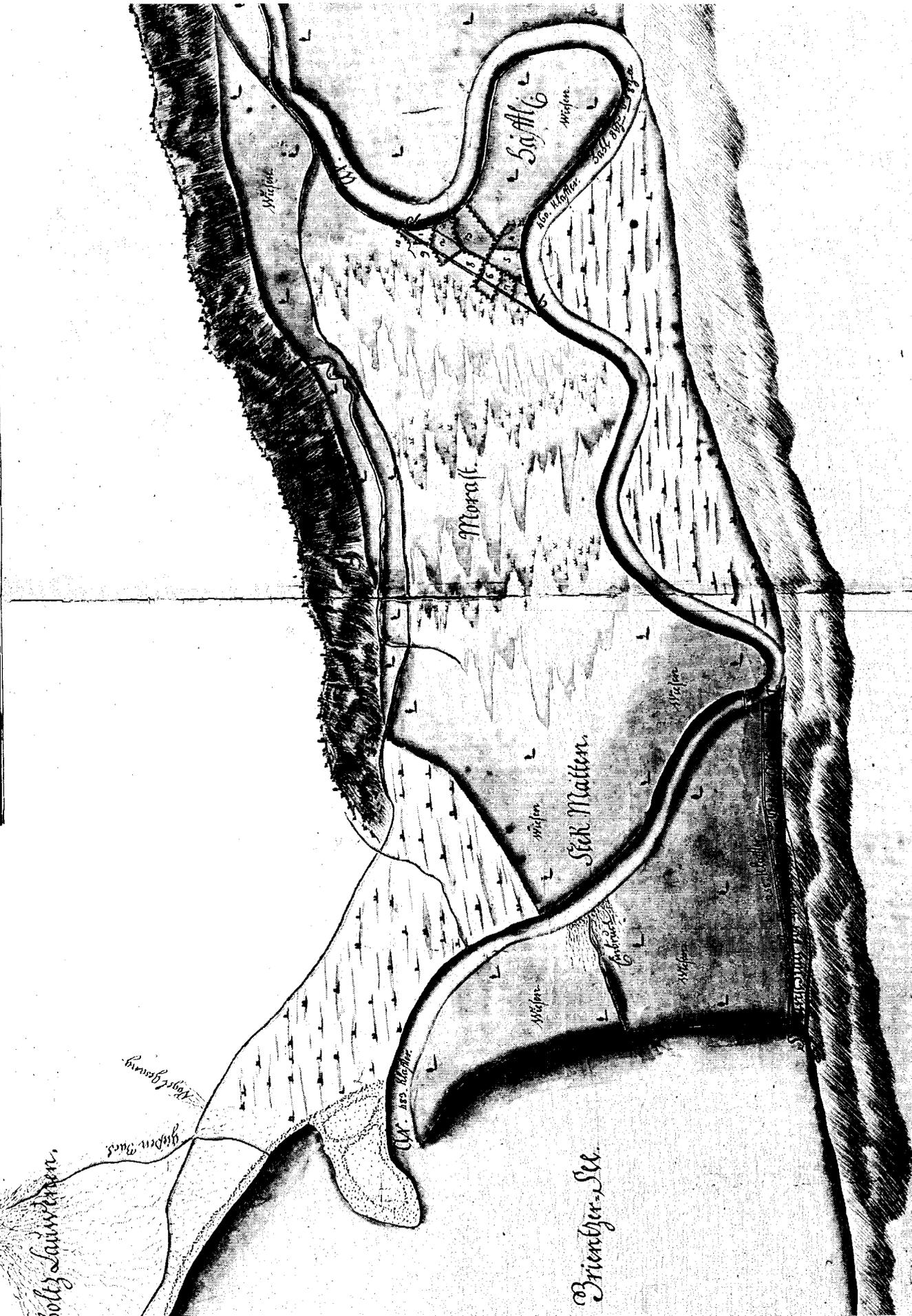
Beim Becken von Innertkirchen handelt es sich, wie erwähnt, um einen Grundwasserleiter, dessen Aufbau bisher weitgehend unbekannt war. Im Gegensatz dazu wird der Grundwasserstrom zwischen Aareschlucht und Briener See schon seit Jahrzehnten mannigfaltig genutzt, so dass der Untergrund bis in eine Tiefe von 20 - 30 m bereits vor den Untersuchungen eine ziemlich gute Aufschlussdichte aufwies.

Um ein möglichst lückenloses Bild über den Aufbau der quartären Talfüllung zu erhalten und um die optimalen Sondierstandorte festzulegen, wurden ausgedehnte elektromagnetische Messungen ausgeführt, d.h. an insgesamt 1'300 Punkten. Die Anwendung dieser sogenannten VLF-Methode (VLF = very low frequency) macht sich den Umstand zunutze, dass gewisse Radiosender permanente Leitsignale ausstrahlen, die im Gestein einen elektrischen Strom induzieren. Mittels geeigneter Empfänger kann an der Geländeoberfläche zwischen zwei Elektroden eine Potentialdifferenz gemessen und hieraus der scheinbare Widerstand des Gesteins errechnet werden. Daraus lässt sich bis zu einem gewissen Grad auf den Aufbau und die Durchlässigkeit des Untergrundes schliessen.

Figur 4.1 gibt die Verteilung der Widerstandswerte bei Messungen mit einer Frequenz von 200 kHz (grosse Eindringungstiefe) wieder. Sofort fallen die geringen Widerstandswerte im unteren Teil des Untersuchungsgebietes auf, 100 - 200 Ω m sind hier die Regel. Diese nehmen stromaufwärts allmählich zu, um bei Meiringen und im Becken von Innertkirchen Werte von 500 - 700 Ω m einzunehmen. Diese Werte illustrieren vor allem die abnehmende Grundwasserleitermächtigkeit Richtung Briener See. Sehr schön kommen stellenweise auch die alten Kiesrinnen der Aare mit den höheren Widerstandswerten zum Ausdruck. So konnten zwischen Meiringen und Unterbach Parallelen mit der historischen Karte aus dem Jahre 1764 gezogen werden, z.B. verlief ein Flusslauf dem südlichen Talrand entlang und in anderer Richtung Funtenen (Fig. 4.2 und 4.3, Fotos A. della Valle).

im Lauff der Aar im Ober-Saalk Thal bis zum Brienzzer

durch A. Miranij und Copiert durch Amadeo Jth. a. 1766.



Figur 4.3 Ausschnitt einer historischen Karte aus dem Jahr 1764:
Aareverlauf zwischen Ballenberg und Brienzher See (MIRANJ 1764)

Mit Hilfe von zwei kürzeren Frequenzen, die ebenfalls bei jedem Punkt gemessen wurden, konnte eine verfeinerte Interpretation der Messresultate erzielt werden, was eine relative Aussage über Aufbau und Mächtigkeit des Grundwasserleiters ermöglichte.

4.2 Räumliche Begrenzung

Die Begrenzung des Grundwasserleiters ist aus der Beilage 1 ersichtlich. Als Ausgangslage für die horizontale Ausdehnung wurde ein mittlerer Grundwasserstand angenommen, wobei die Schnittlinie zwischen Grundwasserspiegel und randlichem Stauer die Begrenzung ergab. Diese verläuft beinahe ausnahmslos entlang des steil abfallenden rechts- und linksseitigen Hangfusses. Da die Einmündungen der Seitenbäche nicht übertieft sind, sondern häufig über Steilstufen ins Aaretal münden, wie z.B. das Urbachwasser oder der Reichenbach, bestehen praktisch keine seitlichen Verzweigungen des Grundwasserleiters.

Der Grundwasserleiter erreicht im Becken von Innertkirchen 1.6 km^2 (Länge ca. 2.5 km, mittlere Breite ca. 0.6 km) und im Abschnitt Meiringen - Briener See 14.4 km^2 (Länge ca. 12.5 km, mittlere Breite ca. 1.2 km).

Wie aus Kapitel 2 und dem nachstehenden Abschnitt hervorgeht, ist die Abgrenzung des Grundwasserleiters nach unten durch die häufig verfäicherte, schlecht belegte Stauer Oberfläche nur ungenau definiert. Im Becken von Innertkirchen wurde sie in 15 - 50 m Tiefe und zwischen Meiringen und Briener See 6 - 48 m tief nachgewiesen, wobei Richtung Briener See eindeutig abnehmende Tendenz vorherrscht. Unter Berücksichtigung des Flurabstandes (Fig. 4.4) ergibt sich für den nutzbaren wassergesättigten Grundwasserleiter eine Mächtigkeit von ca. 4 - 40 m (Beilage 1 - 3).

4.3 Grundwasserstauer

Der Grundwasserstauer wird durch Moräneablagerungen, Seesedimente und stellenweise durch junge Verlandungsbildungen gebildet. Dabei stellen jedoch nur die beiden erstgenannten Ablagerungen durchgehende Stauerhorizonte dar, während die Verlandungsbildungen mehr den Charakter von schwerdurchlässigen Einschaltungen besitzen, die sich jedoch über mehrere km² erstrecken können (Kap. 2.4, Beilage 2). Es ist jedoch auch möglich, dass grundwasserführende Einschaltungen innerhalb des Stauers auftreten, wie z.B. ältere, während einer Interstadialphase abgelagerte Aareschotter innerhalb eines würmeiszeitlichen Zyklus (Beilage 2, Profil III).

Der darunterliegende Felsverband stellt infolge seines kalkigen Aufbaus keinen Stauer dar. Vielmehr muss angenommen werden, dass dieser wenigstens teilweise zerklüftet und verkarstet ist und dementsprechend Wasser führt.

Im Becken von Innertkirchen wurde der Stauer in sehr unterschiedlicher Tiefe angetroffen: Moräne in ca. 50 m Tiefe (Bohrung KB1, 660/172.12) bzw. Seesedimente in ca. 16 m Tiefe (Bohrung P2, 656/175.19). Dabei ist jedoch nicht erwiesen, ob es sich tatsächlich um die endgültige Staueroberfläche handelt, da namentlich bei P2 durchaus in grösserer Tiefe nochmals eine Abfolge von Schotterablagerungen auftreten könnte.

Im Gebiet von Meiringen - Balm - Hüsen wurde, abgesehen von Verlandungsbildungen, Moräne als Stauer angetroffen, während weiter stromabwärts die Bohrungen in der Regel auf Seeablagerungen stiessen. Was nicht ausschliesst, dass dort ebenfalls in grösserer Tiefe Moränenmaterial vorkommt. Im Gebiet von Meiringen liegt die massgebende Staueroberfläche, Randgebiete nicht berücksichtigt, durchschnittlich mindestens 25 m unter Terrain. Bei Unterheid und Unterbach liegt sie etwas tiefer als 15 m, um gegen den Briener See noch weiter anzusteigen.

Da die Staueroberfläche äusserst unregelmässig verläuft und durch die nicht sehr zahlreichen tiefen Bohraufschlüsse nur rudimentär erfasst werden kann, musste auf eine entsprechende Isohypsenkarte verzichtet werden. Die Staueroberfläche wurde deshalb nur punktwiese in Beilage 3 dargestellt.

Zusammenfassend können für die verschiedenen Teilgebiete folgende allgemeine Mächtigkeitsangaben für den gesättigten Grundwasserleiter gemacht werden:

Becken von Innertkirchen:

- SE-Teil:	15	-	>	40 m
- NW-Teil:	5	-		15 m

Trog Meiringen-Brienzer See:

- E Balm-Hüsen:	12	-	>	20 m
- Balm-Unterheid:	10	-		20 m
- Unterheid-Brienzwiler (Ordinate 650):	5	-		15 m
- Brienzwiler (Ordinate 650)-Brienzer See:	2	-		15 m

4.4 Deckschichten

Als Deckschichten werden die Ablagerungen über dem wassergesättigten Grundwasserleiter verstanden. Je nach ihrer Ausbildung schützen sie mehr oder weniger wirksam das Grundwasser vor Verunreinigungen. Ihre Durchlässigkeit und Mächtigkeit ist massgebend für die Grundwasserneubildung verantwortlich.

Abgesehen von den künstlich versiegelten Flächen überdeckt eine Vegetationsschicht, d.h. die humose Ablagerung von 0.1 - 0.5 m Stärke, die gesamte Talebene. Die Humusbedeckung nimmt meist im Bereich der Talränder infolge Einschwemmungen zu.

Die humose Vegetationsschicht und die tiefer liegenden Deckschichten beeinflussen die Qualität des einsickernden Niederschlagswassers in mehrfacher Hinsicht. Einerseits wird es vor allem durch Sorptionsmechanismen und biologische Prozesse "filtriert", d.h. von gewissen Wasserinhaltsstoffen befreit und gereinigt, andererseits findet eine Mineralisation statt, wobei insbesondere die Aufnahme von Kohlendioxyd und Stickstoffverbindungen erwähnenswert ist. Schwer- oder nicht abbaubare Fremdstoffe, die häufig umweltbelastend sind (z.B. einzelne Pflanzenschutzmittel), werden jedoch teilweise ausgeschwemmt und sickern ins Grundwasser.

Wie aus der Figur 4.4 entnommen werden kann, ist die Mächtigkeit der Deckschichten, d.h. der Flurabstand, sehr unterschiedlich. Im Becken von Innertkirchen nimmt er stromabwärts von 12 m auf < 2 m ab. Zwischen der Aareschlucht und dem Gebiet Balm - Hüsen ist eine Abnahme von 18 m auf 3 m zu verzeichnen.

Abgesehen vom Schuttfächer des Oltschibaches beträgt sodann für die gesamte Talebene bis zum Briener See der Flurabstand bei mittlerem Grundwasserspiegel 1 - 3 m.

Die Ausdehnung und Ausbildung der Deckschichten kann der Grundkarte (Beilage 1) entnommen werden. Zur Darstellung gelangten schwergewichtig die an die Vegetationsschicht anschliessenden Bodenschichten. Auffallend sind stellenweise die alten Wasserläufe der Aare. Zum Vergleich wurden zwei Kartenausschnitte aus dem Jahr 1764 dargestellt (Fig. 4.2 und 4.3). Ebenfalls berücksichtigt wurden in der Beilage 1 die an den Grundwasserleiter anschliessenden Randgebiete. Zudem wurden die alten Erosionsrinnen durch den Kirchen eingezeichnet.

Im Becken von Innertkirchen sind die Deckschichten sehr heterogen aufgebaut, d.h. vom groben Bergsturzschutt bis zum tonig-siltigen Sand sind auf kleinem Raum beinahe alle Abstufungen vorhanden. Im Gebiet von Meiringen wiegen eindeutig die grobkörnigen Deckschichten vor, die stromabwärts immer mehr durch tonig-siltige Ablagerungen abgelöst werden. Abgesehen von Bergsturzrelikten, Bachschuttfächern und künstlichen Aufschüttungen bestehen die Deckschichten zwischen Unterbäch und dem Briener See beinahe ausschliesslich aus Ueberschwemmungssedimenten und Verlandungsbildungen (tonige bis siltig-sandige Ablagerungen, teilweise mit Torfeinschaltungen). Die alten Aareläufe manifestieren sich häufig durch saubere \pm kiesige Sandzüge, die gegen den Briener See zunehmend siltig werden.

Die stromabwärts von Unterbäch vorherrschenden schlechtdurchlässigen Deckschichten verursachen infolge des hoch liegenden Grundwasserspiegels teilweise gespannte Grundwasserverhältnisse (Kap. 5) und eine ungenügende Belüftung des Grundwassers (Kap. 6).

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass der wechselhafte Aufbau der Deckschichten das Grundwasser sehr unterschiedlich vor Verunreinigungen schützt. Die Schutzwirkung ist relativ schlecht im Raum Innertkirchen und Meiringen. Sie erfährt jedoch durch den grossen Flurabstand teilweise eine Verbesserung, da häufig in tiefer liegenden Bodenschichten siltige Ablagerungen eingeschaltet sind.

4.5 Lithologischer Aufbau und hydraulische Kennwerte

Insgesamt geben über 130 Bohrungen, 60 Rammsondierungen und 20 Sondierschlitze Aufschluss über den Aufbau des Grundwasserleiters, wovon 17 Sondierbohrungen und 42 Rammsondierungen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ausgeführt wurden (vgl. Anhang).

Der Grundwasserleiter besteht vorwiegend aus Ablagerungen der Aare, d.h. ältere (qs) und jüngere (js) Schotter sowie Deltaschotter (ds) (vgl. Beilage 2). Es handelt sich dabei meist um eine wechselnde Abfolge von sauberem bis siltigem Kies und wenig bis viel Sand sowie mehr oder weniger sauberem Sand mit unterschiedlichem Kiesanteil. Daneben kommen lokal z.T. ziemlich ausgedehnte Bergsturzablagerungen und Bachschuttfächer sowie randlich Gehängeschutt vor. Auffallend ist, dass alle grösseren Bergsturzmassen sich am südlichen Talrand befinden und teilweise bis mehrere 100 m in die Talebene reichen (z.B. Balm, Balmweid). Diese Ablagerungen zeichnen sich durch eine grosse Heterogenität aus. Eckige Gesteinsbruchstücke bis Blockgrösse sind mit feinerem Material vermischt, wobei die Kornabstufung meist sehr schlecht ist. Dies ist vor allem beim Bergsturzmaterial der Fall.

Offensichtlich fand im Becken von Innertkirchen wie im Trog von Meiringen - Brienzer See eine ausgeprägte, der Abflussenergie entsprechende Sedimentation statt. Kiese und Steine wurden bei der Einmündung in die breiten Talböden abgelagert. Durch die stromabwärts zunehmende Mäandrierung der Flussarme nahm der Geschiebetrieb kontinuierlich ab und es kam zur vermehrten Ablagerung von sandigen und siltigen Materialien, wobei einzelne Hochwasser immer noch Kiese bis in den Brienzer See transportierten. Jedenfalls ist der heutige Geschiebetrieb in der kanalisierten Aare, die ständig Kies ins Brienzer See-Delta führt, nicht mit früheren Verhältnissen vergleichbar. Erstaunlich ist, dass nach der Passage des Beckens von Innertkirchen im oberen Trogteil von Meiringen - Brienzer See noch derart mächtige Kiesdepots möglich waren. Offenbar müssen im Becken von Innertkirchen tiefe Abflussrinnen bestanden haben, die einen grobkörnigen Transport via die alten, heute durch Moräne eingedeckten Aareschluchten im erosionsresistenten Kirchen-Riegel ermöglicht haben.

Dort, wo gut durchlässige Schichten durch ausgedehnte siltige - tonige Lagen unterbrochen werden, kann es innerhalb des Grundwasserleiters zu hydraulischem Stockwerkbau kommen. Dies ist z.B. bei Reichenbach der Fall, wo deutlich zwei Grundwasserstockwerke zu unterscheiden sind.

Die **Durchlässigkeit** der Ablagerungen hängt in erster Linie von ihrem Ton-, Silt- und Sandanteil ab, der das Wasserdurchleitungsvermögen einschränkt. Daneben spielen auch die Lagerungsdichte und Schichtung eine Rolle. Bezeichnenderweise besitzen die grobkiesigen, von Steinen durchsetzten Ablagerungen den grössten Durchlässigkeitsbeiwert. Dieser sogenannte k-Wert, der die Dimension der Geschwindigkeit hat und in der Beilage 1 als Profil-k-Wert die durchschnittliche Durchlässigkeit über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters wiedergibt, stellt eine massgebende Grösse für die Nutzbarkeit des Grundwasserleiters dar (Kap. 9). Er wird in der Regel durch Pumpversuche in verfilterten Bohrungen und Fassungen bestimmt.

Die in den Grundwasserleitern vorgefundenen, sehr unterschiedlichen Durchlässigkeitsbeiwerte illustrieren die geschilderten Ablagerungsverhältnisse recht deutlich. Generell ist mit zunehmendem Silt- und Sandgehalt Richtung Briener See eine Abnahme der Durchlässigkeit erkennbar (Beilage 1), wobei das Hauptbett der früheren Aareläufe recht deutlich zum Ausdruck kommt. Bezeichnenderweise liegt der überwiegende Teil der Grundwasserfassungen in der grünen und blauen Zone, d.h. in den beiden höchsten Durchlässigkeitsklassen der Beilage 1 ($k = 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ bzw. $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s).

Eine wirtschaftliche Grundwasserentnahme setzt auch eine gewisse Mächtigkeit des Grundwasserleiters voraus. Während für eine Einzelversorgung durch einen Sodbrunnen schon wenig mehr als 1 m genügen, werden in der Regel für eine öffentliche Fassung > 5 m vorausgesetzt. Das Produkt aus dem Durchlässigkeitsbeiwert, k , und der Mächtigkeit, m , die sogenannte Transmissibilität, T , entscheidet weitgehend über die Nutzbarkeit des Grundwasserleiters. Sie sollte für eine Hauswasserversorgung oder die Energiegewinnung aus dem Grundwasser mittels Wärmepumpe mindestens eine Grössenordnung von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s erreichen.

Nachstehend sind die hydraulischen Kennwerte der grösseren Fassungen aufgeführt.

Fassung	WEA-Nr.	k (10 ⁻³ m/s)	m (m)	T (10 ⁻³ m/s)
Pfistermatte, Meiringen	656.175/10	2.9	> 21.0	> 60.8
Nervenklinik, Willigen	657.174/14	3.5	> 19.6	> 68.6
Tennishalle, Meiringen	657.174/26	1.5	> 11.6	> 17.4
Schwimmbad, Meiringen	657.175/27	1.6	> 8.2	> 13.1
Hotel Sherpa, Meiringen	657.175/9	0.8	> 8.0	> 6.6
Brügger, Meiringen	657.175/10	1.5	> 10.1	> 15.2
Aarmatte, Meiringen	657.175/15	1.5	> 10.0	> 15.0

Aus der Beilage 1 können die wichtigsten, aus Pumpversuchen bestimmten k-Werte entnommen werden. Resultate aus älteren Dokumenten wurden überprüft und teilweise berichtigt, so dass die vorliegenden Angaben nicht immer mit den Originaldaten übereinstimmen.

Eine weitere hydraulische Grösse des Grundwasserleiters ist die **Porosität**. Dabei muss unterschieden werden zwischen der nutzbaren Porosität und der totalen Porosität eines Gesteins. Siedlungswasserwirtschaftlich ist die nutzbare Porosität von Bedeutung, die angibt, wieviel Porenwasser gemessen am Gesteinsvolumen durch seine eigene Schwerkraft drainiert werden kann (in %). Mit ihrer Hilfe können die nutzbaren Wasserreserven in einem Gesteinsverband berechnet werden. Die nutzbare Porosität, n_n , ist vom k-Wert abhängig, wobei bei einem k-Wert von $> 2 \cdot 10^{-3}$ m/s mit einem n_n -Wert von 12 - 20 % gerechnet werden kann, während bei einem k-Wert von $2 \cdot 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-3}$ m/s der n_n -Wert in der Regel 8 - 12 % beträgt.

5. GRUNDWASSERSTROEMUNG

5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse

Die Grundwasser-Abflussverhältnisse werden vor allem durch die Geometrie, den Aufbau und die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters bestimmt. Einen wesentlichen Einfluss hat jedoch auch der Wasseraustausch des Grundwassers mit der Aare, den Bächen und Kanälen.

Die Beilagen 3 und 4 vermitteln ein Bild des Grundwasserabflusses bei niederem und hohem Grundwasserstand. In beiden Fällen macht sich die seitliche Anspeisung des Grundwassers (Hang- und Karstwasser) durch die Ablenkung der Isohypsen entlang der Grundwasserleiterbegrenzung bemerkbar. Der teilweise intensive Wasseraustausch mit den Oberflächengewässern (Aare, Drainagekanäle) ist durch die meist scharfen Umbiegungen der Isohypsen ersichtlich (Kap. 5.2). Das Grundwasser fließt somit nur in groben Zügen mehr oder weniger parallel zur Talachse.

Das hydraulische Gefälle des Grundwassers ist sehr unterschiedlich. Bei einem mittleren Gradienten von 2.3 ‰, was etwa demjenigen der Aare entspricht, variiert es zwischen < 1 ‰ bei Meiringen und > 10.0 ‰ nordwestlich Innertkirchen. Einerseits wird das Gefälle durch die mit dem Grundwasser kommunizierenden Oberflächengewässer bestimmt, andererseits durch den Abflussquerschnitt und die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. Infolge der hydraulischen Verbindung mit der Aare und den Drainagekanälen haben Querschnittsverengungen und -erweiterungen im Aquifer nur einen gedämpften Einfluss auf das Grundwasserspiegelgefälle.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers, v , verhält sich proportional zum hydraulischen Gradienten, i , und zur Durchlässigkeit, k , des Grundwasserleiters. Zudem ist sie vom effektiven Durchflussquerschnitt im Boden, d.h. von der effektiven Porosität, n_n , abhängig ($v = k \cdot i / n_n$). Während der Gradient den Beilagen 3 und 4 entnommen werden kann und der k -Wert stellenweise aus der Beilage 1 ersichtlich ist, gelten für die Porosität Erfahrungswerte, die mit dem k -Wert gekoppelt sind (vgl. Kap. 4.5). Daraus ergeben sich im Untersuchungsgebiet Fließgeschwindigkeiten in der Grössenordnung von 2 - 6 m/Tag. In den Aareschottern treten jedoch präferenzielle Sickerwege auf, d.h. Schichten oder Rinnen von sehr hoher Durchlässigkeit, sogenannte diakene Horizonte. Diese bestehen praktisch nur aus der Kiesfraktion, da die Feinanteile während der Ablagerung ausgewaschen wurden. In diesen meist geringmächtigen Horizonten beträgt die

Fliessgeschwindigkeit ein Vielfaches der angrenzenden Schichten, d.h. 10 - 50 m/Tag.

5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Aare und Grundwasser

Für die Grundwasserneubildung durch Aareinfiltrat ist die hydraulische Wechselbeziehung zwischen Aare und Grundwasser von grösstem Interesse. In Anbetracht der grossen Abflussmenge der Aare (Kap. 3.3) und den beträchtlichen lang- und kurzfristigen Schwankungen ist es offensichtlich, dass mittels Abflussmessungen in der Aare allfällige In- und Exfiltrationen nicht ermittelt werden können. Der Messfehler würde die Grössenordnung derselben übersteigen. Der Wasseraustausch zwischen Fluss- und Grundwasser kann somit nur indirekt erkannt oder bestimmt werden, einerseits durch das Verhalten des Grundwasserspiegels, andererseits durch qualitative Veränderungen im Grundwasser.

Sofern der wassergesättigte Bodenkörper bis zum Flussbett reicht, sind die Voraussetzungen für eine direkte hydraulische Verbindung zwischen Fluss und Grundwasser erfüllt, es herrscht eine sogenannte angeschlossene Infiltration oder eine Exfiltration vor. Ist der Bodenkörper im Bereich des Flusses nicht wassergesättigt, was entweder auf einen zu grossen Flurabstand oder eine Kolmatierung des Flussbettes zurückzuführen ist, so besteht bestenfalls eine perkolative Infiltration (Versickerung von Aarewasser durch wasserungesättigten Untergrund). Bei einer direkten hydraulischen Verbindung pflanzen sich die hydraulischen, durch Wasserstandsveränderungen im Fluss erzeugten Druckwellen mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 - 60 m/Std. im Grundwasserleiter fort (WEA, 1989). Dabei findet eine starke Dämpfung der Amplitude statt.

Im Becken von Innertkirchen herrscht je nach Wasserstand bis etwa 100 - 200 m unterhalb der Brücke der Staatsstrasse perkolative Infiltration, anschliessend bis etwa zur Einmündung des Gadmenbaches angeschlossene Infiltration vor. Nach einer Uebergangszone von etwa 200 m findet eine kräftige Exfiltration statt (Beilage 3 und 4). Bei Hochwasser der Aare wird die Grenze zwischen In- und Exfiltration stromabwärts verschoben.

Infolge des tiefliegenden Grundwasserspiegels ist nach der Aareschlucht auf einer Strecke von ca. 3.5 km, d.h. bis auf die Höhe von Balm, nur eine perkolative Infiltration möglich. Grundwasserspiegelmessungen und Wasserqualitätsuntersuchungen (Kap. 6) haben gezeigt, dass vor allem östlich der Aarebrücke Willigen-Meiringen eine starke perkolative Infiltration zu verzeichnen ist, die sich vorwiegend

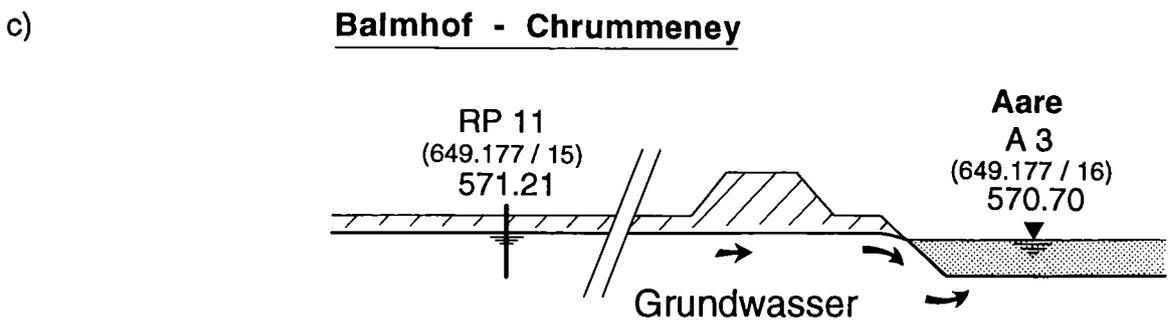
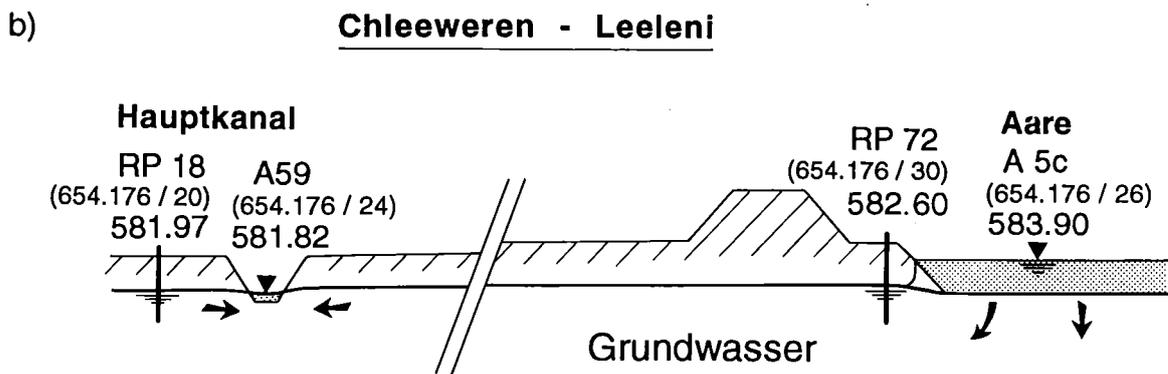
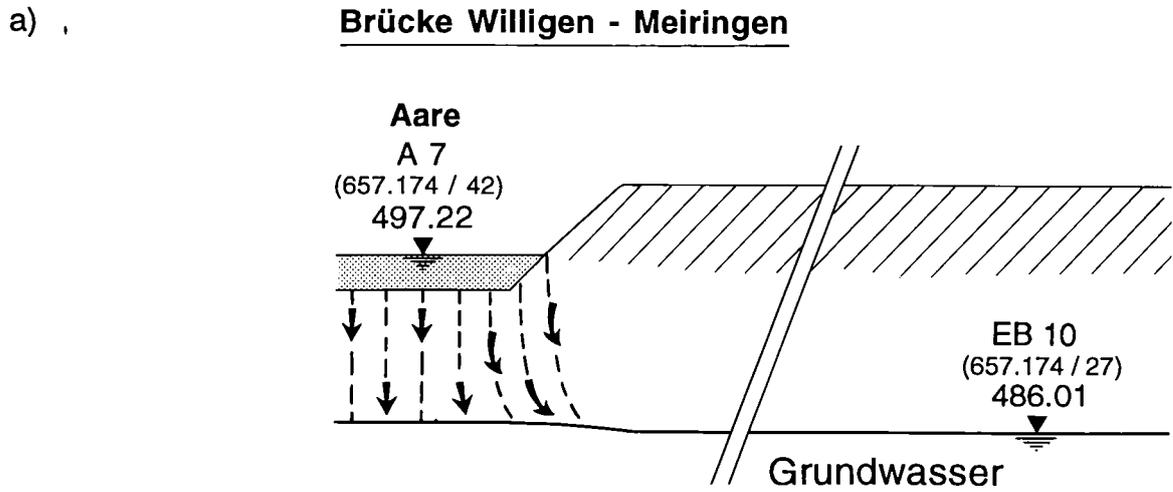
rechtsseitig manifestiert. Dies ist vor allem auf die Erosionskraft der Aare und den kräftigen Geschiebetrieb ausgangs der Aareschlucht zurückzuführen, ist doch das Gefälle der Aare mit 5 - 6 ‰ in der Schlucht etwa doppelt so hoch als stromabwärts von Meiringen. Weiter stromabwärts nimmt die Infiltration deutlich ab und ist infolge der nachstehend beschriebenen Flussbettabdichtung kaum mehr nachweisbar.

Westlich von Hüsen, bis etwa zur Ordinate 653 400 (Unterheid) herrscht eine angeschlossene Infiltration vor. Diese Strecke verlängert sich bei niederem Grundwasserstand um etwa 2 km stromabwärts. Wie die Grundwasserspiegelisohypsen zeigen (Beilage 3 und 4), ist die Flusswasserinfiltration auf diesem Abschnitt sehr eingeschränkt. Von der Wasserlinie am Flussufer fällt der angeschlossene Grundwasserspiegel aussergewöhnlich steil ab. So betrug bei einem eher tiefen Aareabfluss am 30. März 1994 die Differenz zwischen dem unmittelbar am Aareufer befindlichen Piezometer RP 18 und dem Aarepegel A5c bei Chleeweren 1.30 m (Fig. 5.1). Dieser ausserordentliche Steilabfall, wie er z.B. oberhalb der Staustufen von Flusskraftwerken beobachtet werden kann, deutet auf eine starke Abdichtung des Flussbettes hin. Trotz der relativ hohen Fliessgeschwindigkeit der Aare und Hochwässer besteht offenbar eine Kolmation unterhalb der rollenden Flusssohle.

Aufgrund früherer Untersuchungen (WEA, 1981 und 1989) ist bei ähnlichem Sohlengefälle der Aare zwischen Thun und Bern sowie beim Hagneckkanal eine weit weniger grosse Flussbettabdichtung zu beobachten. Dagegen konnte bei der Lütchine im Bördeli - Interlaken trotz ihres beinahe wildbachartigen Abflusses eine ähnliche Feststellung gemacht werden: ".....einzig in vier in Lütchinenähe liegenden Bohrungen konnten mehr als 25 % Flusswasserinfiltrat festgestellt werden" (WEA, 1985, S. 84).

Für diesen Zustand ist offensichtlich die Gletschertrübe verantwortlich, die in den KWO-Retentionsbecken nur teilweise zurückgehalten wird und durch den Pumpspeicherbetrieb ständig zum Abfluss kommt. Massgebend ist die grosse Trübstoffkonzentration, die gemäss kantonalem Gewässerschutzlabor im Jahr 1991 in der Aare bei Meiringen durchschnittlich 66 mg/l betrug, gegenüber 15 mg/l in der Aare bei der Elfenau in Bern. Wichtig ist dabei der Umstand, dass infolge des Kraftwerkbetriebs die Aare bei jedem Abfluss eine beträchtliche Trübung aufweise. Inwiefern die nur selten, d.h. alle 10 - 20 Jahre, ausgeführten Grundablassspülungen mit extrem erhöhter Schwebstofffracht eine Rolle spielen, ist nicht bekannt. Da bis Innertkirchen nur das Restwasser zum Abfluss kommt, also kein turbiniertes,

Figur 5.1 Wasseraustausch zwischen Aare und Grundwasser, schematische Querschnitte



- a) perkolative Infiltration
- b) angeschlossene Infiltration
- c) Exfiltration

schwebstoffreiches Wasser, ist die relativ starke Flusswasserinfiltration im Becken von Innertkirchen nicht erstaunlich (Kap.8).

Im anschliessenden Gebietsabschnitt bis zum Briener See ist ausschliesslich die Exfiltration vorherrschend, d.h. das Grundwasser strömt beidseitig der Aare zu. Da das Grundwasser durch die Flusssohle einströmt, ist auf diesem Abschnitt nur eine beschränkte Flussbettkolmation möglich.

Je nach Wasserstand wechselt somit zwischen Unterheid und Unterbach die Wasseraustauschtendenz zwischen Aare und Grundwasser, die "Scharnierstelle" kann sich hinauf und hinunter verschieben. (Im WEA-Zwischenbericht vom 25.08.1992 wurde auf S. 35 sowie auf der Beilage 3, zwischen Hüsen und Unterbach aufgrund der wenigen Abstichpunkte, die zu diesem Zeitpunkt vorlagen, die Beziehung zwischen Aare und Grundwasser irrtümlicherweise anders interpretiert).

Sofern beidseits der Aare ein ausgeprägter, gleichgerichteter Wasseraustausch stattfindet (In- oder Exfiltration), wirkt der Fluss in hohem Mass als hydraulische Barriere, d.h. er wird nicht unterströmt, ein Umstand, der namentlich für die Ausbreitung von im Grundwasser gelösten Schadstoffen bedeutend ist. Dabei spielt es keine Rolle, ob eine angeschlossene oder perkolative Infiltration vorliegt. Dies ist auf der gesamten Flussstrecke mit folgenden Ausnahmen der Fall:

- Uebergang zwischen In- und Exfiltration bei Innertkirchen im Bereich der Einmündung des Gadenwassers auf ca. 300 - 400 m Länge.
- Ca. 1.5 km langer Abschnitt zwischen den Aarebrücken von Willigen und Balm.
- Die etwa 2 km lange "Scharnierstelle" zwischen Unterheid und Unterbach.

5.3 Entwässerungen

Dort wo der Flurabstand meist geringer ist als zwei Meter ist (Fig. 4.4), d.h. stromabwärts von Hüsen, besteht bis zum Briener See ein ausgedehntes Entwässerungssystem, das einen sehr stabilisierenden Einfluss auf die Grundwasserspiegelschwankungen ausübt. Dieses ist sehr stark verzweigt und verfügt in der Regel über Sekundär- und Tertiärstränge. Letztere haben einen Drainabstand von ca. 12 - 25 m. (Der Zustand des Entwässerungsnetzes ist nicht direkt kontrollierbar. Aufgrund der sichtbaren Wirksamkeit und der Abflussmessungen (Tab. 8.1 - 8.3) müssen sich die Drainageleitungen jedoch in einem funktionstüchtigen Zustand befinden.)

Zwischen Hüsen und Junzlen ist der Hüsenbach für das Entwässerungssystem Vorfluter, der bei der Ordinate 653 250 in die Aare mündet und ebenfalls das Ueberlaufwasser der Funtenenquelle abführt. Obwohl die Baggerseen bei Junzlen keine Ableitung besitzen, üben sie trotzdem eine bescheidene drainierende Wirkung auf das Grundwasser aus, indem ihre Verdunstung grösser ist als die kapillar bedingte Evapotranspiration in den Deckschichten. Dies umsomehr, als diese in der Umgebung häufig grobkörnig ausgebildet sind (geringes kapillares Steigvermögen).

Auf der linken Talseite bilden der in den Briener See mündende Hauptkanal mit seinen Seitenkanälen sowie die aareparallelen Kanäle stromabwärts von Chrummeney die Vorfluter. Das Gebiet Locheren jedoch wird beim Strassenauslenker Balmhof (Station Brienzwiler) direkt in die Aare entwässert. Die ausgeführten Abfluss- und Wasserstandsmessungen zeigten indessen, dass dort bei höherem Wasserstand der Aare ein Rückstau in der Abflussleitung entsteht und im Extremfall sogar Aarewasser ins Entwässerungssystem strömt.

5.4 Grundwasserspiegelschwankungen

5.4.1 Allgemeines

Der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels während den Jahren 1992 und 1993 kann der Figur 5.2 und der Tabelle 5.1 entnommen werden. Verglichen mit den Schwankungen des Aarespiegels, der bei der Station Brienzwiler während dieser Zeitspanne 4.06 m (Tagesmittel 2.20 m) betrug, sind namentlich folgende Feststellungen interessant:

- Die grössten Grundwasserspiegelschwankungen sind in den Gebieten zu verzeichnen, wo keine direkte hydraulische Beziehung zwischen Aare und Grundwasser besteht (grosser Flurabstand, perkolative Infiltration), d.h. namentlich zwischen Aareschlucht und Balm (max. > 5 m).
- Die geringsten Schwankungen des Grundwasserspiegels sind, wie schon angedeutet, in drainierten Gebieten sowie in Gebieten mit Exfiltration zu beobachten.
- Die Entfernung der Aare scheint auf die langfristigen Schwankungen des Grundwasserspiegels keinen wesentlichen Einfluss auszuüben (Kap. 5.4.3).
- Unverkennbar ist der periphere Einfluss von Hang- und Karstwasserzuflüssen (Fluktuationsanstieg).
- Die Ausbildung der Deckschichten scheint auf die Dauer keine augenfällige Auswirkung zu besitzen (Beilage 1).

Die bei den instrumentierten Beobachtungsstellen registrierten maximalen Wasserspiegelschwankungen sind aus der Tabelle 5.1 ersichtlich. Bemerkenswert sind die sehr geringen Grundwasserspiegelschwankungen (0.65 - 0.70 m), die in den Naturschutzgebieten Wychel (Drainage, Exfiltration) und Junzlen (Drainage) gemessen wurden. Beim Naturschutzgebiet Jägglisglunte war dagegen infolge fehlender sekundärer Drainageleitungen die Amplitude mit 1.31 m etwa doppelt so hoch.

Es ist naheliegend, dass bei einem Flurabstand von < 2 m der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels vor allem für die Landwirtschaft von grosser Bedeutung ist. Da in diesen Gebieten, d.h. vor allem zwischen Hüsen und Brienzler See, die Deckschichten häufig siltig (lehmig) ausgebildet sind (Beilage 1), gewährleisten die kapillaren Kräfte zumindest bei Mittelwasserstand einen Flüssigkeitsnachschub

Tabelle 5.1: Schwankungsbereich des Grundwassers und der Oberflächengewässer bei den instrumentierten Beobachtungsstellen

Messstelle	WEA-Nr.	Periode	Maximum		Minimum		Amplitude [m]
			[mü.M.]	(Datum)	[mü.M.]	(Datum)	
a) Grundwasser							
P1, Wychel	659/173.39	1992 - 1993	616.82	(11.07.93)	616.17	(07.03.93)	0.65
RB3, Willigen	657/174.14	1989 - 1993	590.41	(06.12.92)	584.87	(02.'90)	5.54
		1992 - 1993	590.41	(06.12.92)	585.30	(14.03.93)	5.11
Aarmatte, Meiringen	656/175.06	1989 - 1993	588.65	(02.12.92)	583.98	(02.'90)	4.67
		1992 - 1993	588.65	(02.12.92)	584.44	(13.03.93)	4.21
Feldli, Meiringen	656/175.07	1989 - 1993	587.92	(30.11.92)	583.69	(02.'90)	4.23
		1992 - 1993	587.92	(30.11.92)	584.16	(12.03.93)	3.76
KB4, Balm	654/175.13	1992 - 1993	585.11	(27.11.92)	583.86	(11.03.93)	1.25
P4, Junzlen	653/177.13	1992 - 1993	581.27	(22.11.92)	580.57	(10.03.93)	0.70
P6, Unterbach	650/177.19	1992 - 1993	572.25	(26.11.92)	570.65	(10.03.93)	1.60
P5, Jägglisglunte	647/176.36	1992 - 1993	566.12	(22.11.92)	564.81	(10.03.93)	1.31
b) Oberflächengewässer							
Aare, Brienzwiler (LHYG)	649/177.16	1954 - 1993	573.48	(07.1977)	569.11	(01.'86)	4.37
		1992 - 1993	573.29	(24.09.93)	569.23	(27.02.93)	4.06
Hüsenbach, Junzlen	653/177.03	09.'92-10.'93	580.88	(25.09.93)	579.53	(08.03.93)	1.35
Hauptkanal, Stägmatten	647/176.24	1993	565.44	(24.06.93)	564.37	(06.03.93)	1.07
Brienzersee, Ringgenberg	Stat. LHYG	1941 - 1993	565.01	(08.1987)	562.53	(03.'44)	2.48
		1992 - 1993	564.63	(24.06.93)	563.09	(15.02.93)	1.54

zwischen Grundwasser und Wurzelzone. Ein Umstand, der bei zu hohem Wasserstand zu Versumpfungen führen kann. Dabei ist klar zwischen schlechtem Oberflächenabfluss (Mulden) und Wassernachschub aus der Tiefe zu unterscheiden. Dort wo die Deckschichten jedoch vorwiegend sandig - kiesig sind, d.h. im Bereich alter Flussläufe, erreicht die kapillare Steighöhe nur wenige Dezimeter. Bei diesen Zonen spielt die Grundwasserfluktuation eine untergeordnete Rolle, solange der Grundwasserspiegel ständig > 1.0 m unter der Oberfläche liegt (z.B. für die Graswirtschaft).

5.4.2 Ursachen

Die Grundwasserspiegelschwankungen werden einerseits durch die Zu- und Abflüsse verursacht (Wassertransport), andererseits durch die hydraulische Fortpflanzung von Druckwellen (Druckausgleich). Während Druckwellen, z.B. ein vorübergehendes Aarehochwasser, den Grundwasserspiegel nur vorübergehend (Stunden) zu beeinflussen vermögen, hat der Wassertransport eine nachhaltigere Auswirkung auf die Lage des Grundwasserspiegels (Wochen, Monate).

Ein Beispiel zur Druckwellenfortpflanzung ist aus Figur 5.3 ersichtlich. Die täglichen 0.6 - 0.9 m starken Aarespiegelschwankungen verursachen im Piezometer P 1 (659/173.39) im Naturschutzgebiet von Wychel bei Innertkirchen, 110 m von der Aare entfernt, Grundwasserspiegelfluktuationen in der Grössenordnung von nur 5 cm. Die anderen aufgeführten Piezometer reagieren noch weniger stark, P 4 (653/177.13) 2 - 3 cm, oder gar nicht. Der Druckausgleich zur Aare hat somit im Untersuchungsgebiet einen geringen Einfluss auf den Grundwasserspiegel. Massgebend ist vielmehr die Wasserzu- und abfuhr.

Das Grundwasser kann durch Niederschläge, Karstwasser, Hangwasser, die Aare und weitere Oberflächengewässer angespiesen werden. Aus verschiedenen Gründen, namentlich jedoch wegen des geplanten Pumpspeicherwerkes der Kraftwerke Oberhasli (Kap. 7), ist es wichtig zu wissen, welche Rolle vor allem der Aare zukommt. Aufgrund der lückenlosen Aufzeichnung von acht über den gesamten Talboden verteilten Grundwasser-Limnigraphen, der SMA-Station Meiringen (Niederschlag, Temperatur) und der LHG-Abflussmessstation an der Aare (Brienzwiler) wurden diese hydrologischen Beziehungen analysiert.

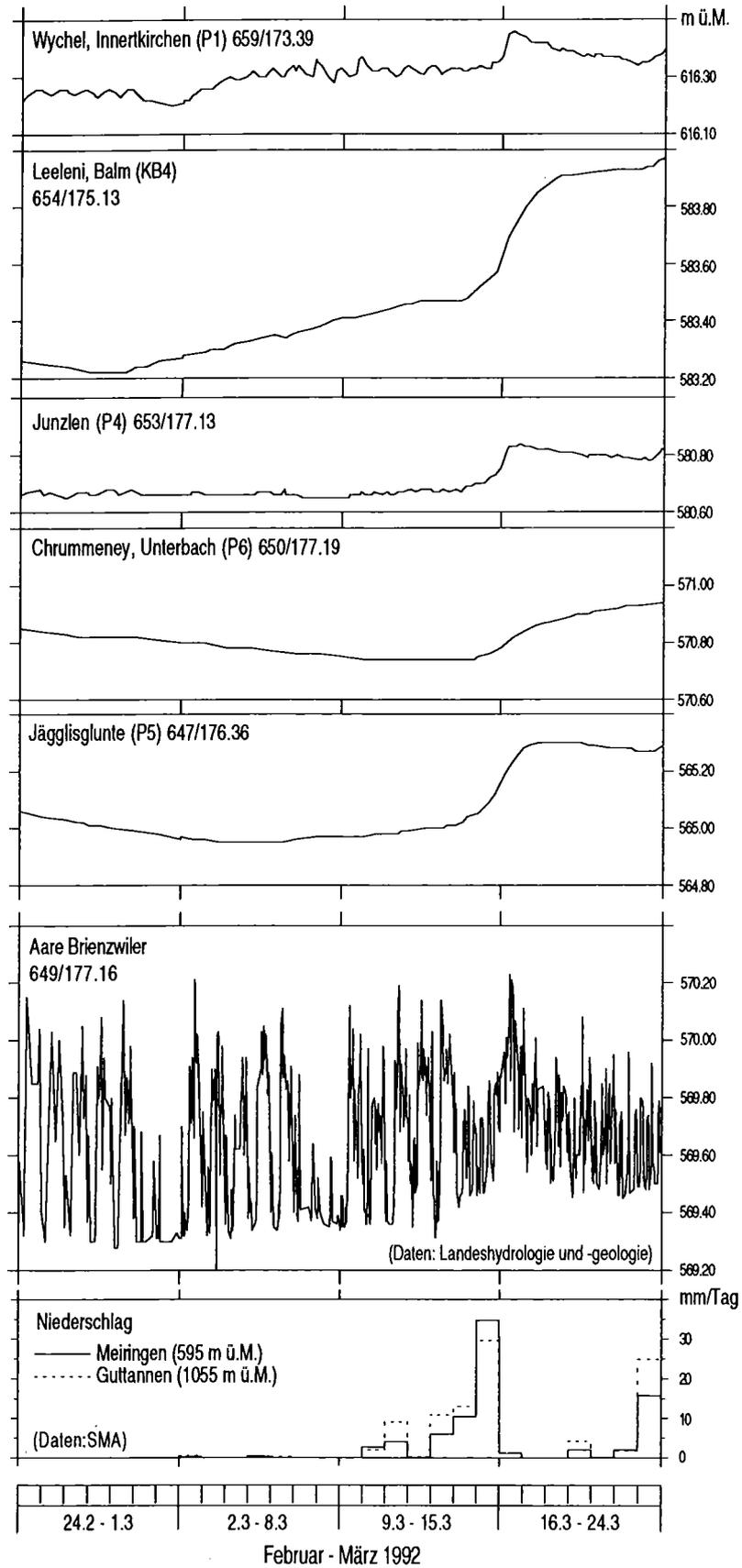
5.4.3 Einfluss der Aare

Da die Aare reguliert wird und somit eine eigene Abflusscharakteristik aufweist, die nur in grossen Zügen dem Niederschlagsgeschehen entspricht (Fig. 3.1), ist es relativ einfach, nicht aarespezifische Grundwasserspiegelschwankungen zu ermitteln. Dazu wurden die Verhältnisse im Februar und März 1992 mit einer ausgedehnten Trockenperiode (18.2. bis 8.3.92) und einer Niederschlagsspitze > 30 mm (15.3.92) ausgewählt sowie die aussagekräftigen Zeiträume während der Schneeschmelze Februar - Juni 1992 und 1993.

Für die Periode vom 24.2. - 24.3.1992 fallen folgende Beziehungen auf (Fig. 5.3):

- Aare: Geringer (regulierter) Abfluss an Wochenenden, täglich niederschlagsunabhängig Abflussspitzen, kräftige Niederschläge, die den Minimalabfluss beeinflussen.
- P 1, 659/173.39 (Naturschutzgebiet Wychel, Innertkirchen, 110 m von der Aare entfernt, Flurabstand ca. 0.9 m): Geringe Reaktion auf Niederschläge und/oder Aarestand, abgesehen von Druckwellen, gesamter Schwankungsbereich (Δh) < 25 cm.
- KB 4, 654/175.13 (Balm, Leeleni, 280 m von der Aare entfernt, Flurabstand ca. 2.5 m): Starker Anstieg durch Schneeschmelze (Karst- und Hangwasserzufuhr) sowie durch Niederschläge, keine eindeutige Beziehung zur Aare erkennbar, Δh 75 cm.
- P 4, 653/177.13 (Naturschutzgebiet Junzlen, 40 m von der Aare entfernt, Flurabstand ca. 1.4 m): Sehr geringe Reaktion auf Aare und/oder Niederschläge, Δh < 25 cm.
- P 6, 650/177.19 (Chrummeney, Unterbach, 330 m von der Aare entfernt, Flurabstand ca. 2.7 m, Draingebiet): Langsames Absinken des Grundwasserspiegels infolge Trockenheit, sehr gedämpfter Anstieg infolge kräftiger Niederschläge, kein Aareinfluss erkennbar, Δh < 25 cm.
- P 5, 647/176.36 (Naturschutzgebiet Jägglioglunte, Stägmatten, 370 m von der Aare und 40 m vom Hauptkanal entfernt neben altem Aarelauf, Flurabstand ca. 2.7 m): Trockenheitsbedingtes Absinken des Grundwasserspiegels, anschliessend

Figur 5.3 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, KB4, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom 24. Februar bis 24. März 1992



leichter Anstieg infolge Schneeschmelze, kräftige Reaktion auf Niederschläge, keine eindeutige Beziehung zur Aare, aber vermutlich zum Hauptentwässerungskanal, Δh ca. 35 cm.

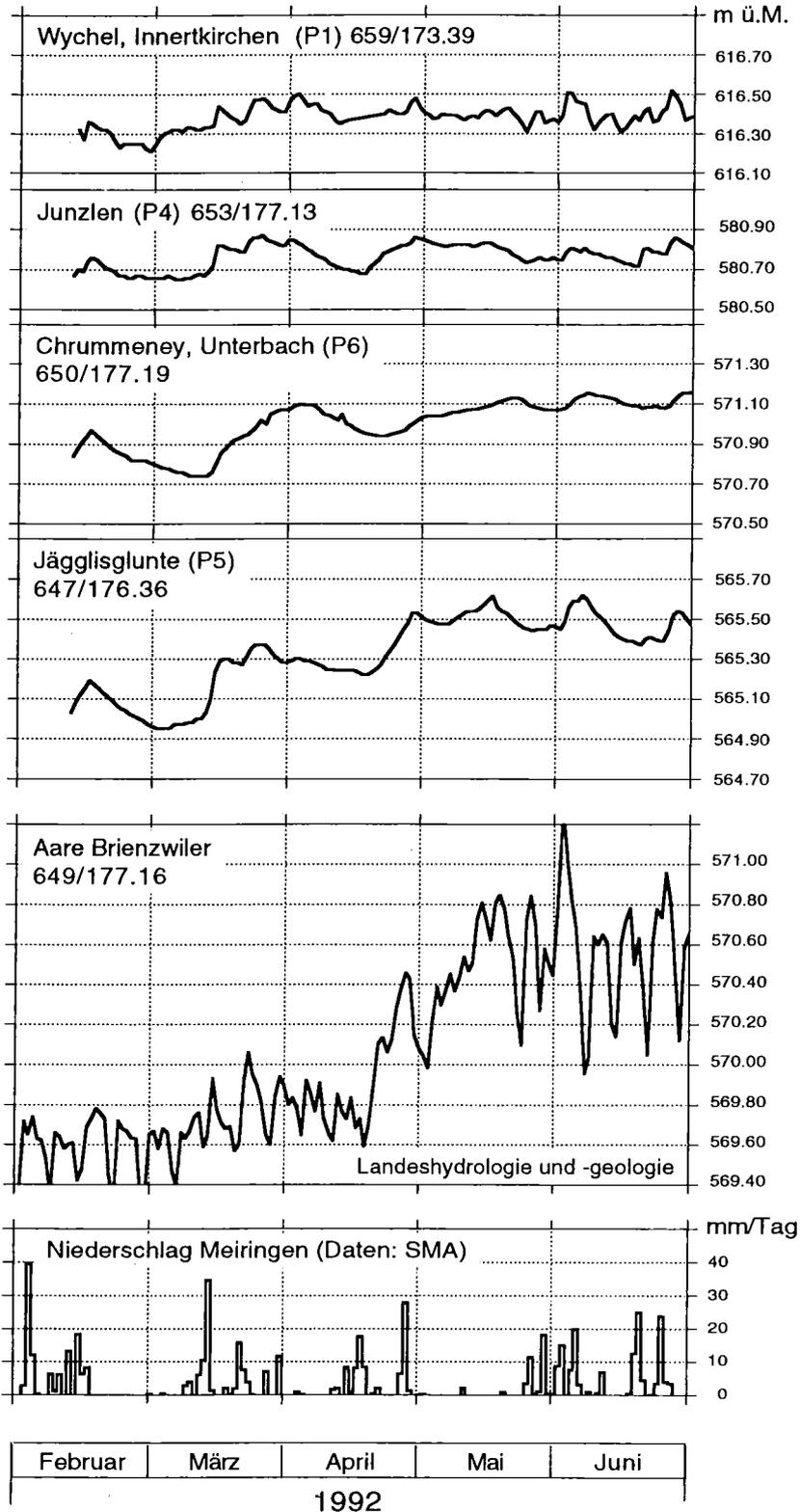
Die im Zeitraum Februar bis Juni 1992 und 1993 gemessenen Tagesmittel lassen folgende Interpretation zu (Fig. 5.4 und 5.5):

- Aare: Regulationsbedingte Minima an Wochenenden sowie vorwiegend durch Schneeschmelze ausgelöste abrupte (1992) (ab Mitte April 1992 stieg die Lufttemperatur auf 2150 m ü.M. rasch auf über 0°C) bis allmähliche (1993) Wasseranstiege ab Mitte April (1992) und März (1993), gesamter Schwankungsbereich (Δh) 1.95 m (1992), 1.85 m (1993).
- P 1: Keine ausgeprägte, aber doch eine eindeutig nähere Beziehung zum Niederschlag als zur Aare, Δh ca. 35 cm (1992), ca. 55 cm (1993).
- P 4: Verhält sich ähnlich wie P 1, jedoch mit einer noch geringeren Aarebeziehung, Δh ca. 25 cm (1992), ca. 45 cm (1993).
- P 6: Sehr ähnlicher Verlauf des Grundwasserspiegels wie bei P 4, nur dass die Amplituden grösser sind. Eine Affinität zur Aare ist kaum erkennbar, namentlich 1993 nicht, Δh ca. 40 cm (1992), ca. 65 cm (1993).
- P 5: Diese Beobachtungsstation zeigt die gleichen Fluktuationen wie die vorangehenden Punkte, nur viel ausgeprägter. 1993 ist keine Beziehung zur Ganglinie der Aare ersichtlich, Δh ca. 70 cm (1992) bzw. ca. 100 cm (1993).

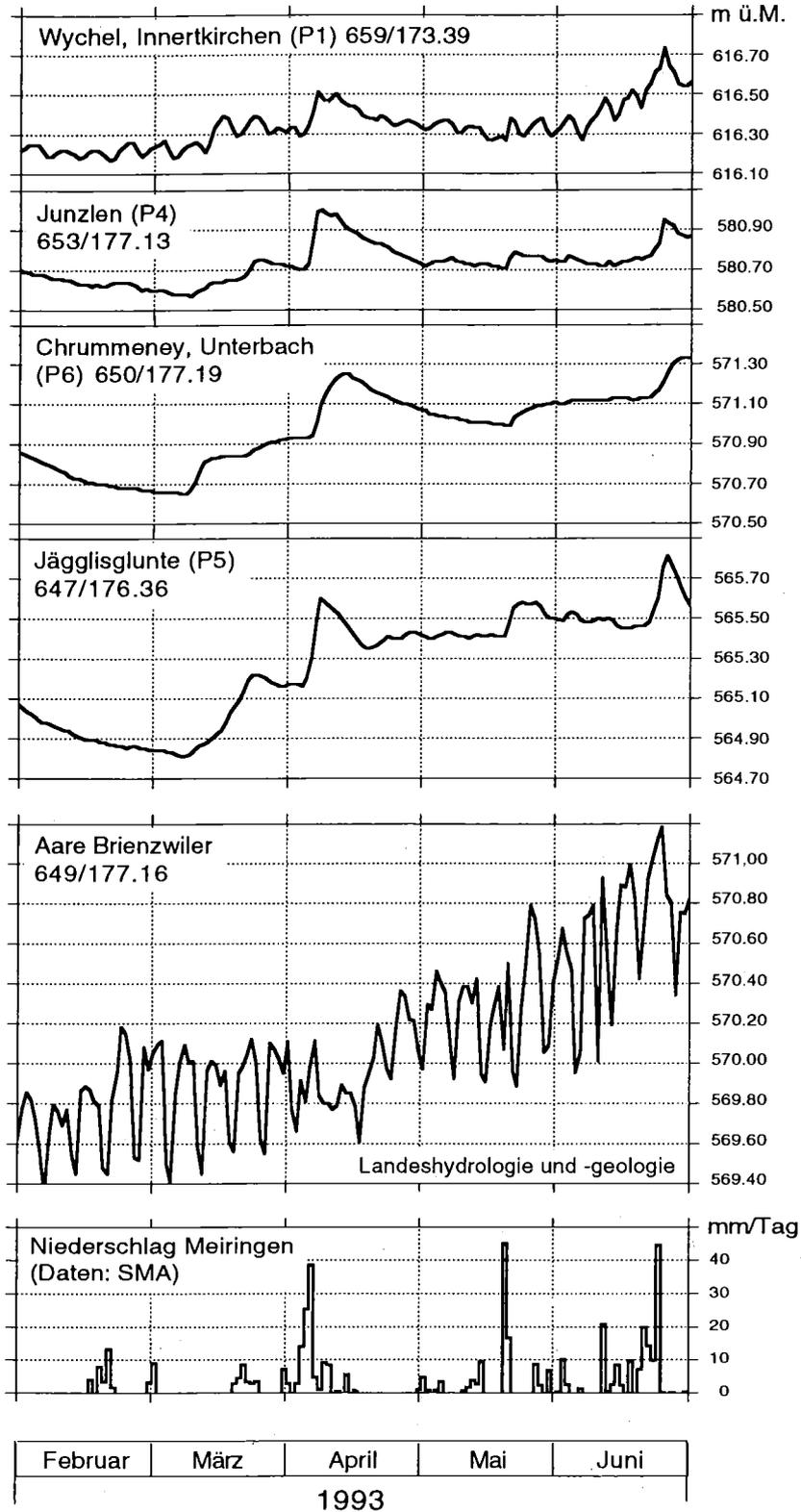
Die Grundwasserspiegel-Ganglinien der nachfolgenden vier Beobachtungspunkte im Raum Meiringen-Willigen - Balm verlaufen sehr ähnlich (Fig. 5.6 und 5.7):

- RB 3, 657/174.14 (Willigen, Aareentfernung 280 m, Flurabstand ca. 7 m).
- Aarmatte, 656/175.6 (Meiringen, Aareentfernung 190 m, Flurabstand ca. 9.0 m).
- Feldli, 656/175.7 (Meiringen, Aareentfernung 560, Flurabstand ca. 8.0 m).
- KB 4, 654/175.13 (Balm, Leeleui, Aareentfernung 280 m, Flurabstand ca. 2.5 m).

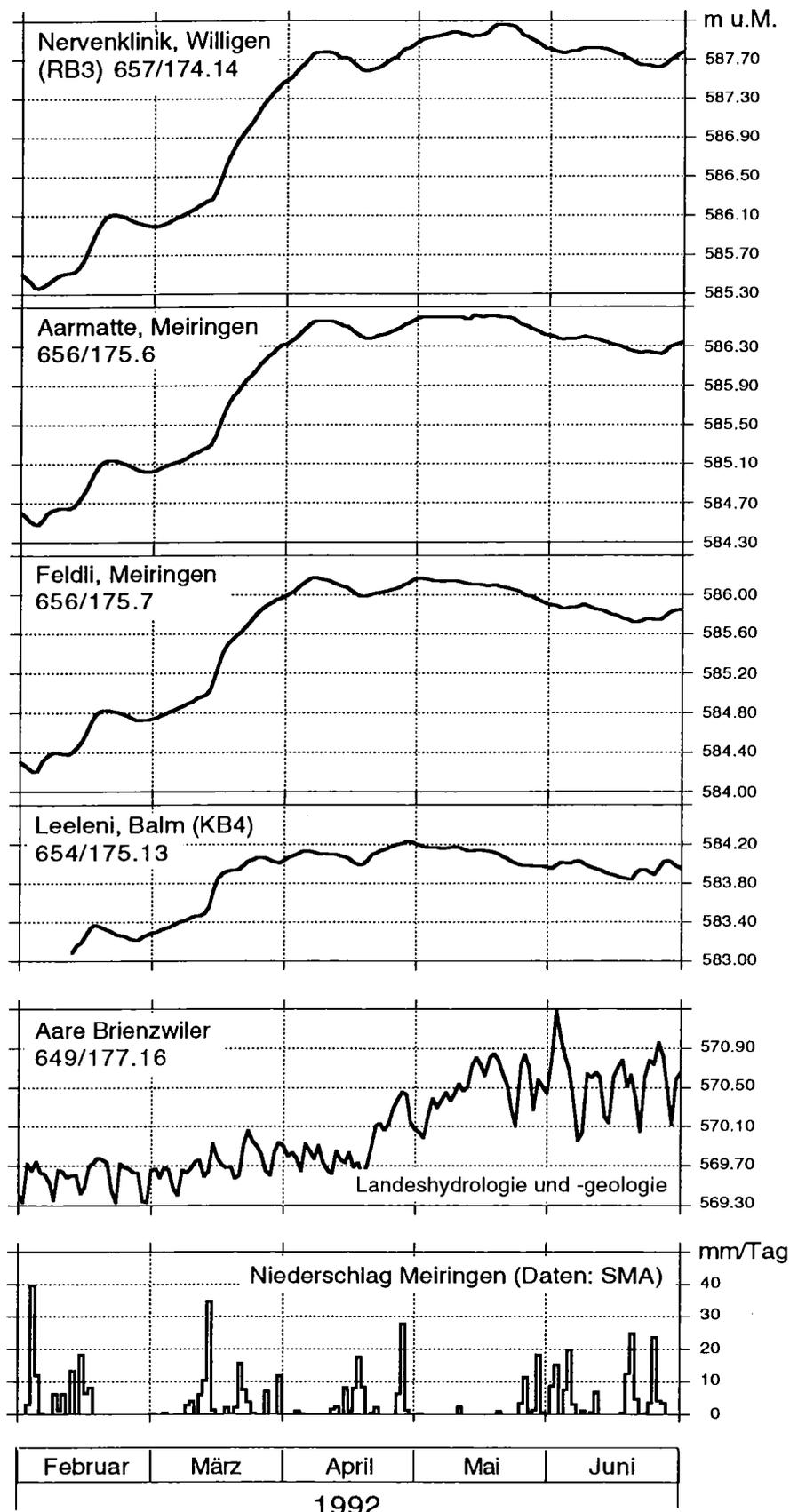
Figur 5.4 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1992 (Tagesmittel)



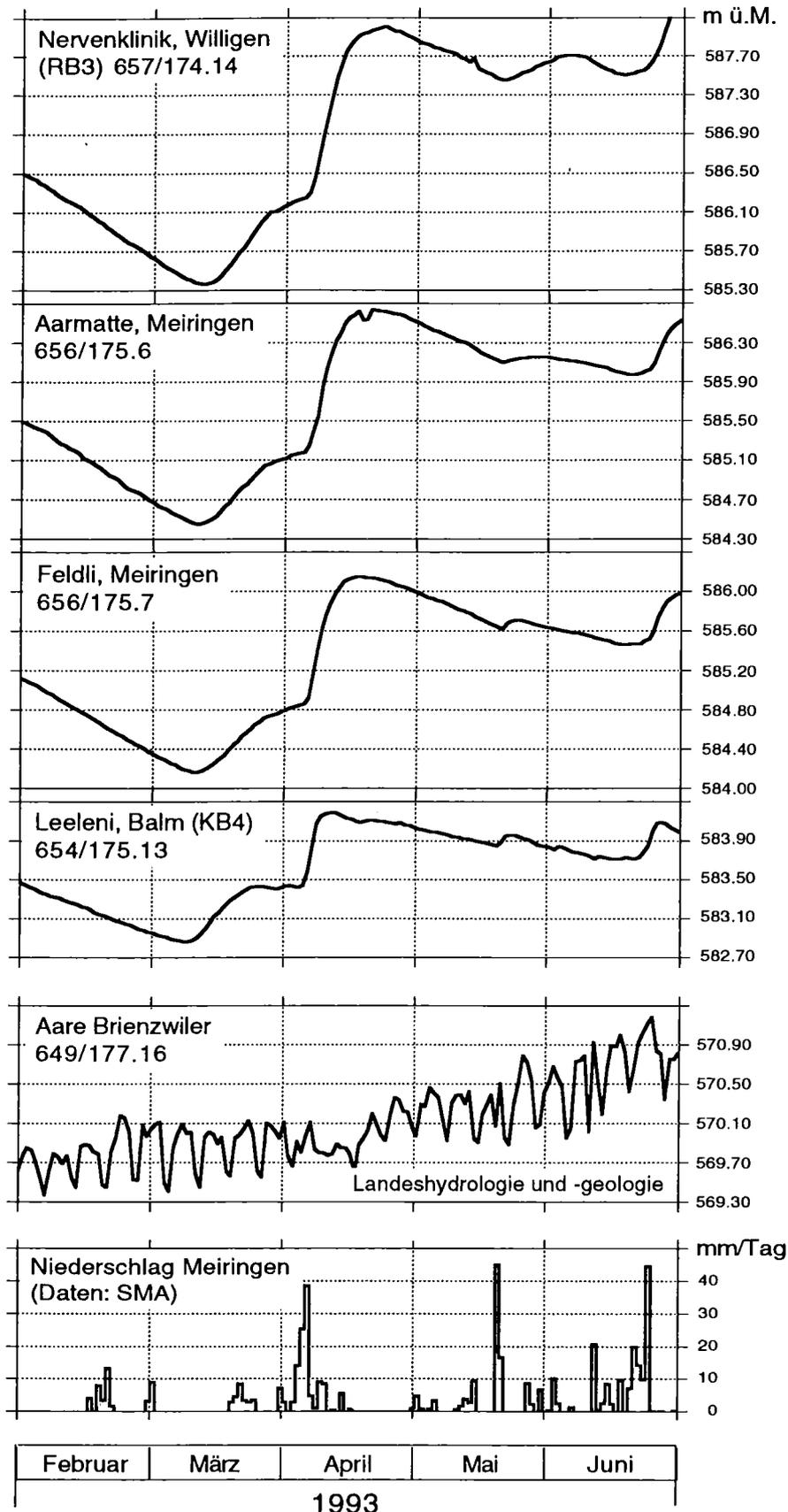
Figur 5.5 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen P1, P4, P6, P5 und der Aare sowie die Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1993 (Tagesmittel)



Figur 5.6 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen RB3, Aarmatte, Feldli, KB4 und der Aare sowie Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1992 (Tagesmittel)



Figur 5.7 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen RB3, Aarmatte, Feldli, KB4 und der Aare sowie Niederschlagshöhen vom Februar bis Juni 1993 (Tagesmittel)



Sie weisen keine Beziehung zum Aarestand auf, sondern widerspiegeln vielmehr den Einfluss der Niederschläge, Schneeschmelze und teilweise der Karstwasserzutritte. Bemerkenswert sind namentlich der Grundwasserspiegelanstieg im März 1992 um 60 - 80 cm, während der markante Frühjahrsanstieg der Aare erst ab Mitte April erfolgte. Ähnlich verhält es sich mit dem markanten Anstieg des Grundwasserspiegels im März/April 1993 um 130 bis 260 cm, währenddem die Aare kontinuierlich nur ca. 40 cm ansteigt.

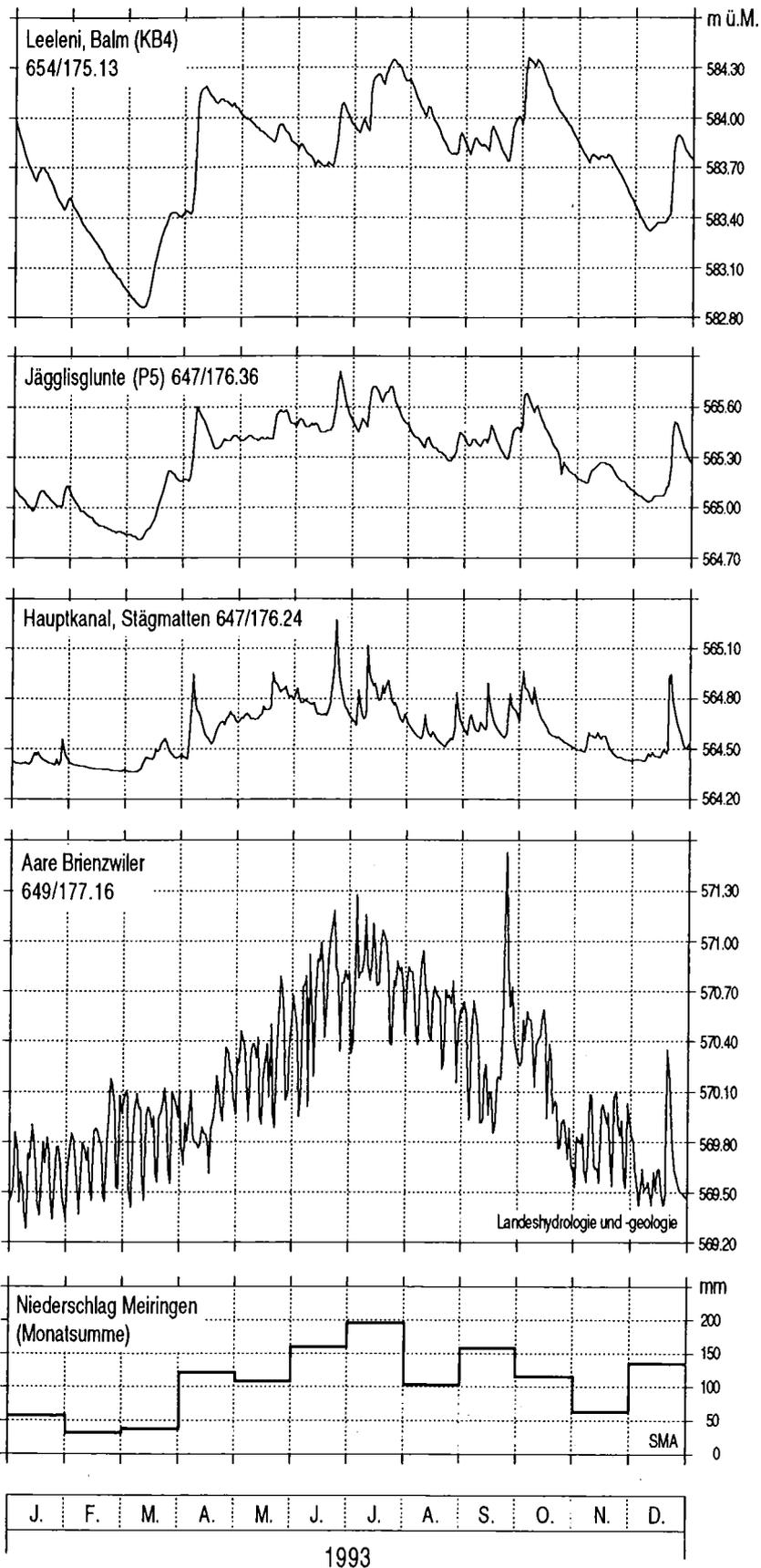
Ein Vergleich der Ganglinien der gesamten Jahre 1992 und 1993 untereinander (Fig. 3.1 und 3.2) bekräftigen die obigen Feststellungen.

Der Einfluss der Aare auf den Hauptkanal ist aus der Figur 5.8 ersichtlich. In dieser Darstellung wurden die beiden neben dem Kanal befindlichen Grundwasserbeobachtungsstellen KB4 am Kanalbeginn und P5 am Kanalenende einbezogen. In Anbetracht, dass der Kanal auch Bach- und Niederschlagswasser abführt, ist die Affinität zwischen P5 und Hauptkanal bemerkenswert. Auch zu KB4 besteht eine eindeutige Beziehung. Dagegen ist der Einfluss der Aare auf den Kanal nicht klar ersichtlich. Vielmehr scheint das Niederschlagsgeschehen einen gewissen Zusammenhang zwischen den beiden Gewässern vorzutäuschen. Auffallend ist vor allem die Diskrepanz im April und Juni. Der Hauptkanal wird eindeutig und vorwiegend durch Grundwasser gespeist. Obschon er im Infiltrationsabschnitt der Aare zwischen Ey und Schwarzeney in 200 - 300 m Entfernung und während ca. 2 km dem Flusslauf folgt, wird der Aarestand kaum auf den Hauptkanal (via Grundwasser) übertragen.

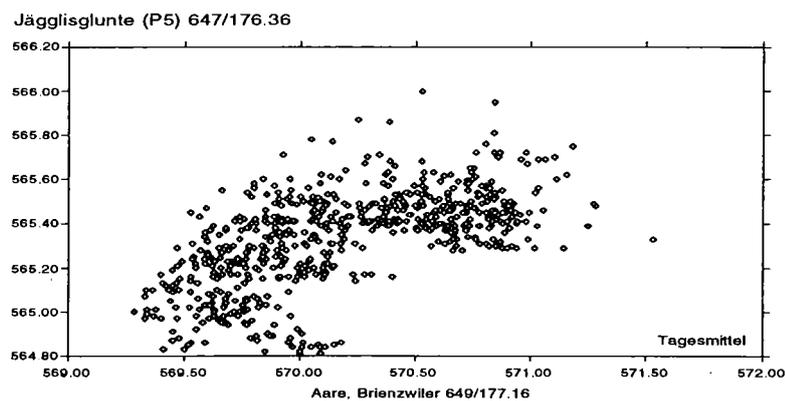
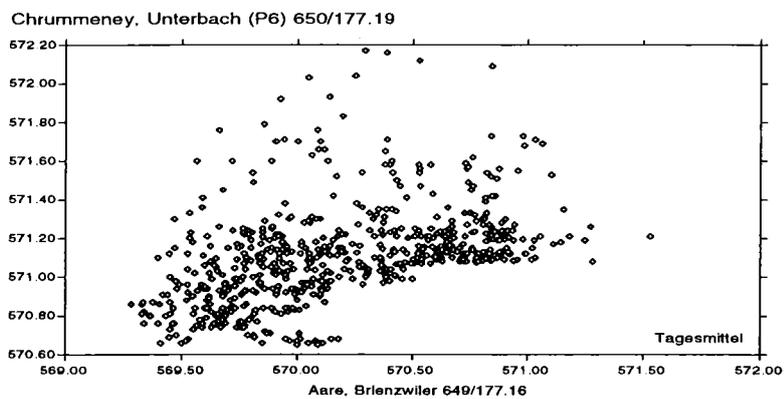
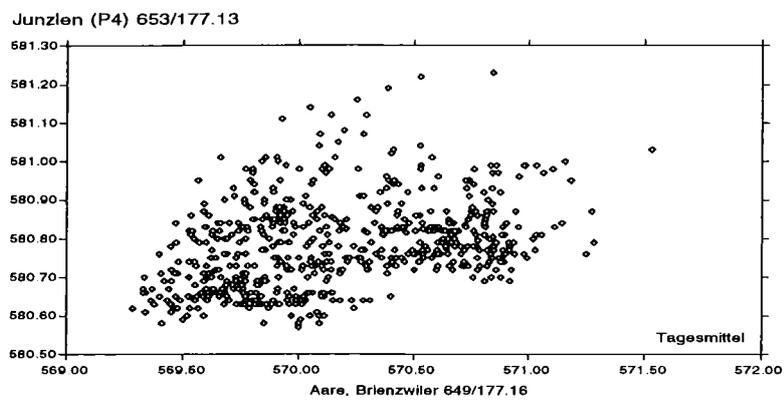
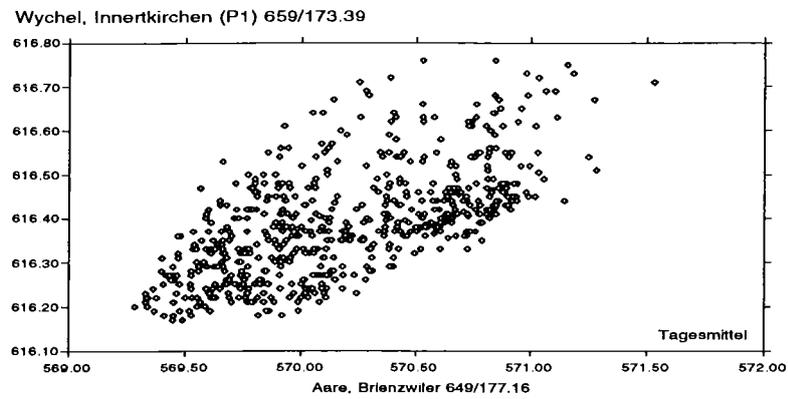
Obwohl bei einem Vergleich zwischen Aare- und Grundwasserstand eine zeitliche Verzögerung zu berücksichtigen ist, müsste eine Korrelation dieser Wasserstände mit mehreren hundert Wertpaaren trotzdem gemeinsame Beziehungen aufdecken. Die Ergebnisse einer derartigen Analyse sind aus Figur 5.9 ersichtlich. Die Korrelation zwischen der Aare und P1, P4, P6 und P5 ist, wie nicht anders zu erwarten war, schlecht. Die ansteigende Tendenz ist teilweise auf den direkten Einfluss der Niederschläge zurückzuführen. Damit werden die vorangehenden Ausführungen erhärtet.

Alle bisherigen Vergleiche zwischen Grundwasser und Aare hatten vor allem zum Ziel, die Rolle der Aare als Infiltrant für die Grundwasserneubildung zu überprüfen. Dagegen ist sie auch Vorfluter, und ist in dieser Eigenschaft für den Grundwasserstand in unmittelbarer Flussnähe der Exfiltrationsabschnitte bestimmend (vgl. auch Kap. 7 und 8). Von den bisher einbezogenen Messstellen war nur P1 (Wychel, Innertkirchen) in einem eindeutigen Exfiltrationsgebiet der Aare. Allerdings

Figur 5.8 Wasserspiegelschwankungen in Bohrungen KB4, P5, Hauptkanal Stägmatten, Aare sowie Niederschlagshöhen für das Jahr 1993

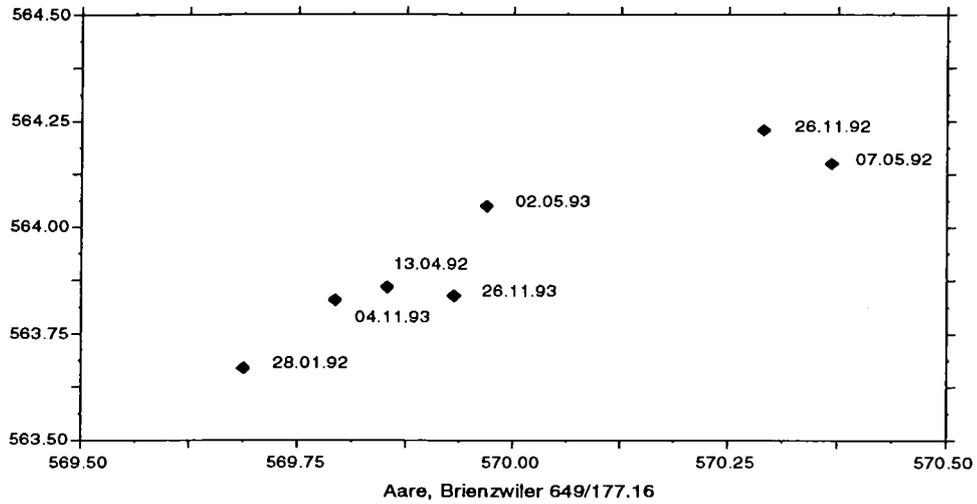


Figur 5.9 Korrelation der Wasserstände der Aare mit den Grundwasserspiegeln von Bohrung P1, P4, P6 und P5 für die Jahre 1992 und 1993 (Tagesmittel)

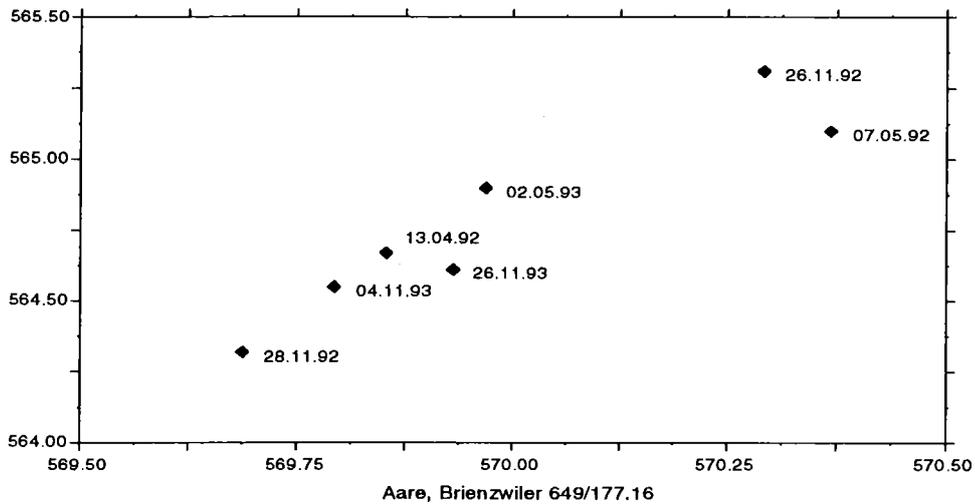


Figur 5.10 Korrelation des Aarestandes mit den Grundwasserspiegeln der Piezometer RP2, RP31 und RP5 im Exfiltrationsgebiet Stägmatten (Tagesmittel)

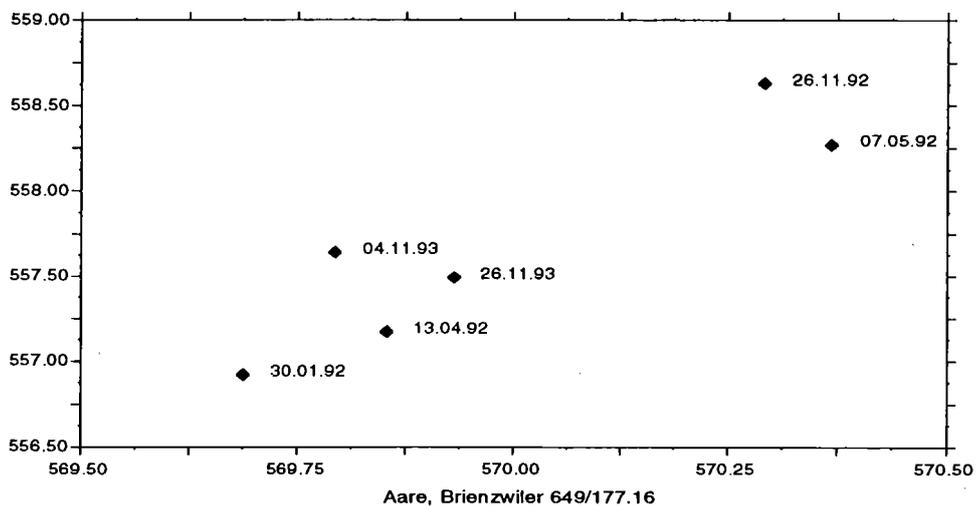
Wychemmatten, Brienz (RP2) 646/176.43



Stägmatten, Brienz (RP31) 647/176.10



Louwimatten, Brienz (RP5) 647/177.15



reagierte dieser Punkt, 110 m von der Aare entfernt, infolge des relativ starken Grundwasserspiegelgefälles sehr gedämpft auf den Aarestand (Fig. 5.3 und 5.9). Im extremen Exfiltrationsgebiet vor der Mündung in den Briener See zeigen die zwischen 50 und 90 m von der Aare entfernten Piezometer RP31 und RP5 dagegen eine enge Beziehung zwischen Grundwasser und Aarespiegel (Fig. 5.10). Auch der neben der Aaremündung in Briener See-Nähe liegende RP2 weist zwangsläufig eine gute Korrelation auf.

6. WASSERQUALITAET

6.1 Allgemeines

Gesamthft wurden drei grössere Probeerhebungskampagnen bei verschiedenen Wasserständen und zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt:

28. - 29. Januar 1992	42 Proben
3. - 7. Juli 1992	64 Proben
26. - 28. Oktober 1993	59 Proben

Davon entfielen 135 Proben auf das Grundwasser und 30 auf Oberflächengewässer.

In den neu abgeteuften Bohrungen KB1 - KB7 sowie P1 - P10 wurden noch zusätzliche Proben für detaillierte Analysen erhoben. Für verschiedene Detailuntersuchungen wurden daneben einige kleinere Kampagnen durchgeführt. Aus früher ausgeführten Sondierbohrungen, privaten und öffentlichen Fassungen standen weitere Analysen zur Verfügung, die in die Auswertung integriert werden konnten.

Die Laboranalysen wurden durch das Kantonale Labor (Kantonschemiker) sowie vom Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern vorgenommen.

6.2 Physikalische Eigenschaften

6.2.1 Oberflächengewässer

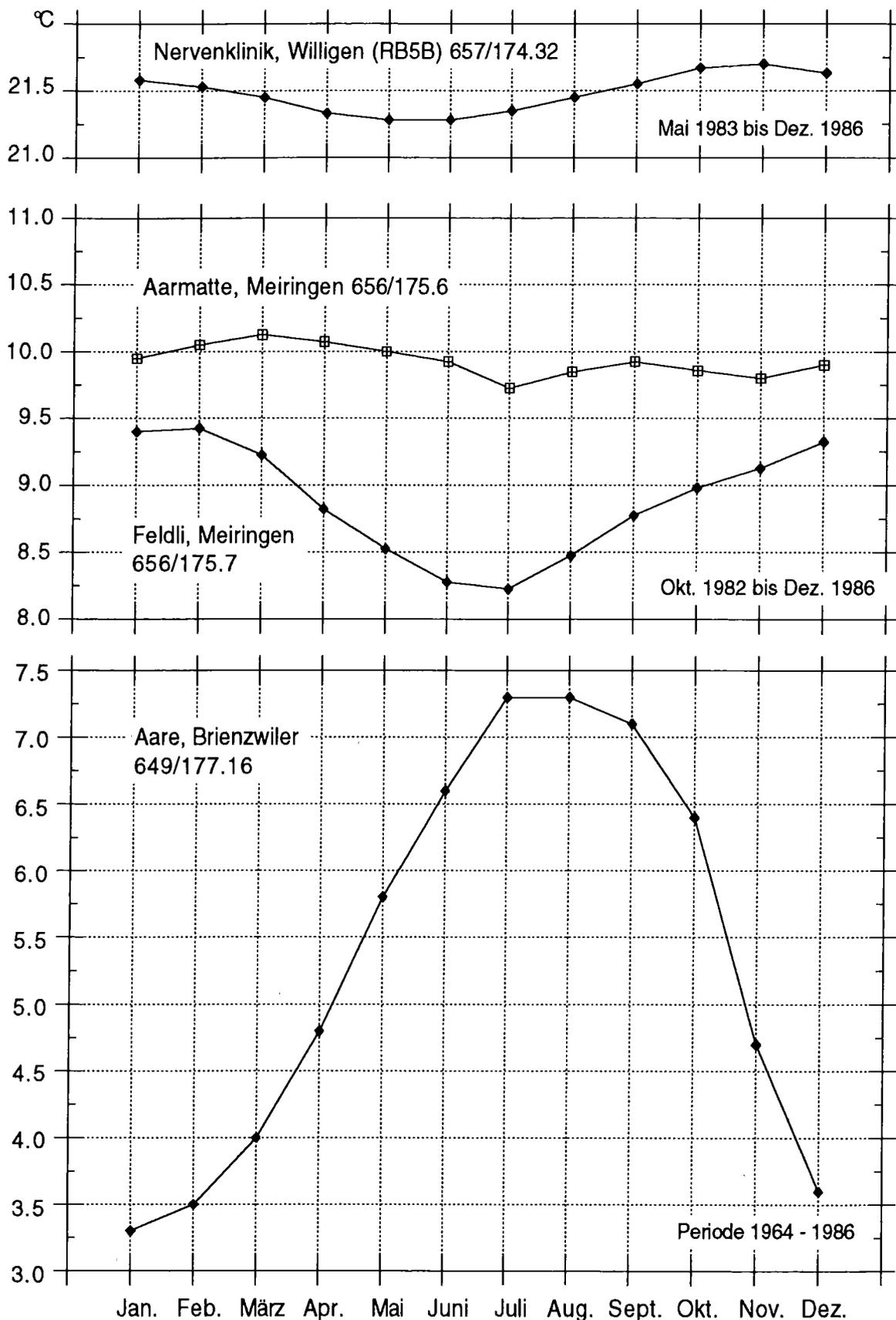
Temperatur

Die mittleren monatlichen Wassertemperaturen der Aare bei Brienzwiler sind aus der Figur 6.1 ersichtlich. Seit 1964 wurden folgende Extremwerte registriert:

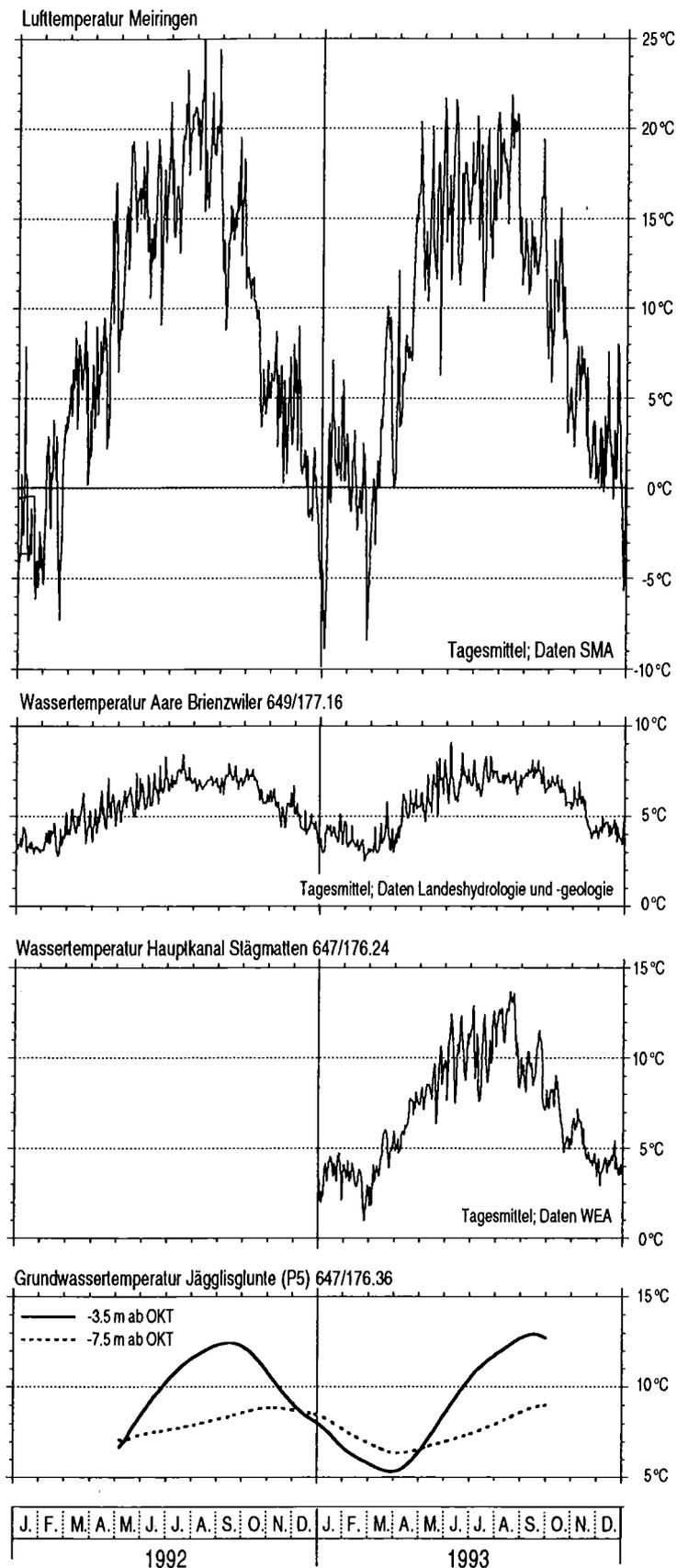
13. Dezember 1991	:	0.0 °C
30. Juni 1985	:	11.9 °C

Infolge der grossen mittleren Einzugsgebietshöhe der Aare von ca. 2'140 m ü.M. sind die tiefen Temperaturen nicht erstaunlich. Trotz der zahlreichen Staubecken vermag sich das Gletscher- und Schneeschmelzwasser im Sommer nur wenig zu

Figur 6.1 Wassertemperatur (°C, Monatsmittel) in RB5 B, Aarmatte, Feldli und der Aare bei Brienzwiler



Figur 6.2 Lufttemperatur bei Meiringen, Wassertemperatur der Aare, des Hauptkanals und des Grundwassers bei Bohrung P5



erwärmen, so dass der jahreszeitliche Temperaturunterschied bei der Einmündung der Aare in den Briener See durchschnittlich nur ca. 4 °C beträgt. Im Vergleich dazu erreicht dieser bei Thun > 11 °C.

Figur 6.2 illustriert den Verlauf der Lufttemperatur bei Meiringen, die Wassertemperatur der Aare bei Brienzwiler und des Hauptkanals bei Stägmatten (647/176.24) sowie die Grundwassertemperatur bei P5 (647/176.36) für die Jahre 1993 und 1994. Die zwischen 2.5 und 9 °C variierende Temperatur der Aare folgte mit einigen Abweichungen stark gedämpft der Lufttemperatur. Dies trifft auch für den durch Grund-, Bach- und Drainagewasser angespiesenen Hauptkanal zu, wobei jedoch eine Variationsbreite zwischen 1.5 und 13.5 °C Tagesmittel zu verzeichnen ist.

Der nur 40 m von der Hauptkanal-Messstation entfernte Limnigraph P5 (647/176.36) wies ca. 2 m unter dem Grundwasserspiegel demgegenüber einen Schwankungsbereich zwischen 5.5 und 13 °C mit einer Phasenverschiebung von etwa einem Monat auf (Fig. 6.2). Obwohl der Hauptkanal bei Niederwasser hauptsächlich durch Grundwasser angespiesen wird, schient der atmosphärische Einfluss auf den Kanal eine grössere Rolle zu spielen, was namentlich im Winter zum Ausdruck kommt (geringe Wassertiefe, relativ grosse Wasseroberfläche).

Spezifische Leitfähigkeit

Die Gesamtmineralisation des Wassers wird in der Regel mit der spezifischen Leitfähigkeit erfasst (Mikrosiemens pro Zentimeter, $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sie ist von der Abflussmenge abhängig, sofern das Abflussregime das Niederschlagsgeschehen widerspiegelt.

Infolge der zahlreichen Staustufen ist dies bei der Aare nicht immer der Fall. In der Regel nimmt mit zunehmender Abflussmenge die spezifische Leitfähigkeit ab, dies, obwohl starke Niederschläge eine Abschwemmung von Mineralsalzen an der Landoberfläche bewirken. Beim Einlauf der Aare in den Briener See schwankte die spezifische Leitfähigkeit während der Periode 1992/1993 zwischen 43 und 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, durchschnittlich lag sie bei 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabelle 6.1). Die Aare ist somit im Haslital sehr schwach mineralisiert. Zum Vergleich liegt die spezifische Leitfähigkeit der Aare bei Bern-Schönau in der Regel über 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Verglichen mit der Aare weist das Wasser der untersuchten Seitenbäche eine bedeutend höhere spezifische Leitfähigkeit auf. Gemäss der Tabelle 6.2 erreicht sie Werte zwischen 200 und 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wobei sie abgesehen vom Oltschibach in der Regel

Tabelle 6.1 Chemische und physikalische Eigenschaften der Aare beim Einlauf in den Briener See (Aareggbrücke, 646/177.15)

Parameter		Mittelwert 1992-1993	Maximum (Datum)	Minimum (Datum falls einmalig)	Anzahl Proben
Gesamthärte	°f	4.3	8.5 (15.4.92)	2.0 (10.3.93)	12
Karbonathärte	°f	3.8	7.5 (15.4.92)	2.0 (10.3.93)	12
Kalium	mg K/l	0.8	1.6 (11.1.93)	0.07 (9.12.92)	13
Natrium	mg Na/l	0.9	2.0 (15.4.92)	0.5	13
Chlorid	mg Cl/l	0.6	1.1 (15.4.93)	0.3 (10.3.93)	18
Nitrat	mg NO ₃ /l	0.4	0.6 (15.4.92)	0.2	18
Sulfat	mg SO ₄ /l	7	11 (12.10.92)	4 (10.3.93)	12
DOC	mg C/l	0.6	0.8 (15.4.92)	0.5	18
Nitrit	mg NO ₂ /l	0.003	0.006 (11.1.93)	0.002	18
Ammonium	mg NH ₄ /l	0.035	0.083 (7.12.93)	0.013 (17.2.92)	18
Freies Phosphat	mg PO ₄ /l	0.006	0.008 (15.4.92)	0.005	18
Gesamtposphat	mg PO ₄ /l	0.031	0.074 (7.6.93)	0.013 (15.6.92)	18
Silikat	mg SiO ₂ /l	2.3	3.3 (15.4.92)	1.4 (12.8.92)	18
Sauerstoff	mg O ₂ /l	12.0	13.4 (9.2.93)	10.7 (12.10.92)	18
Sauerstoff sättigung	%	103	108 (12.8.92)	93 (17.2.92)	18
Leitfähigkeit	µS/cm	93	260 (9.3.93)	43 (12.8.92)	18
pH-Wert		8.24	9.04 (12.8.92)	7.01 (11.1.92)	18

Tabelle 6.2 Chemische und physikalische Eigenschaften der Oberflächengewässer

Messkampagne vom 28.-29. Januar 1992

Aare		Temp. °C	Leitföh. uS/cm	Karb.-Härte °f	Chlorid mg Cl/l	Nitrat mg NO ₃ /l	Sulfat mg SO ₄ /l
Meiringen (Aareschlucht)	A08 (658/174.18)	2.0	53	1.3	1	1	6
Hauptkanal							
Seimli	A56 (653/176.15)	5.4	427	21.5	3	3	10
Waldey	A47 (650/176.15)	4.0	375	18.4	2	2	13
Jägglisglunte	A43 (647/176.32)	2.3	379	18.7	2	2	13
Seitenbäche							
Hüsenbach Hüsen	A36 (654/176.25)	1.9	392	18.0	4	3	20
Funtenen (Quellwasser)	A34 (654/177.23)	10.5	340	16.9	3	3	22

Messkampagne vom 3. Juli 1992

Aare		Temp. °C	Leitföh. uS/cm	Karb.-Härte °f	Chlorid mg Cl/l	Nitrat mg NO ₃ /l	Sulfat mg SO ₄ /l
Meiringen (Aareschlucht)	A08 (658/174.18)	5.8	43	1.4	< 1	1	4
Hauptkanal							
Chleeweren	A59 (654/176.24)	11.4	324	14.8	1	4	10
Waldey	A47 (650/176.15)	14.0	258	11.7	1	1	13
Jägglisglunte	A43 (647/176.32)	14.6	266	12.4	1	1	13
Seitenbäche							
Wychelbach	A70 (659/173.51)	9.7	309	13.3	2	7	18
Hüsenbach Hüsen	A37 (655/176.15)	15.9	308	14.2	2	2	19
Funtenen (Quellwasser)	A34 (654/177.23)	10.7	373	17.0	3	3	22
Hüsenbach Junzlen	A30 (653/177.15)	12.0	387	17.8	3	3	21
Oltschibach (Balm)	A53 (651/176.25)	14.4	214	9.8	< 1	1	16

Messkampagne vom 26.-28. Oktober 1993

Aare		Temp. °C	Leitföh. uS/cm	Karb.-Härte °f	Chlorid mg Cl/l	Nitrat mg NO ₃ /l	Sulfat mg SO ₄ /l
Meiringen (Aareschlucht)	A08 (658/174.18)	4.9	90	2.7	< 1	1	8
Hauptkanal							
Chleeweren	A59 (654/176.24)	7.4	336	16.6	1	4	11
Waldey	A47 (650/176.15)	6.2	322	15.3	1	2	14
Jägglisglunte	A43 (647/176.32)	5.5	336	16.0	1	1	14
Seitenbäche							
Wychelbach	A70 (659/173.51)	9.2	315	14.1	2	6	20
Hüsenbach Hüsen	A37 (655/176.15)	3.1	346	16.3	1	2	18
Funtenen (Quellwasser)	A34 (654/177.23)	10.8	376	16.9	3	3	23
Hüsenbach Junzlen	A30 (653/177.15)	9.9	395	6.0	1	1	10
Fyrabebach	A62 (654/175.16)	7.0	287	13.9	< 1	2	9
Oltschibach	A53 (651/176.25)	3.4	203	9.7	< 1	1	22

über 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegt. Da die Bäche grösstenteils durch Karstwasser gespeisen werden, schwankt die Mineralisation nicht so stark wie bei der Aare. Dies ist z.B. beim Vergleich der Messkampagnen vom Juli 1992 und Oktober 1993 ersichtlich (Tabelle 6.2).

Das im Hauptkanal gesammelte Drainagewasser weist eine ähnliche Gesamtmineralisation wie die Seitenbäche oder meist wie das umgebende Grundwasser auf (z.B. KB4, P5, P7, P8; Tabellen 6.2 - 6.4), was weiter nicht erstaunlich ist, exfiltriert doch der grösste Teil des Grundwassers ins Leitungsnetz der Drainage (Kap. 5.4).

Im Vergleich zu allen Gewässern hebt sich die Aare mit ihrer sehr tiefen spezifischen Leitfähigkeit deutlich ab, was demzufolge auch für die chemische Zusammensetzung gilt (Kap. 6.3). Ein Umstand, der für die Beurteilung der hydraulischen Beziehung zwischen Aare und Grundwasser sehr dienlich ist (Kap. 5).

Sauerstoffisotopen

Mit Hilfe von Sauerstoffisotopen-Konzentrationen kann auf die Anspeisung zurückgeschlossen werden, sofern das Einzugsgebiet des infiltrierenden Oberflächengewässers bedeutend über dem Talboden liegt. Dies ist bei der Aare mit einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 2'140 m ü.M. eindeutig der Fall.

Nachstehend sei kurz auf die Methode der Sauerstoff-Isotopenmessungen eingegangen. Die Grundzüge entnehmen wir u.a. der Publikation von U. SIEGENTHALER, U. SCHOTTERER und H. OESCHGER (1983). In der Natur zeichnet sich ein Bruchteil der Wassermoleküle 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. Der mittlere Gradient beträgt etwa -0.15 bis -0.3 ‰ pro 100 m.

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

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ Probe} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ Standard}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ Standard}} \times 1'000 \text{ ‰}$$

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 $\delta^{18}\text{O}$, d.h. es ist ^{18}O -ärmer als Meerwasser.

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Höhenbeziehung ist einer Streuung unterworfen, weil sie u.a. von meteorologischen und topographischen Gegebenheiten abhängt. So werden in Tälern, die im Regenschatten umgebender Bergketten stehen, negativere $\delta^{18}\text{O}$ -Werte beobachtet als anderswo.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden insgesamt 53 Proben entnommen und durch U. SIEGENTHALER vom Institut für exakte Wissenschaften der Universität Bern analysiert. Daneben standen Ergebnisse weiterer Untersuchungen zur Verfügung (SIEGENTHALER et al, 1983; KELLERHALS + HAEFELI, 1983a).

Aufgrund der zahlreichen Wasseranalysen können folgende $\delta^{18}\text{O}$ -Mittelwerte angegeben werden:

Niederschlag Meiringen	- 11.4 ‰
Aare	- 13.5 bis 14.0 ‰
Thermalwasser	- 13.3 ‰
Funtenenquelle	- 12.4 ‰

Die Aare hat entsprechend ihres hochgelegenen Einzugsgebietes einen relativ hohen $\delta^{18}\text{O}$ -Wert. Deshalb sollte Flussinfiltrat im Grundwasser deutlich festzustellen sein, vor allem auf potentiellen Infiltrationsabschnitten entlang der Aare (Kap. 6.2.2). Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert der Aare jahreszeitlich etwas variieren kann. Namentlich im Winterhalbjahr, wenn der Zustrom aus hochliegenden Gebieten infolge der tiefen Temperaturen und den Staustufen drastisch abnimmt, kann der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert - 13.0 ‰ übersteigen.

Die Sauerstoff-Isotopenwerte (‰) der am 20. Februar 1993 beprobten Seitenbäche sind nachstehend aufgeführt:

Wychelbach	Innertkirchen	A70	659/173.51	- 11.48
Funtenenquellen	Junzlen	A34	654/177.23	- 12.40
Hüsenbach	Hüsen	A37	655/176.15	- 12.14
Wendelbach	Unterbach	A55	652/176.25	- 12.63
Oltschibach	Unterbach	A53	651/176.25	- 12.49
Hauptkanel	Stägmatten	A43	647/176.32	- 12.02

Abgesehen vom Wychelbach liegen sie entsprechend ihren Einzugsgebieten zwischen denjenigen der Aare und des Niederschlages.

6.2.2 Grundwasser

Temperatur

Bekanntlich ist die Temperatur des Grundwassers vor allem abhängig von der direkten Wärmeeinstrahlung aus der Atmosphäre. Im Vergleich dazu ist der Wärmefluss aus dem Erdinnern für untiefe Grundwasservorkommen von untergeordneter Bedeutung. Im allgemeinen machen sich die atmosphärischen Temperaturschwankungen in einer Tiefe von 10 m kaum mehr bemerkbar. Die dort vorherrschende Temperatur liegt etwa 1 - 2°C über dem Jahresmittel an der Oberfläche, die im Untersuchungsgebiet knapp 8°C beträgt.

Von früheren Untersuchungen (KELLERHALS + HAEFELI, 1983 a, b, c) standen einige mehrjährige, kontinuierliche Temperaturmessungen im Gebiet Meiringen - Willigen zur Verfügung (Fig. 6.1). Infolge des grossen Flurabstandes in diesem Gebiet und der trägen Temperaturfortpflanzung im Untergrund zeigt die Grundwassertemperatur ein azyklisches Verhalten, indem in der Aarmatte wie im Feldli die Minimaltemperatur im Juli und die Maximalwerte im Februar - März registriert werden, d.h. mit einer Phasendifferenz von etwa einem halben Jahr gegenüber der Atmosphäre und der Aare. Aehnlich verhält es sich mit dem Thermalwasservorkommen von Willigen, das im Kapitel 6.4 separat behandelt wird.

Eine Uebersicht zur Grundwassertemperatur-Verteilung im Mai und November 1992 vermitteln die Figuren 6.3 und 6.4.

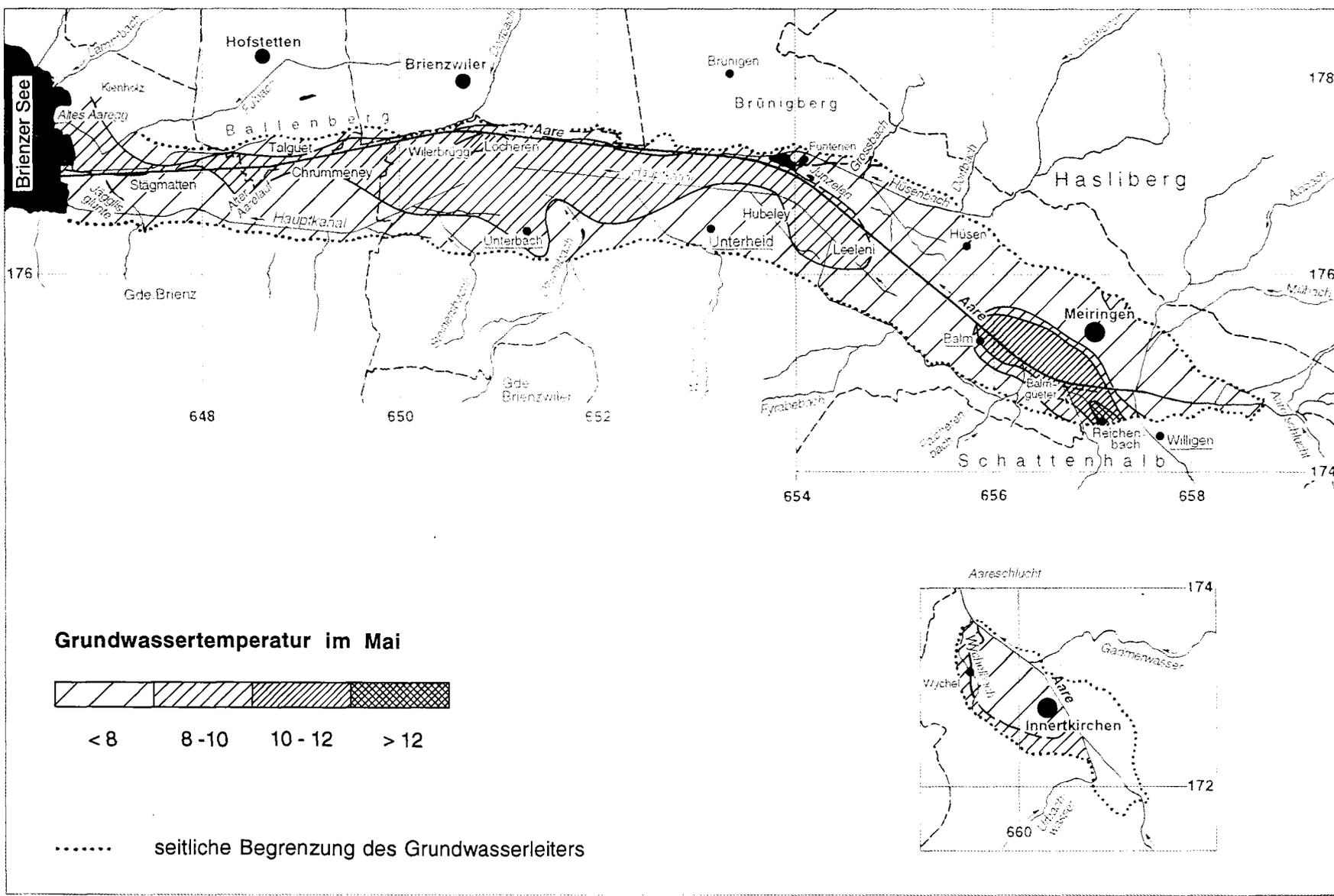
Obschon die Durchschnittstemperatur der Aare ca. 4°C beträgt und die Monatsmittel zwischen 3.0 und 7.5°C liegen, wurden in ausgeprägten Infiltrationsgebieten

der Aare (Becken von Innertkirchen, Gebiet zwischen Aareschlucht und Meiringen) relativ hohe minimale Grundwassertemperaturen von meist $> 7.0^{\circ}\text{C}$ gemessen. Die tiefsten Temperaturen ($< 6.0^{\circ}\text{C}$) werden in Gebieten mit geringem Flurabstand durch infiltrierendes Bachwasser verursacht, dies ist vor allem im Frühjahr am südlichen Talrand zwischen Balm und Unterbach der Fall.

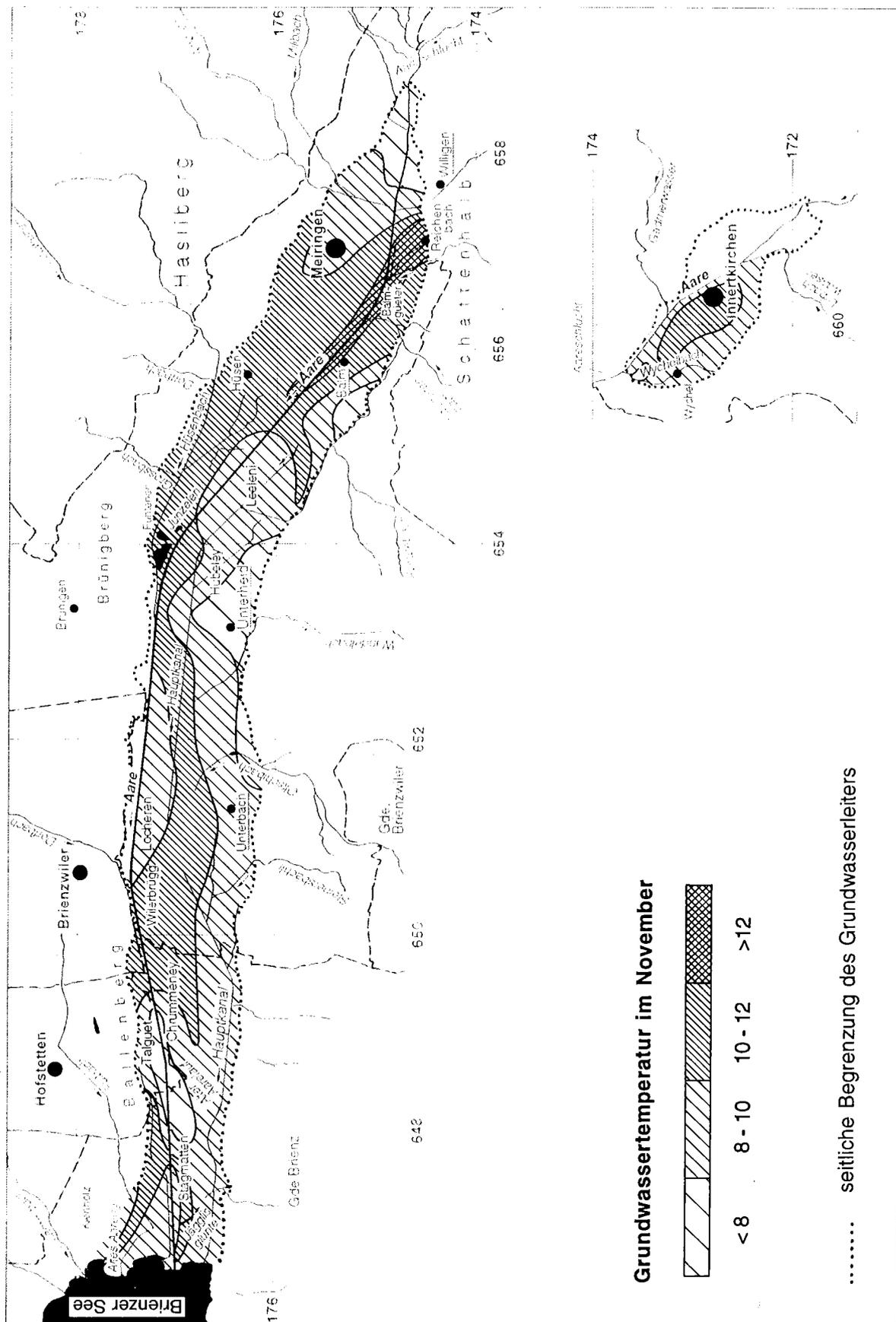
Abgesehen von der sich ab Reichenbach ausbreitenden Warmwasserfahne (Kap. 6.4) übersteigt die Grundwassertemperatur selten 12°C . Infolge der Sonneneinstrahlung sind die höchsten Temperaturen in Gebieten mit geringem Flurabstand zu finden, d.h. zwischen Hüsen und Briener See. Dort sind ebenfalls die grössten jährlichen Temperaturschwankungen von ca. 4°C zu verzeichnen. Wie auch aus der Figur 6.1 ersichtlich ist, übersteigt dagegen der Schwankungsbereich bei einem Flurabstand > 5 m selten 2.0°C . Diese Feststellung ist namentlich für die Nutzung der Grundwasserwärme von Bedeutung. Bestehen doch im Raum Meiringen 21 Wärmepumpenanlagen (Stand Januar 1994, Tabelle 9.1), die dem Grundwasser Wärme entziehen. Interessant ist dabei das erwähnte azyklische Verhalten der Grundwassertemperatur in diesem Gebiet, indem die höchsten Temperaturen von meist $> 9^{\circ}\text{C}$ während der Hauptheizperiode auftreten. Diesbezüglich liegt namentlich das Areal alter Dorfkern - Bahnhof - Isenbolgen günstig, ($9 - 11^{\circ}\text{C}$), während der Ausläufer der Aareinfiltration die Grundwassertemperatur im Gebiet des Bades bis zu einer Aarentfernung von 200 - 300 m um $1 - 3^{\circ}\text{C}$ herabsetzt.

In den Naturschutzgebieten Junzlen und Jägglihlunte (Stägmatten) wurde die Thermodynamik des Grundwassers bei den dortigen Messstationen genauer untersucht, indem alle Monate ein Temperaturprofil in den Beobachtungsrohren P4 und P5 aufgenommen wurden. Nachstehend wird auf die Ergebnisse ziemlich ausführlich eingegangen, da die beobachtete Thermodynamik für die meisten Gebiete mit geringem Flurabstand Gültigkeit hat. Der Verlauf der Temperaturen wurde zwischen dem Grundwasserspiegel und der jeweiligen Bohrtiefe erfasst. Die Resultate wurden als Isolethen dargestellt, d.h. eine zeit- und tiefenabhängige Aufzeichnung unter Verbindung gleicher Temperaturwerte miteinander (Fig. 6.5). Damit liess sich der Schwankungsbereich, die Dämpfung und die zeitlich verzögerte Ausbreitung der Temperatur im Naturschutzgebiet bzw. in Ufernähe illustrieren. Obwohl sich die Temperatur im Grundwasser infolge des Wärmetausches mit dem Gestein weit weniger rasch ausbreitet als die transportierten Stoffe, widerspiegelt sie trotzdem bis zu einem gewissen Grad die Dynamik der Grundwasserströmung (obschon für die Messungen Rohre mit relativ grossem Durchmesser ($4 \frac{1}{2}''$) verwendet wurden, konnten keine störenden Dichteströmungen beobachtet werden). Folgende, für die hydrothermalen Verhältnisse im Uferbereich typischen Vorgänge

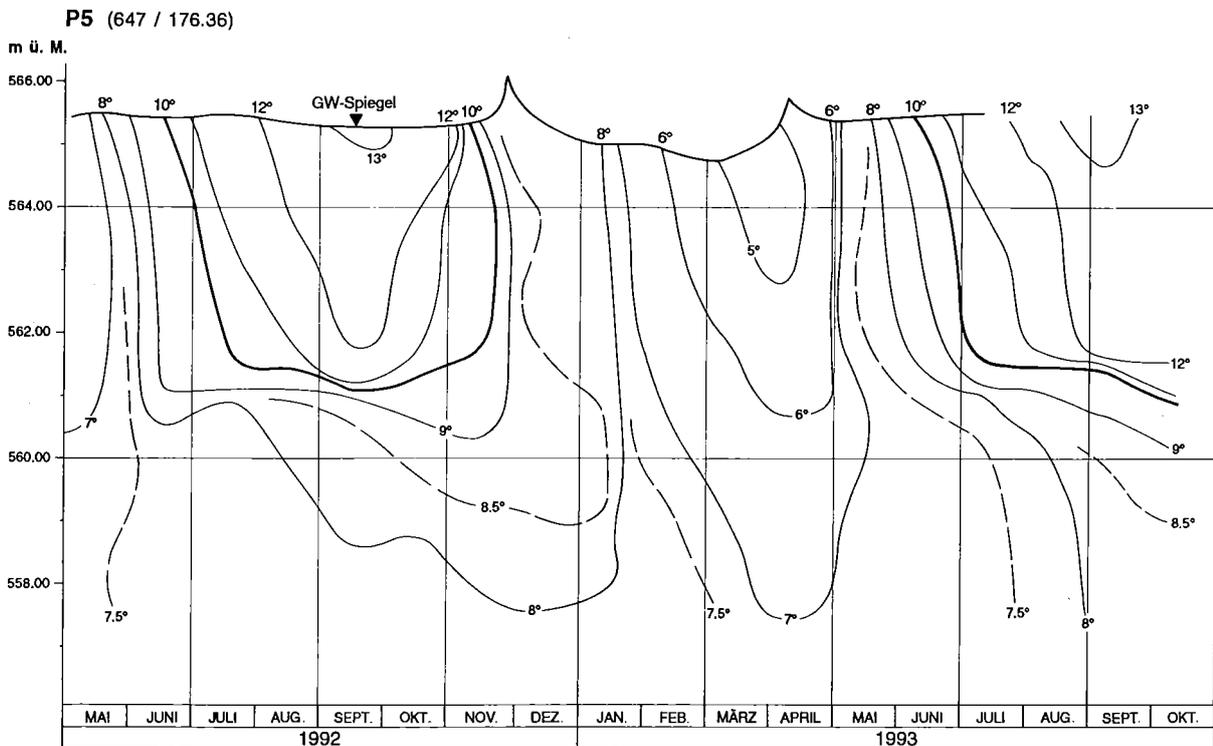
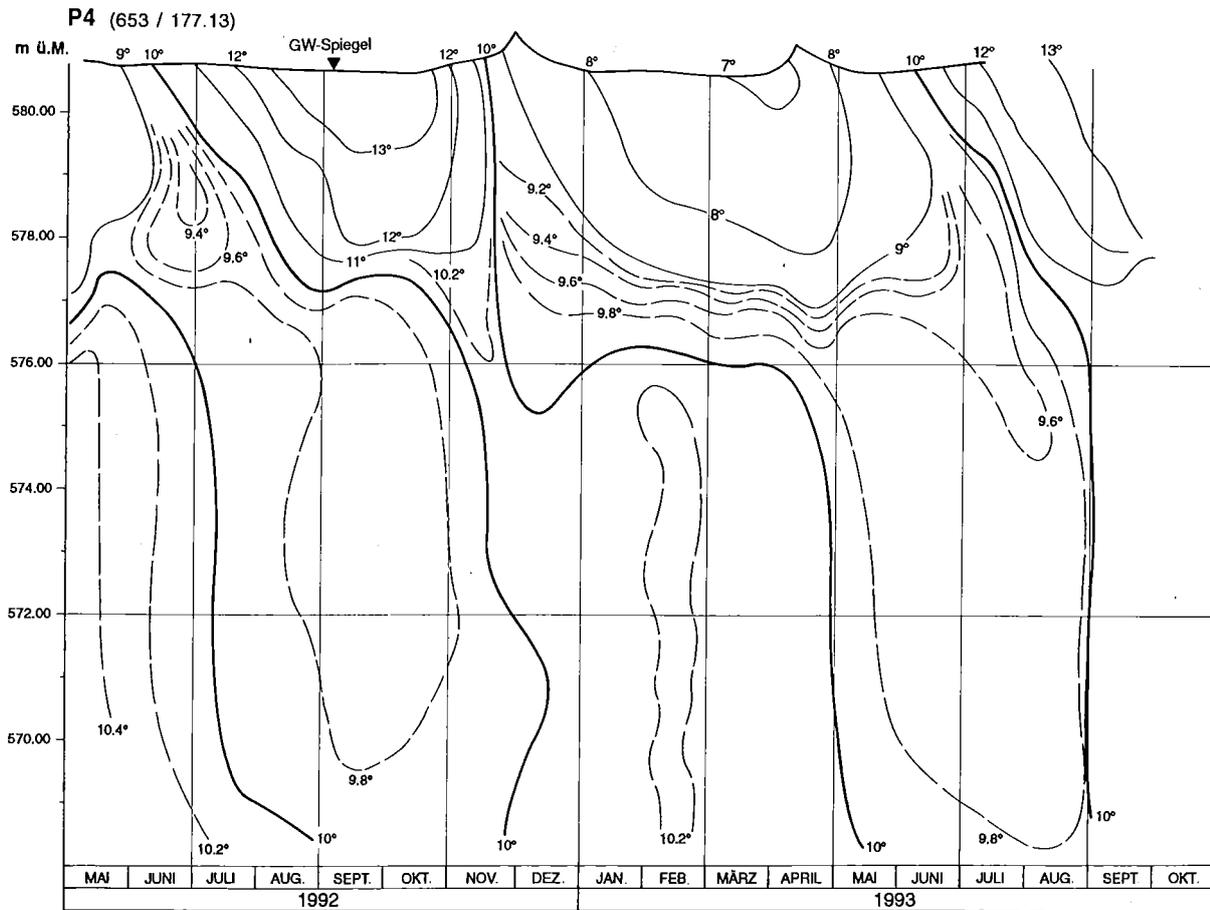
Figur 6.3 Grundwassertemperatur im Mai 1992



Figur 6.4 Grundwassertemperatur im November 1992



Figur 6.5 Temperaturisoplethen im Profil der Bohrungen P4 und P5



lassen sich aus der Figur 6.5 herauslesen (P4: Naturschutzgebiet Junzlen, 40 m von der Aare, neben altem Aarelauf, Flurabstand ca. 1.4 m; P5: Naturschutzgebiet Jägglisglunte, 370 m von der Aare entfernt, 40 m neben Hauptkanal, in Teichnähe, Flurabstand ca. 2.7 m):

- Temperaturschwankung Mai 1992 - Oktober 1993: P4 = 7.0 - 13.9 °C; P5 = 4.7 - 13.4°C.
- Phasenverschiebung der Temperaturextreme gegenüber der Atmosphäre bzw. der Aare: 1 - 2 Monate.
- Temperaturdämpfung mit zunehmender Tiefe, Einschichtung: Unabhängig von der Dichte des Wassers besteht ein Einschichtungsvorgang: P4 = Entsprechend der Tiefe des benachbarten Weihers findet eine "Turbulenz" in den obersten drei Metern statt, darunter sehr gleichförmige Verhältnisse (9.6 - 10.4°C); P5 = Einschichtung in ca. 4 - 5 m Tiefe, darunter mit 6.0 - 9.5°C immer noch eine gewisse Dynamik (Einfluss des alten Aarelaufs auf den Hauptkanal ?)
- Keine unmittelbare thermische Beziehung zur Aare erkennbar.

Spezifische Leitfähigkeit

Mit wenigen Ausnahmen liegt die spezifische Leitfähigkeit des Grundwassers im Untersuchungsgebiet zwischen 200 und 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sie ist wie die meisten chemischen Parameter stark von der Art der Grundwasserneubildung abhängig. Je nachdem, ob die Grundwasserneubildung durch Niederschläge, Oberflächengewässer, Karst- oder Hangwasser erfolgt, resultiert eine unterschiedliche Mineralisierung, wobei die Passage durch die Humusschichten wesentliche Vorbedingungen für die anschliessende Zusammensetzung des Grundwassers schafft.

Erfahrungsgemäss wird das einsickernde Niederschlagswasser in den Vegetationsschichten sehr stark mineralisiert und mit Kohlensäure angereichert (später Aufhärtung im Untergrund, Kap. 6.3.2). Flusswasserinfiltrat unterscheidet sich demgegenüber durch eine geringe Mineralisation. In Anbetracht, dass die Aare eine durchschnittliche Leitfähigkeit von nur knapp 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ besitzt (Kap. 6.2.1), sollte sich ihr Infiltrat von den übrigen Grundwasserneubildungen, namentlich durch Niederschlag, stark abheben.

Tatsache ist, dass spezifische Leitfähigkeiten $< 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ nur im Becken von Innertkirchen (KB01, KB05, RP52, RP53) sowie zwischen Aareschlucht und Meiringen (KB02, EB12, EB10, EB9) festgestellt werden konnten. Zum Vergleich besitzt das Grundwasser in den bekannten Infiltrationsgebieten zwischen Thun und Bern (Lerchenfeld, Selhofen, Wehrliau) Leitfähigkeiten von $250 - 350 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei einer durchschnittlichen Leitfähigkeit der Aare von $200 - 250 \mu\text{S}/\text{cm}$ (WEA 1981), allerdings befinden sich dort Fassungen in Betrieb (die zahlreichen Grundwasserfassungen in Meiringen besitzen keinen Einfluss, da die Infiltration perkolativen Charakter hat (Kap. 5). Trotzdem darf in Analogie zu Vergleichsgebieten mit Untersuchungen an Sauerstoffisotopen (Bödeli, Thun - Bern, Seeland) geschlossen werden, dass bei einer durchschnittlichen spezifischen Leitfähigkeit von $> 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ im Haslital-Grundwasserstrom der Anteil an Aareinfiltrat untergeordnet ist. Figur 6.6 vermittelt ein Bild zur Verteilung der spezifischen Leitfähigkeit. Bemerkenswert sind vor allem folgende Punkte:

- Die geringe Leitfähigkeit ($< 300 \mu\text{S}/\text{cm}$) in Gebieten mit eindeutiger Aareinfiltration (Innertkirchen, zwischen Aareschlucht und Meiringen).
- Zwei Kontaminationsfahnen mit Werten $> 800 \mu\text{S}/\text{cm}$ bei Balmgüeter und Wilerbrugg.
- Meist relativ geringe Mineralisation entlang der Talränder (Karst-, Hangwasser-einfluss).
- Keine augenfällige Beziehung zum Aarelauf (mit Ausnahme der erwähnten Gebiete).

Sauerstoffisotopen

Die Sauerstoff-Isotopenwerte (‰) der beprobten Grundwassermessstellen sind in der Tabelle 6.3 aufgeführt. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Konzentrationen liegen je nach Beobachtungspunkt zwischen -10.22 und -13.39 , was auf eine sehr unterschiedliche Grundwasseranspeisung hinweist. Beim gleichen Beobachtungspunkt können indessen schon die Winter- und Sommerwerte stark auseinander liegen; wie dies z.B. bei KB3 (Nov. 1991: -13.06 , Mai 1992: -12.17) oder P2 (Nov. 1991: -11.33 , Mai 1992: -12.29) der Fall ist. Dies kann auf verschiedene $\delta^{18}\text{O}$ -Konzentrationen beim einsickernden Wasser oder auf unterschiedliche Anreicherungsmechanismen zurückgeführt werden. So laufen die jahreszeitlichen $\delta^{18}\text{O}$ -Variationen bei den Niederschlägen ungefähr parallel zur Lufttemperatur. Unter Berücksichtigung dieser Streubreiten lässt sich die Grundwasserneubildung wie folgt interpretieren:

Figur 6.6 Mittlere spezifische Leitfähigkeit des Grundwassers ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 1992 - 1993

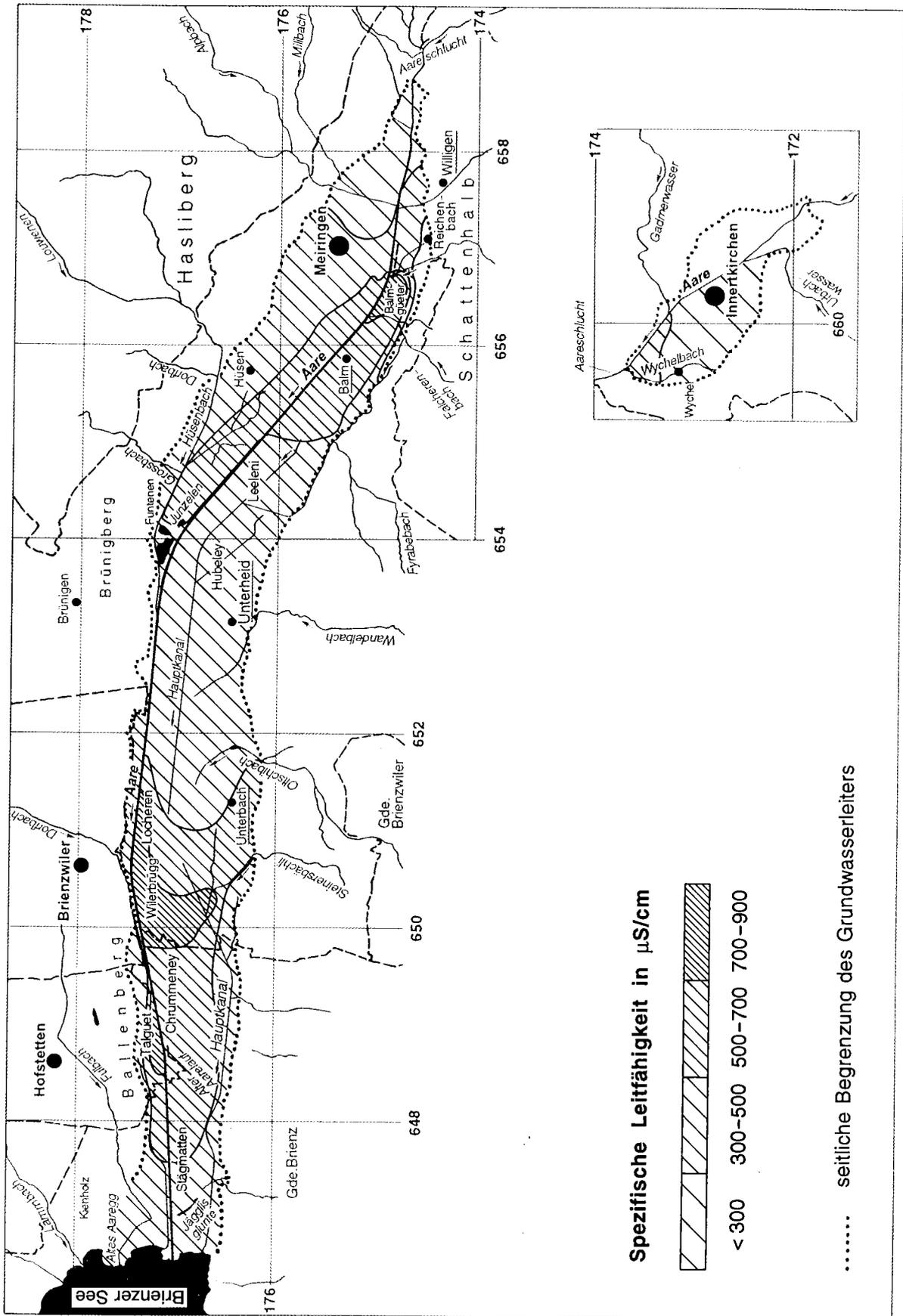


Tabelle 6.3 Sauerstoff-Isotopenwerte $\delta^{18}\text{O}$ im Grundwasser

Probe	WEA-Nr.		Entnahmedatum	$\delta^{18}\text{O}$ ‰(SMOW)
Becken von Innertkirchen				
KB1	660/172.12	Grund-Heiteren	28.Nov.91	- 12.60
KB5	660/172.11	Bodenacher	20.Mai.92	- 12.22
RP52	659/173.43	Bielen	08.Jul.92	- 12.15
RP54	659/173.41	Ryschi	06.Jul.92	- 12.83
P1	659/173.39	Wyhel	20.Nov.91	- 12.23
Becken von Meiringen-Brienzersee (von Osten nach Westen)				
KB2	658/174.17	In der Matten, Meiringen	12.Nov.91	- 13.23
KB2	658/174.17	In der Matten, Meiringen	03.Jul.92	- 13.39
KB6	657/174.40	Allmend, Willigen	20.Mai.92	- 11.95
B14	657/174.32	Thermalwasser Nervenlinik W	06.Jul.92	- 13.10
EB10	657/174.27	Schwimmbad Meiringen	07.Jul.92	- 13.35
B17	656/175.06	Aarmatte, Meiringen	03.Jul.92	- 11.73
KB3	656/174.16	Reichenbach, Willigen	18.Nov.91	- 13.06
KB3	656/174.16	Reichenbach, Willigen	19.Mai.92	- 12.17
B16	656/175.20	Mälchplatz, Meiringen	03.Jul.92	- 11.70
EB4	656/175.21	Spitalstrasse Meiringen	09.Dez.91	- 12.11
P2	656/175.19	Balmgüeter, Balm	20.Nov.91	- 11.33
P2	656/175.19	Balmgüeter, Balm	19.Mai.92	- 12.29
EB2	656/175.03	Aare-Brücke, Balm	06.Jul.92	- 11.26
RP26	656/175.22	Strich, Meiringen	06.Jul.92	- 12.04
EB5	655/175.01	EMD Balm	07.Jul.92	- 11.83
P3	655/175.23	Balm	26.Nov.91	- 11.37
RP20	655/175.22	Rütiblätz, Balm	08.Jul.92	- 11.71
S7	655/175.05	Rütiblätz, Balm	07.Jul.92	- 12.52
B18	655/175.21	ARA, Hüsen	06.Jul.92	- 11.85
RP24	654/176.19	Stäg-Ischlag, Hüsen	06.Jul.92	- 12.04
RP21	654/177.19	Funtenen, Hüsen	06.Jul.92	- 10.38
RP19	654/175.14	Ey, Balm	08.Jul.92	- 12.32
KB4	654/175.13	Balm, Leeleni	12.Nov.91	- 11.55
KB4	654/175.13	Balm, Leeleni	08.Jul.92	- 12.16
P8	654/176.21	Balm, Heidli	26.Nov.91	- 11.51
P4	653/177.13	Junzlen	18.Nov.91	- 12.55
S5	653/176.2T	Underheid	06.Jul.92	- 12.10
RP17	653/176.14	Birglen, Underheid	08.Jul.92	- 12.88
RP15	652/176.23	Schwarzeney, Unterbach	07.Jul.92	- 12.53
B7	652/176.03	Undri Choley, Unterbach	08.Jul.92	- 11.84
RP14	652/177.14	Hirssi, Unterbach	06.Jul.92	- 11.12
P7	651/176.24	Unterbach Dorf	26.Nov.91	- 12.49
P6	650/177.19	Unterbach, Chrummeney	18.Nov.91	- 10.67
S2	650/176.2T	Hüslerey, Unterbach	08.Jul.92	- 10.98
S1	648/177.20	Talguet, Brienz	06.Jul.92	- 10.62
RP44	648/176.13	Han-Erli, Aarboden	07.Jul.92	- 10.57
KB7	648/176.15	Alte Aarelauf, Aarboden	20.Mai.92	- 10.42
S9	648/177.17	Stockmatten, Aarboden	07.Jul.92	- 10.22
B1	647/177.04	ARA Brienz-Kienholz	07.Jul.92	- 11.38
P5	647/176.36	Stägmatten, Aarboden	20.Nov.91	- 11.51
P5	647/176.36	Stägmatten, Aarboden	08.Jul.92	- 11.77
RP42	647/176.28	Bächlischwendi, Aarboden	07.Jul.92	- 11.57
Analytik : Institut für exakte Wissenschaften, Universität Bern				

- Die Grundwasseranreicherung zwischen Unterbach und Briener See erfolgt schwergewichtig, zwischen Aare und Hauptkanal praktisch ausschliesslich durch Niederschläge.
- Einen eindeutig dominierenden Einfluss auf die Grundwasserneubildung besitzt die Aare nur zwischen Aareschlucht und Meiringen (KB2, EB10), namentlich auf der rechten Talseite.
- Mit grosser Wahrscheinlichkeit liegt ein wechselnder Anteil an Aareinfiltrat zwischen Aare und Hauptkanal stromabwärts bis Schwarzeney vor (S7, RP17, RP15) sowie in unmittelbarer Aarenähe auf der rechten Flussseite zwischen Hüsen und Junzlen.
- Karstwasser (teilweise thermal und subthermal) überwiegt im Gebiet Willigen - Reichenbach (KB6, B14, KB3) sowie teilweise vermischt mit Hang- und Bachwasser entlang des linken Talrandes (RP19, S5, RP42). Dieses Grundwasser wird grösstenteils durch den Hauptkanal drainiert, daher bleiben die Sauerstoffisotopenwerte im Gebiet Unterheid - Unterbach bis zur Talmitte tief. Sobald der Kanal am linken Talrand entlang führt, steigen die Werte in der Talmitte auf -10.2 bis 11.0 ‰ an, da die Grundwasserneubildung, wie erwähnt, praktisch nur noch durch Niederschläge erfolgt.
- Ziemlich schwierig interpretierbar sind die Verhältnisse im Becken von Innertkirchen. Vermutlich ist hier die Aare recht stark an der Grundwasserneubildung beteiligt.

6.3 Chemische Eigenschaften

6.3.1 Oberflächengewässer

Die Mineralisation der Oberflächengewässer ist abgesehen von der Wasserführung stark vom Einzugsgebiet abhängig. Die Umweltbelastung spielt dagegen im vorliegenden, relativ dünn besiedelten und praktisch industriellosen Gebiet eine untergeordnete Rolle.

Während der überwiegende Teil des Aareinzugsgebietes (inkl. Gadmer- und Urbachwasser) im Kristallin des Aaremassives liegt, befinden sich die Einzugsgebiete der Seitenbäche grösstenteils im kalkigen Gestein der helvetischen Decken (Kap. 2). Dadurch unterscheidet sich die chemische Zusammensetzung des Aarewassers und der Seitenbäche wesentlich, was pauschal schon bei der spezifischen Leitfähigkeit ersichtlich ist (Kap. 6.2.1). Dies kommt namentlich im Karbonat- und Sulfatgehalt zum Ausdruck. Während die Karbonathärte bei der Aare zwischen 2.0 und 7.5 f° liegt, erreicht sie bei den Seitenbächen 9 - 19 f° (Tab. 6.1 und 6.2). Der Sulfatgehalt der Aare schwankt zwischen 4 und 11 mg/l und beträgt bei den Seitenbächen 9 - 22 mg/l.

Obwohl die Umweltbelastung der Oberflächengewässer gering ist, manifestiert sie sich trotzdem, z.B. mit unterschiedlichen Chlorid- und Nitratkonzentrationen. In der Aare weisen sie die sehr tiefen Werte von 0.3 - 1.1 mg/l bzw. 0.2 - 0.6 mg/l auf, in den Seitenbächen dagegen erreichen sie bis zu 4 mg/l bzw. 7 mg/l (Tab. 6.1 und 6.2). Wegen des relativ geringen Abflusses der Seitenbäche vermögen schon kleinere Kontaminationen, z.B. infolge Strassensalzungen oder Düngungen, diese nachhaltig zu "markieren".

Eine eigene Position nehmen die Drainagekanäle ein, die, obschon sie zu den Oberflächengewässern zu zählen sind, als Vorfluter des Grundwassers güte- und mengenmässig vor allem Grundwasserverhältnisse reflektieren. Dies betrifft vor allem den Hauptkanal und teilweise den Hüsenbach.

Die geringe Mineralisation der Oberflächengewässer, vor allem der Aare, insbesondere die tiefe spezifische Leitfähigkeit und die Karbonathärte, erleichtern das Infiltrationsverhalten zu erkennen (Kap. 6.2.1, 6.3.2).

Häufig werden Grundwasserfassungen in der Nähe von infiltrierenden Oberflächengewässern erstellt, so z.B. entlang der Aare zwischen Thun und Bern, um nebst einem gesicherten Nachschub vor allem von einer guten Grundwasserqualität

(Infiltrat) zu profitieren. Dies wäre im Untersuchungsgebiet nur an wenigen Stellen möglich, da das Flussbett grösstenteils stark kolmatiert ist (Kap. 5).

6.3.2 *Grundwasser*

6.3.2.1 *Allgemeines*

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 Grundwasseralimentation durch Niederschläge, Oberflächengewässer, Karst- oder Hangwasser erfolgt, resultiert meist ein unterschiedlicher Grundwasserchemismus, wobei die Passage durch die Humusschichten ebenfalls Vorbedingungen für die anschliessende Mineralisation schafft.

Das durch die Niederschlagsinfiltration gebildete Grundwasser wird meist "echtes" Grundwasser genannt. Je nachdem, wie die Deckschichten, die Geländemorphologie und die Vegetation ausgebildet sind, schwankt die Versickerungsrate. Im flachen Talboden des Untersuchungsgebietes stellt es die dominierende Grundwasserneubildung dar.

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.

Unter Hangwasser versteht man im allgemeinen in Hügel- und Berggebieten versickertes Niederschlagswasser, das auf schwerdurchlässiger Unterlage, wie z.B. Moräne und Gehängelehm, häufig oberflächennah in der Grundluftzone zum Abfluss kommt. Im Gegensatz zum Hangwasser des schweizerischen Mittellandes, das meist infolge intensiver Landwirtschaft (Düngung) stark mineralisiert ist und deshalb unangenehm in Erscheinung tritt, sind die Hangwasserzuflüsse im Haslital qualitativ kaum bemerkbar. Da die Berghänge meist steil und stark bewaldet sowie häufig von eher lockerem, über verkarsteten Felsoberflächen liegendem Gehängeschutt bedeckt sind, ist das Hangwasser wenig mineralisiert. Zudem ist es in den

Tabelle 6.4 Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers in den WEA-Rotationskernbohrungen KB1 - KB7

Parameter	Bohrung : WEA -Nr.: Datum :	KB1	KB2	KB3		KB4	KB5	KB6	KB7
		660/172.12 28.11.91	658/174.17 12.11.91	656/174.16 18.11.91 3.7.92		654/175.13 12.11.91	660/172.11 20.5.92	657/174.40 20.5.92	648/176.15 20.5.92
Gesamthärte	° f	14.2	11.2	12.6	-	20.5	14.6	19.0	34.8
Karbonathärte	° f	12.5	9.7	11.4	10.8	18.5	11.9	17.3	35.3
Calcium	mg Ca/l	47.7	40.5	45.7	-	71.7	47.3	70.9	130.7
Magnesium	mg Mg/l	5.6	2.7	2.8	-	6.2	6.8	3.1	5.3
Chlorid	mg Cl/l	1	1	2	1	1	2	3	7
Nitrat	mg NO3/l	4	3	2	1	4	10	5	<1
Sulfat	mgSO4/l	16	12	13	12	15	24	19	< 1
Oxidierbarkeit	mg KMnO4/l	2.3	3.0	1.1	1.9	4.4	1.9	1.9	9.9
Nitrit	mg NO2/l	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	> 0.005
Ammonium	mg NH4/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	1.39
Ortho-Phosphat	mg P/l	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Gesamt-Eisen	mg Fe/l	0.08	0.94	< 0.01	-	0.60	0.26	0.15	6.40
Gesamt-Mangan	mg Mn/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	-	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.38
Sauerstoff	mg O2/l	7.9	6.6	8.4	8.6	5.3	7.4	10.0	2.2
Sauerstoffsättigung	%	73	56	74	75	48	67	96	19
Leitfähigkeit	µS/cm	263	211	230	232	342	267	333	586
Ph-Wert		7.95	7.95	7.95	-	7.70	7.05	7.40	6.95
Ph-Messtemperatur	°C	20	20	20	23	20	23	23	23

Analytik: Kantonschemiker Bern

Tabelle 6.5 Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers
in den WEA-Schlagkernbohrungen P1 - P10

Parameter	Bohrung : WEA - Nr.:	P1	P2		P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
		659/173.39	656/175.19		655/175.23	653/177.13	647/176.36	650/177.19	651/176.24	654/176.21	656/174.17	656/174.18
	Datum :	20.11.91	20.11.91	3.7.92	26.11.91	18.11.91	20.11.91	18.11.91	26.11.91	26.11.91	4.8.92	4.8.92
Gesamthärte	° f	14.8	43.8	-	36.9	26.5	22.2	36.8	17.1	18.7	17.3	19.2
Karbonathärte	° f	12.2	47.0	35.1	34.6	27.4	20.8	36.8	16.6	17.3	15.7	17.4
Calcium	mg Ca/l	49.7	155.9	-	133.1	93.4	80.6	139.1	57.3	66.1	64.1	71.3
Magnesium	mg Mg/l	5.8	11.9	-	9.1	7.7	5.0	5.1	6.9	5.3	3.1	3.3
Chlorid	mg Cl/l	5	16	6	3	4	2	3	1	1	4	6
Nitrat	mg NO3/l	7	< 1	< 1	3	< 1	4	< 1	< 1	4	4	6
Sulfat	mg SO4/l	22	22	19	28	2	12	12	9	9	18	15
Oxydierbarkeit	mg KMnO4/l	2.8	36.0	9.4	2.5	1.2	3.5	13.2	2.3	2.2	2.5	1.8
Nitrit	mg NO2/l	< 0.005	0.026	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Ammonium	mg NH4/l	< 0.05	13.10	10.80	< 0.05	1.03	< 0.05	1.70	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Ortho-Phosphat	mg P/l	< 0.01	< 0.01	-	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Gesamt-Eisen	mg Fe/l	0.03	11.30	-	0.05	0.70	0.09	< 0.01	0.08	0.06	0.22	0.24
Gesamt-Mangan	mg Mn/l	< 0.05	2.14	-	0.12	0.91	< 0.05	< 0.05	0.07	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Sauerstoff	mg O2/l	3.9	0.2	0.2	2.8	1.4	5.9	0.9	? 1.5	4.2	6.1	7.2
Sauerstoffsättigung	%	36	2	2	25	13	52	10	? 14	38	64	71
Leitfähigkeit	µS/cm	283	854	703	604	460	383	646	296	320	317	347
Ph-Wert		7.15	6.80	-	7.30	7.35	7.45	6.80	7.85	7.75	7.40	7.45
Ph-Messtemperatur	°C	21	21	-	20	20	21	20	20	20	25	25
Chlorierte Lösungsm.	µg CVI	-	2	-	< 1	-	-	-	-	-	-	-

Analytik: Kantonschemiker Bern

meisten Gebieten vom Karstwasser kaum unterscheidbar, da der Uebergang von Karst- zu Hangwasser fliessend sein kann und teilweise eine Definitionsfrage ist.

Während sich das einsickernde Wasser aus den Oberflächengewässern vor allem durch eine geringe Mineralisation auszeichnet, hebt sich das Karstwasserinfiltrat im Haslital teilweise nur schlecht vom Chemismus des übrigen, lokal gebildeten Grundwassers ab. Wegen seiner speziellen Bedeutung wird das Thermalwasservorkommen von Willigen in einem besonderen Abschnitt behandelt (Kap. 6.4).

Abgesehen von wenigen Ausnahmen weist das Grundwasser im Haslital Trinkwasserqualität gemäss Schweizerischen Lebensmittelbuch 1985 auf.

Infolge hochliegendem, bis in die schwerdurchlässigen Deckschichten reichendem Grundwasserspiegel fehlt namentlich in der Talmitte zwischen Unterheid und Briener See die Grundluftzone, was einen Sauerstoffmangel im Grundwasser zur Folge hat. Dieses Sauerstoffdefizit ist jedoch hygienisch unbedenklich.

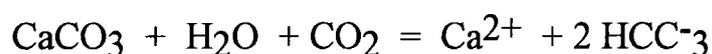
Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen, sei der Vollständigkeit halber erwähnt, dass sämtliche Grundwasserproben mit einer Motorpumpe entnommen wurden, wobei immer mindestens 10 Minuten vorgepumpt wurde, um repräsentative Proben zu erhalten.

6.3.2.2 Einzelne Komponenten (Tab. 6.4 und 6.5, Beilage 5)

a) Karbonathärte

Obwohl das Haupteinzugsgebiet der Aare im kristallinen Gebirge liegt, kommt es im Untersuchungsgebiet trotzdem zu einem ansehnlichen Anfall und Transport von kalkigem Flussgeschiebe. Nebst den kleineren Seitenbächen führen namentlich die Hauptzuflüsse, das Urbach- und das Gadmenwasser z.T. Kalkgerölle, die z.B. der Engelhornkette oder den Wendenstöcken entstammen. Demzufolge sind die Flussablagerungen im Untersuchungsgebiet mit kalkigem Geschiebe durchsetzt.

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, bildet der Kohlendioxydeintrag aus der Vegetation die Voraussetzung für die Kalkauflösung:



Der vorliegende kalkhaltige Untergrund gewährleistet entsprechend dieser chemischen Reaktion eine Aufhärtung des Grundwassers.

Durch Niederschläge angespiesenes Grundwasser unterscheidet sich deshalb im Karbonatgehalt deutlich von durch Oberflächenwasser alimentiertem Grundwasser. Dies ist vor allem beim karbonatarmen Aarewasser der Fall (Kap. 6.3.1). Wie schon aufgrund anderer Kriterien festgestellt (Kap. 5 und 6.2), weisen die sehr tiefen Karbonathärten im Grundwasser ausgangs der Aareschlucht auf eine massive Flussinfiltration hin, obwohl eine ausgedehnte Grundluftzone besteht (grosser Flurabstand), die eine Aufhärtung von einsickerndem Meteorwasser begünstigt. So zeigen die Punkte KB4 (654/175.13), EB4 (656/175.21) und SB7 (657/174.25) in diesem Gebiet Härten von 8 - 10°f (Beilage 5). Die Werte von 10 - 12 °f im Becken von Innertkirchen deuten ebenfalls auf eine Flussinfiltration hin. Ein weiteres kleines Gebiet mit einer Karbonathärte < 12°f (KB3, 656/174.16) bei Reichenbach wird offensichtlich durch den gleichnamigen Bach angespiesen (1f, d.h. 1 französischer Härtegrad entspricht 10 mg CaCO₃/l).

Karbonathärten zwischen 15 und 20°f können im vorliegenden Untersuchungsgebiet auf folgende Grundwasser-Hauptanspeisungen hinweisen:

- Aareinfiltrat vermischt mit Niederschlagswasser: Unterer Teil des Innertkirchenbeckens, zentraler Teil von Meiringen (Uebergangszone), östliches Gebiet von Willigen.
- Karstwasser: Thermalwasser von Willigen, Funtenenquelle.
- Bachwasser: Oltschibach bei Unterbach, Lauenenbach, möglicherweise mit Hangwasser bei Hüsen.

Karbonathärten > 20°f deuten auf eine überwiegende Niederschlagsinfiltration hin. Erreichen die Karbonatwerte > 30°f oder sogar > 40°f, so liegt die Vermutung einer Umweltbelastung, die das tolerierbare Mass übersteigen könnte, nahe (Kap. 9.3).

Es wurden folgende Extremwerte registriert:

KB2	(658/174.17)	östlich Meiringen	7.9°f	(3.7.1992)
SB7	(657/174.25)	Nähe Hallenbad Meiringen	8.7°f	(28.1.1992)
P2	(656/175.19)	Balmgüter	47.0°f	(20.11.1991)
S1	(648/177.20)	Talguet	43.1°f	(26.10.1993)

Aufgrund der Karbonathärte kann das Grundwasser im Untersuchungsgebiet als weich (10 - 15°f), mittelhart (15 - 25°f) bis ziemlich hart (25 - 32°f) und ausnahmsweise hart (32 - 42°f) eingestuft werden (LMB, 1985).

b) Sulfate

Im Gegensatz zur Karbonathärte hebt sich das Flusswasser mit einem Sulfatgehalt von 4 - 11 mg/l nur teilweise von den übrigen Grundwasserspeisungsquellen ab. Die Seitenbäche weisen einen Gehalt von 9 - 22 mg/l auf, das Karstwasser 20 - 25 mg/l (Funtenenquelle 22 - 23 mg/l).

Der Sulfatgehalt stammt von sulfatführenden Gesteinen, die namentlich in den kalkigen Sedimentdecken (Kap. 2) vorkommen. Demzufolge ist der Sulfatgehalt der Seitenbäche etwa doppelt so hoch wie derjenige der Aare und entspricht dem Gehalt von Karstwasser.

Niederschlagswasser ist dagegen praktisch frei von Sulfat- oder Schwefelverbindungen (Luftkontaminationen ausgenommen). Der Eintrag von Sulfat durch einsickerndes Niederschlagswasser hängt daher fast ausschliesslich von den vorhandenen Schwefelverbindungen in der Vegetations- und Grundluftzone ab. Deshalb kann Flusswasserinfiltrat und Niederschlags-Sickerwasser (echtes Grundwasser) dieselbe Sulfatkonzentration aufweisen.

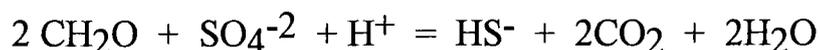
Nebst einer geochemisch bedingten Grundbelastung, die im Untersuchungsgebiet bis etwa 25 mg/l Sulfat annehmen kann, kommt meist eine landwirtschaftlich bedingte Belastung dazu, so dass Konzentrationen von bis zu 30 mg/l Sulfat im Grundwasser nicht alarmierend zu sein brauchen. Höhere Werte deuten dagegen auf mögliche, unerwünschte Kontaminationen (siehe nachstehende Abschnitte). Dies ist bei folgenden Punkten der Fall:

EB5	(655/175.01)	Balm	37 mg/l	(25.10.1993)
S4	(650/177.20)	Locheren	41 mg/l	(26.10.1993)
S1	(648/177.20)	Talguet	43 mg/l	(26.10.1993)

Derartig hohe Werte sind vereinzelt immer wieder in den übrigen Grundwasser-gebieten, z.B. des Kantons Bern, anzutreffen.

Was jedoch viel mehr erstaunt, ist der an verschiedenen Stellen zwischen Hüsen und Briener See analysierte Sulfatgehalt von < 1 mg/l. Da an denselben Punkten ebenfalls der Nitratgehalt < 1 mg/l beträgt sowie gelöstes Eisen und Ammonium im Grundwasser vorkommen, ist die Ursache eindeutig auf eine Sauerstoffzehrung zurückzuführen. Wenn ein Grundwasser mit organischen Stoffen belastet und kein Sauerstoffaustausch mit der Grundluftzone möglich ist, so findet ein mikrobieller Redoxprozess statt, und zwar in folgender Reihenfolge (STUMM, 1988)

1. Sauerstoffverbrauch (Respiration) → CO_2
2. Denitrifikation → N_2
3. Nitratreduktion → NH_4
4. Manganreduktion → Mn^{+2}
5. Eisenreduktion → Fe^{+2}
6. Sulfatreduktion (Bildung von Schwefelwasserstoff):



Dass ein derartiger Redoxprozess bis zur Sulfatreduktion fortschreitet bei einem alluvialen, vorwiegend aus Schotterablagerungen bestehenden Grundwasserleiter, ist sehr selten und in diesem Ausmass im Kanton Bern nicht bekannt. Aehnliche Prozesse finden in grösserer Tiefe in überdüngten Seen statt (z.B. Sempachersee), wobei die Reduktion noch um eine letzte Stufe bis zur Methanbildung weitergeht. Schwefelwasserstoff kommt auch in zahlreichen Heilquellen vor.

Dieser Reduktionsprozess wird im Grundwasser auch durch eine gewisse Stagnation der Stömung begünstigt.

Insgesamt wiesen folgende Beobachtungsstellen kein Sulfat oder extrem wenig Sulfat auf (Zahl = Anzahl Proben):

mg/l			SO ₄ < 1	= 1	= 2	NO ₃ < 1
P4	(653/177.13)	Junzlen	1	3	1	5
RP16	(653/176.13)	Seimli	1			1
RP14	(652/177.14)	Hirssi	1	1	1	3
P6	(650/177.19)	Locheren	1		3	4
KB7	(648/176.15)	Alter Aarelauf	3			3

Erstaunlicherweise wies P6 bei einer der Probeentnahmen 12 mg/l Sulfat auf und RP14 4 mg/l, ein Hinweis für eine gewisse Strömungsdynamik.

Bei einem Qualitätsziel von 10 - 50 mg/l und einem Toleranzwert von 200 mg/l (LMB, 1985) sind die vorgefundenen Sulfatkonzentrationen im Grundwasser für die Gesundheit unbedenklich.

c) Nitrate

Bei einem Sauerstoffmangel tritt, wie beschrieben, die Nitratreduktion viel früher ein als diejenige des Sulfats. Dementsprechend ist dieser Prozess bedeutend häufiger zu beobachten. Derartige Reduktionsbedingungen herrschen über eine Strecke von ca. 7 km zwischen Hubeley und Stägmatten vor, d.h. überall dort, wo der Grundwasserspiegel in die meist schlecht durchlässigen Deckschichten reicht (fehlende Grundluftzone, kein Kontakt zur Atmosphäre). Interessant ist dabei die Feststellung, dass die Nitratreduktion bis Waldey in gleichem Mass links- und rechtsseitig des Hauptkanals stattfindet. Dieser Reduktionsprozess ist somit weitgehend unabhängig von einer möglichen Aareinfiltration (Sauerstoffzehrung infolge organisch belastetem Flussinfiltrat), da sich dieser sonst nur flussseitig des Hauptkanals manifestieren müsste.

Durch Deponien verursachte Nitratreduktionen finden bei Balmgüeter (P2, 656/175.19) und bei der Haltestelle Unterbach (RP14, 652/177.14) statt (Kap. 9.3). Dagegen ist das "Nitratdefizit" im Thermalwasser von Willigen auf eine entsprechend fehlende Mineralisation zurückzuführen, d.h. dieses Wasser ist von Natur aus nitratfrei (Kap. 6.4).

Die Herkunft des Nitrates im Grundwasser ist zum überwiegenden Teil auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zurückzuführen. Da in der Regel die Pflanzen

die ausgebrachten Hof- und Handelsdünger nicht vollständig aufnehmen können, wird ein Teil im Boden ausgewaschen und gelangt ins Grundwasser. Obschon die Aare < 1 mg/l Nitrat führt (Tab. 6.1), beträgt der Nitratgehalt im Grundwasser ihres Hauptinfiltrationsgebietes ausgangs der Aareschlucht 3 - 6 mg/l. Damit ist erwiesen, dass das einsickernde Regenwasser mit Nitrat belastet sein muss.

Der mit Abstand höchste, auf eine lokale, massive Grundwasserverschmutzung hinweisende Nitratgehalt von 250 - 438 mg/l wurde im Sodbrunnen S4 (650/177.20) bei Locheren angetroffen.

Abgesehen von einem weiteren Sodbrunnen bei Talguet (S1, 648/177.20), der Nitratwerte bis zu 46 mg/l aufwies, liegen die durchschnittlichen Nitratgehalte im gesamten Untersuchungsgebiet unter 20 mg/l. Das Qualitätsziel von < 25 mg/l Nitrat (LMB, 1985) für Trinkwasser kann somit im gesamten Untersuchungsziel mit Leichtigkeit eingehalten werden (Ausnahmen: Offensichtliche Verschmutzungsquellen von lokaler Bedeutung).

d) Chloride

Im Gegensatz zur Karbonathärte, die grösstenteils naturbedingt ist, muss der Chloridgehalt im Grundwasser vorwiegend auf zivilisatorische Einflüsse zurückgeführt werden, wobei vor allem die Strassensalzung und die Düngung dafür verantwortlich sind. Derartige offensichtliche Kontaminationsquellen wurden, wie teilweise schon erwähnt, im Gebiet Locheren - Wilerbrügg und Talguet angetroffen:

S4	(650/177.20)	Locheren	27 - 37 mg/l
RP11	(649/177.15)	Wilerbrügg	26 - 73 mg/l
S1	(648/177.20)	Talguet	6 - 24 mg/l

Der unmittelbar beim Autobahnauslenker befindliche RP11 reflektiert eindeutig die Strassensalzung. Die hohen Chloridbelastungen im Grundwasser wurden öfters schon andernorts entlang von Autobahnen angetroffen. Dagegen handelt es sich bei den beiden anderen Stellen um Düngstoffkontaminationen (siehe vorangehender Abschnitt).

Abgesehen von diesen Stellen liegt der Chloridgehalt im Grundwasser praktisch überall unter 10 mg/l. Im Agglomerationsgebiet von Meiringen - Hüsen - Balm und südwestlich von Brienzwiler sind Werte zwischen 5 und 10 mg/l zu verzeichnen, meist liegt jedoch die Belastung < 5 mg/l (Qualitätsziel < 20 mg/l, Toleranzwert 200 mg/l gemäss LMB, 1985).

e) Oxidierbarkeit

Die Oxidierbarkeit entspricht dem Verbrauch von Kaliumpermanganat (KMnO_4) in mg/l und gilt als Verunreinigungsindikator, d.h. sie stellt ein Mass für die organische Belastung des Grundwassers dar. Der Toleranzwert, der nicht überschritten werden sollte, beträgt 6 mg/l, das Qualitätsziel 3 mg/l (LMB, 1985).

Das Qualitätsziel wird im gesamten Untersuchungsgebiet mit folgenden Ausnahmen erreicht:

- Alte Deponie Balmgüeter mit einer Verschmutzungsfahne, die die Aare unterströmt und bis in die Gegend von Sommerauli reicht:

P2	(656/175.19)	links der Aare	6.8 - 36 mg KMnO_4 /l
EB2	656/175.3)	rechts der Aare	11.8 mg KMnO_4 /l

- Eine ca. 4 km lange, schmale Zunge zwischen Haltestelle Unterbach und Stägmaten beidseits der Aare. Die meisten der darin befindlichen Stellen mit den höchsten Verunreinigungswerten sind identisch mit den negativ erwähnten Punkten der vorangehenden Abschnitte (Chlorid, Nitrat):

RP14	(652/177.14)	Haltestelle Unterbach	8.2 mg KMnO_4 /l
S4	(650/177.20)	Locheren	41.0 mg KMnO_4 /l
RP11	(649/177.15)	Wilerbrügg	11.8 mg KMnO_4 /l
S1	(648/177.20)	Talguet	30.0 mg KMnO_4 /l
RP44	(648/176.13)	Chrummeney	15.4 mg KMnO_4 /l
KB7	(648/176.15)	Chrummeney	9.9 mg KMnO_4 /l

f) Sauerstoffsättigung, Eisen, Mangan, Ammonium

Die Sauerstoffsättigung des Grundwassers ist sehr unterschiedlich und stark von der Ausbildung der Deckschichten, der Grundluftzone und dem Eintrag von organischen Stoffen abhängig. Wie in den vorangehenden Abschnitten mehrfach erwähnt, findet namentlich stromabwärts von Hubely über weite Gebiete eine kräftige Sauerstoffzehrung statt, die sich infolge ausgedehnter toniger Deckschichten und fehlender Grundluftzonen einstellt. Ueber die Düngung werden zudem dem Grundwasser organische Stoffe zugeführt, was lokal zu ausserordentlich hohen Belastungen führt.

Sofern ein Sauerstoffaustausch mit der Atmosphäre (Grundluftzone) stattfindet und das Grundwasser nicht erheblich durch organische Inhaltsstoffe belastet wird, stellt sich in der Regel eine Sauerstoffsättigung von 40 - 100 % ein, dies ist z.B. bei den meisten WEA-Sondierbohrungen der Fall (Tab. 6.3 und 6.4). Da die Aare im Untersuchungsgebiet eine Sauerstoffsättigung um 100 % aufweist und verglichen mit anderen Oberflächengewässern des Mittellandes eine sehr geringe organische Belastung besitzt (Tab. 6.1), sollte in ihrem Infiltrationsbereich die Sauerstoffsättigung im Grundwasser ebenfalls hoch sein. Dies tritt zwischen Aareschlucht und Meiringen, wo nachweislich die stärkste Flusswasserinfiltration erfolgt, auch ein, insbesondere bei P9 und P10, die unmittelbar am Ufer stehen, obschon nicht mit der erwarteten Deutlichkeit:

KB2 (658/174.17)	Oberstein - Sand	56 %
P9 (656/174.17)	Undri Allmend	64 %
P10 (658/174.18)	gegenüber P9	71 %

Dagegen weist die nur 60 m von der Aare entfernte und 600 m stromabwärts von P9 liegende Bohrung P2 (656/175.19) nur noch eine Sauerstoffsättigung von 20 % auf, was auf die Verschmutzungsfahne der Altlast Balmgüeter zurückzuführen ist. Im Einklang mit den erwähnten Sulfat- und Nitratreduktionen zeigt der zwischen dem Naturschutzweiher Junzlen und der Aare liegende Beobachtungspunkt P4 (653/177.13) eine Sauerstoffsättigung von nur 2 % auf. Jeglicher Einfluss der Aare kann hier mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Ammonium und Nitrit können als Verunreinigung eingetragen werden, oder aber als Produkte des Redoxprozesses im Grundwasser entstehen. Im Untersuchungsgebiet kommt beides häufig vor. Die Grenzwerte liegen bei Ammonium bei 0.05 mg/l und bei Nitrat bei 0.01 mg/l. Die höchsten Werte wurden in der Altlastfahne Balmgüeter im P2 (656/175.19) mit 13.1 mg/l Ammonium und 0.026 mg/l Nitrat festgestellt.

Sehr häufig ist das beim Redoxprozess anfallende Eisen und Mangan im Grundwasser. Einschränkend sei hier festgehalten, dass durch die Bohrung der Beobachtungsstellen ebenfalls Eisen ins Grundwasser gelangen kann. Dieses kann jedoch mit Hilfe der Sauerstoffsättigung leicht erkannt werden. Folgende Punkte wiesen die höchsten Konzentrationen auf:

KB7 (648/176.15)	Alter Aarelauf	6.4 mg/l Fe	0.38 mg/l Mn
P2 (656/175.19)	Balmgüeter	11.3 mg/l Fe	2.14 mg/l Mn
P4 (653/177.13)	Junzlen	0.7 mg/l Fe	0.91 mg/l Mn

Bezeichnenderweise zeigen diese Punkte ebenfalls eine kräftige Nitratreduktion ($\text{NO}_3 < 1 \text{ mg/l}$).

Obwohl die Sauerstoffsättigung des Wassers für die Gesundheit ohne Bedeutung ist, ist sie aus technischen Gründen für die Wasserversorgung ein äusserst wichtiger Parameter. Beträgt die Sauerstoffsättigung $< 40 \%$, so besteht die Gefahr, dass das Wasser eiserne Rohre angreift, vor allem, wenn das Wasser nicht sehr hart ist. Bei Luftkontakt kann das gelöste 2-wertige Eisen zu unlöslichem 3-wertigem oxidiert werden, was rostige Flecken und das Ausfällen unlöslichen Eisenhydroxids verursacht. Die sogenannte Rostschuttschicht in Leitungsrohren, eine Schutzschicht aus Kalk (CaCO_3) mit Einlagerungen von Magnesium- und Eisenverbindungen, kann sich zudem nur bei einer ausreichenden Sauerstoffsättigung ($> 60 \%$) bilden.

In der Regel treten bei einer Sauerstoffsättigung von $> 40 \%$ keine technischen Probleme auf. Ideal ist jedoch eine Sättigung von $> 60 \%$, was dem schweizerischen Qualitätsziel (LMB, 1985) entspricht. Beim Endverbraucher ist aus korrosionstechnischen Gründen eine Sauerstoffsättigung von wenigstens 30% erwünscht.

6.4 Thermalwasservorkommen von Willigen

6.4.1 Ueberblick

Das Thermalwasservorkommen bei Willigen ist bereits seit über 400 Jahren bekannt. Im Jahre 1681 wurde eine erste Konzession zum Betrieb des sogenannten "Willigerbades" erteilt. Die Quelle, welche damals eine Temperatur von $18 - 19^\circ$ Reaumur ($\sim 23 - 24^\circ \text{C}$) aufwies, trat direkt am Fusse des Berghanges aus anstehendem Fels aus.

Im Verlaufe der letzten Jahrhunderte versiegte die Quelle. Ihr Verschwinden soll eventuell in Zusammenhang mit einem schweren Unwetter, wahrscheinlicher jedoch mit einem kleinen Bergsturz direkt oberhalb der Quelle stehen.

Vor einigen Jahrzehnten trat in der Nähe der einstigen Quelle wiederum Thermalwasser von ca. 20°C aus (Erguss ca. 50 - 80 l/min), was jedoch in der Folge bald wieder unterirdisch versickerte. Mit zwei im Lockergestein abgeteuften Schächten konnte ein Teil des Thermalwassers wieder erschlossen werden (Temperatur 14 - 22°C).

Das Thermalwasservorkommen befindet sich auf dem Areal der Privaten Nerven-klinik AG, Meiringen. Im Rahmen einer Erweiterung und Renovation der Klinik wurden 1982 - 1984 hydrogeologische Untersuchungen für die Grundwassernutzung zu Wärmegegewinnungszwecken durchgeführt (KELLERHALS + HAEFELI, 1983 a und b, 1984) und das Thermalwasser neu erschlossen.

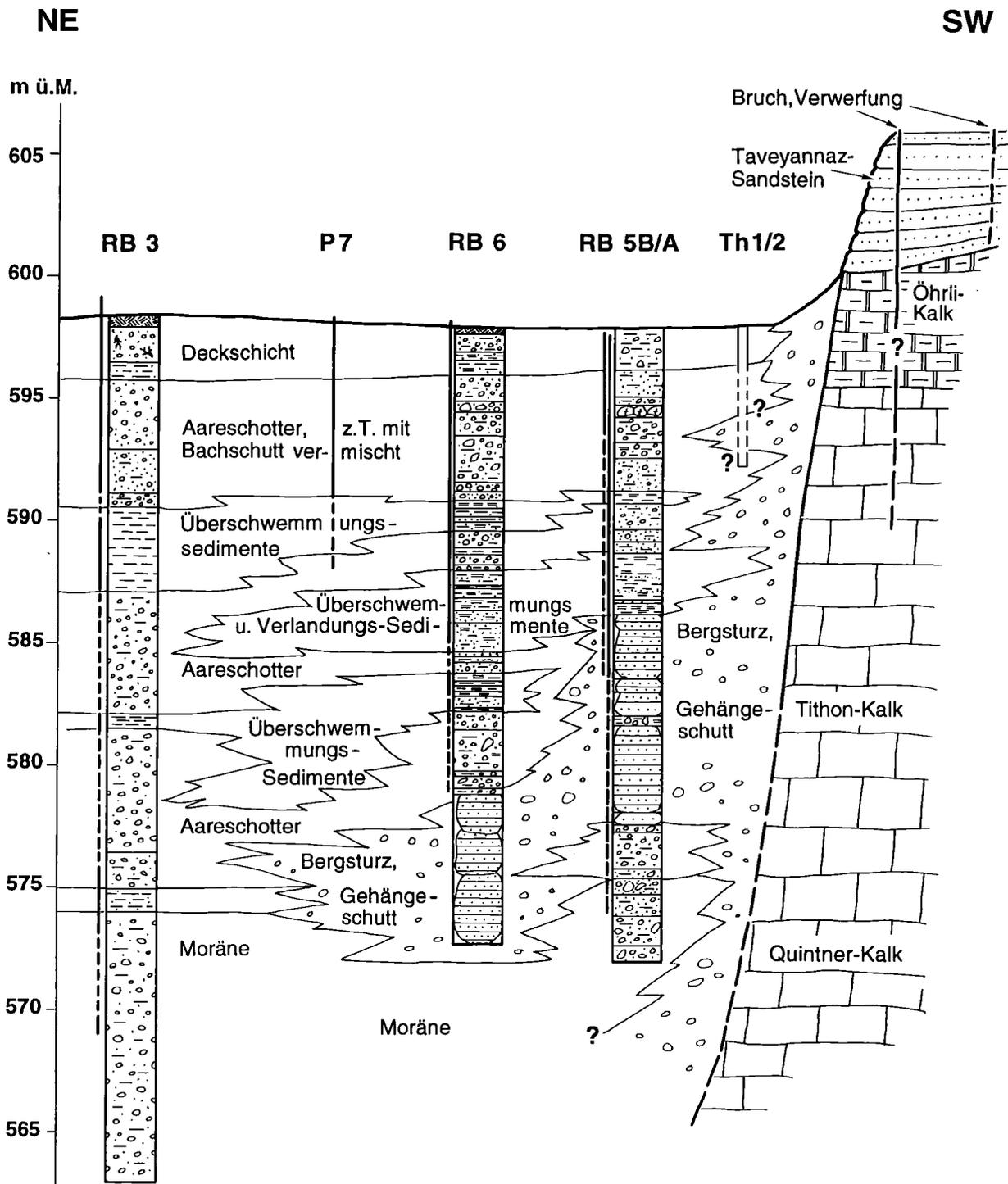
6.4.2 Hydrogeologische Situation

Die am Talhang auftretenden Festgesteine gehören der parautochthonen Läsistock-Schuppe (Tithon-Kalk und schiefriger Oehrli-Kalk) und dem Scheidegg-Tertiär (Taveyannaz-Sandstein) an (Fig. 6.7), welche durch eine Ueberschiebungsfläche voneinander getrennt sind. Wenig oberhalb der Nerven-klinik, bei den Reichenbach-fällen, verläuft die tektonische Trennfläche zwischen der helvetischen Wildhorn-Decke und der parautochthonen Schuppenzone.

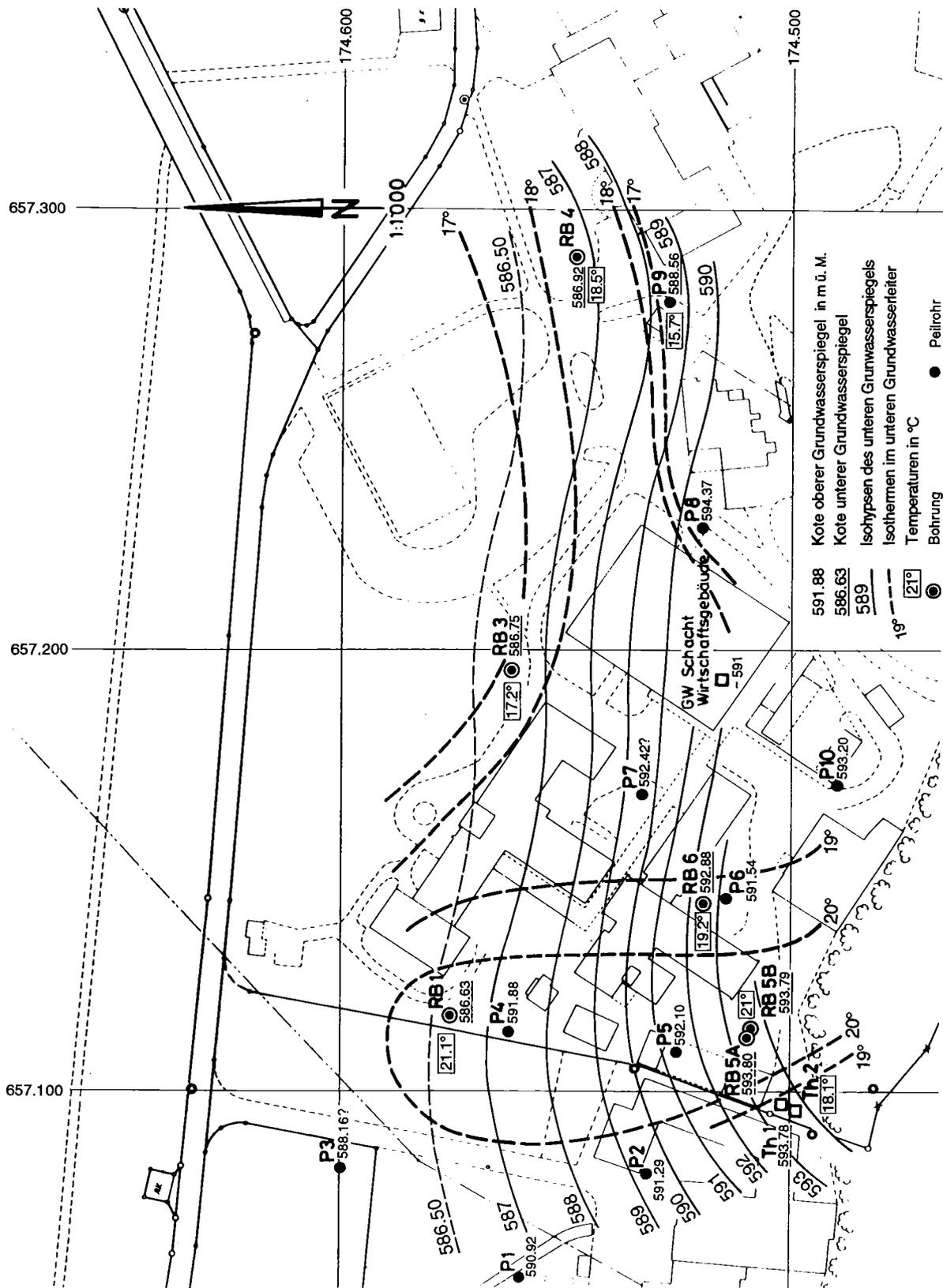
Die Schichten liegen mehr oder weniger flach und weisen eine starke Klüftung auf. Aufgrund der vorhandenen Unterlagen muss die ehemalige Thermalquelle im Gebiet unterhalb der Ueberschiebungsfläche aus einer steilstehenden Kluft ausgetreten sein. Der Felssturz, der die Thermalquelle wahrscheinlich zum Versiegen brachte, stammte aus der teilweise zerklüfteten, aus Taveyannaz-Sandstein bestehenden Felswand.

Im Gebiet der Nerven-klinik, d.h. entlang des Talrandes, sind den Aareschottern grobes Gehänge- und Bergsturzmaterial, siltiger Bachschutt sowie verschiedene schwerdurchlässige Horizonte (Ueberschwemmungs- und Verlandungssedimente) eingelagert. Daraus ergibt sich ein lokaler Grundwasser-Stockwerkbau. Die oberste grundwasserführende Schicht besteht aus eher geringmächtigem, siltig-kiesigem Sand. Das untere Grundwasserstockwerk wird vor allem von mehr oder weniger siltigen Aareschottern gebildet, welche teilweise mit Bach-, Gehänge- und Blockschutt vermischt sind. Insbesondere in den Bohrungen RB5A / B und RB6 in der Nähe des Talhanges wurde zudem Gehängeschuttmaterial mit z.T. mehreren Metern mächtigen Blöcken von Taveyannaz-Sandstein erbohrt (Fig. 6.7 und 6.8). In einer Tiefe von ca. 22 - 25 m wurde in allen Sondierungen Moränenmaterial angetroffen.

Figur 6.7 Thermalwasser Willigen: Geologisches Profil der Bohrungen RB3 - RB5 A/B (Situation Fig. 6.9)



Figur 6.8 Situation Thermalwasser Willigen: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Isothermen des Grundwassers vom 17.3.1983 (unterer Grundwasserleiter)



Der obere Grundwasserstrom wurde in der Regel in einer Tiefe ab 5 - 8 m erbohrt. Er weist eine nordwestliche Fließrichtung auf. Als Stauer wirkt eine relativ einheitliche, undurchlässige Siltlage. Der hydraulische Gradient beträgt im Bereich von RB1 ca. 4 % und nimmt gegen den Talrand deutlich zu (Fig. 6.8).

Der Grundwasserspiegel des unteren Stockwerkes ist in der Regel etwas gespannt. In den nördlichen Bohrungen RB1, RB3 und RB4 liegt er in einer Tiefe von 10 - 12 m und steigt in Richtung der Bohrungen RB5 A/B und RB6 bis ca. 4 - 5 m unter OK Terrain an, wo der hydraulische Gradient bis auf ca. 10 % ansteigt (Fig. 6.8). Dieses starke Gefälle ist einerseits auf einen ergiebigen unterirdischen Austritt von Thermalwasser, andererseits auf eine schlechte hydraulische Kommunikation innerhalb des Grundwasserleiters zurückzuführen.

Die Profil-k-Werte liegen bei allen Bohrungen für das untere Stockwerk bzw. den Hauptgrundwasserleiter zwischen 0.5 und 3.3 m/sec.

6.4.3 Temperaturverhältnisse

Vor ihrer Verschüttung wies die oberflächlich austretende Thermalquelle eine Temperatur von 23 - 24°C auf. Nach der Verschüttung trat das Thermalwasser unterirdisch in das Lockergestein aus und vermischte sich mit dem Hauptgrundwasserstrom. Die im Jahre 1973 in den beiden abgeteufte Thermalschächten periodisch gemessene Wassertemperatur wies einen saisonal bedingten Schwankungsbereich von ca. 14 - 22°C auf, mit einem Minimalwert im April von 13.7°C und einem Maximalwert von 22.0°C im September und Oktober. Die höchsten Temperaturen waren in der Regel auch mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels zu verzeichnen. Offensichtlich erfassten die Schächte nur das obere Grundwasserstockwerk. In der Folge ist nur vom weit bedeutenderen unteren Stockwerk die Rede.

Die Temperaturzonen zeigen in ihrer horizontalen Ausbreitung (Fig. 6.8) deutlich eine S - N-gerichtete "Thermalachse" mit seitlicher Temperaturabnahme infolge Vermischung mit kälterem Haslitalgrundwasser. Die konstante Temperatur von 18 - 19°C talaufwärts weist darauf hin, dass sich in dieser Richtung noch weitere Thermalwasseraustritte ins Grundwasser ergießen. In der Bohrung KB6 (654/174.40) 300 m östlich von RB4 konnte kein Thermalwassereinfluss mehr festgestellt werden (Fig. 6.3). Dasselbe gilt für die Bohrung KB3 (656/174.16) 250 m talabwärts von RB1. Dagegen zeigte RB2 100 m stromabwärts von RB1 noch einen geringen Einfluss. Das Thermalwasser dürfte demnach auf einer Strecke von mindestens 300 m diffus, d.h. entlang von Klüften und kleineren Verwerfungen, in den Grund-

wasserleiter austreten. Die lange Zeit zu Badezwecken genutzte Thermalquelle stellte vermutlich nur eine Art Ueberlauf eines ergiebigen Thermalergusses dar.

Durch die Hauptströmungsrichtung des Haslitalgrundwasserstromes wird die Thermalwasserfahne rasch talabwärts abgelenkt. Es scheint, dass sie die Aare zu unterströmen vermag (Fig. 6.3 und 6.4); jedenfalls weisen die rechtsseitig der Aare liegenden Punkte P10 (656/174.18) und EP2 (656/175.3) mit knapp 12°C darauf hin. Da der zu P10 benachbarte Punkt P9 (656/174.17, linkes Aareufer) eine Temperatur von > 14°C zeigt, muss eine nennenswerte Infiltration von Aarewasser in diesem Bereich ausgeschlossen werden, was die Unterströmung ermöglicht.

Die Figur 6.9 zeigt die Thermalwasserfahne in einem vertikalen Schnitt. Daraus sind die vom Erguss und der Saison abhängigen Einschichtungen und Ausbreitungen klar ersichtlich. Offenbar ist die Zufuhr von Thermalwasser im Herbst bedeutend stärker als im Frühjahr. Die Anströmung der verfilterten Bohrung RB1 und die daraus resultierende Temperaturentbreitung illustriert die Figur 6.10 mit der k-Wert-Verteilung.

Definitionsgemäss muss ein Wasser eine konstante Temperatur von über 20°C aufweisen, um als Thermalwasser bezeichnet werden zu können. Nach Art. 264 der Schweiz. Lebensmittelverordnung darf ein Wasservorkommen als subthermal bezeichnet werden, wenn es ständig eine Temperatur zwischen 14 und 20°C besitzt.

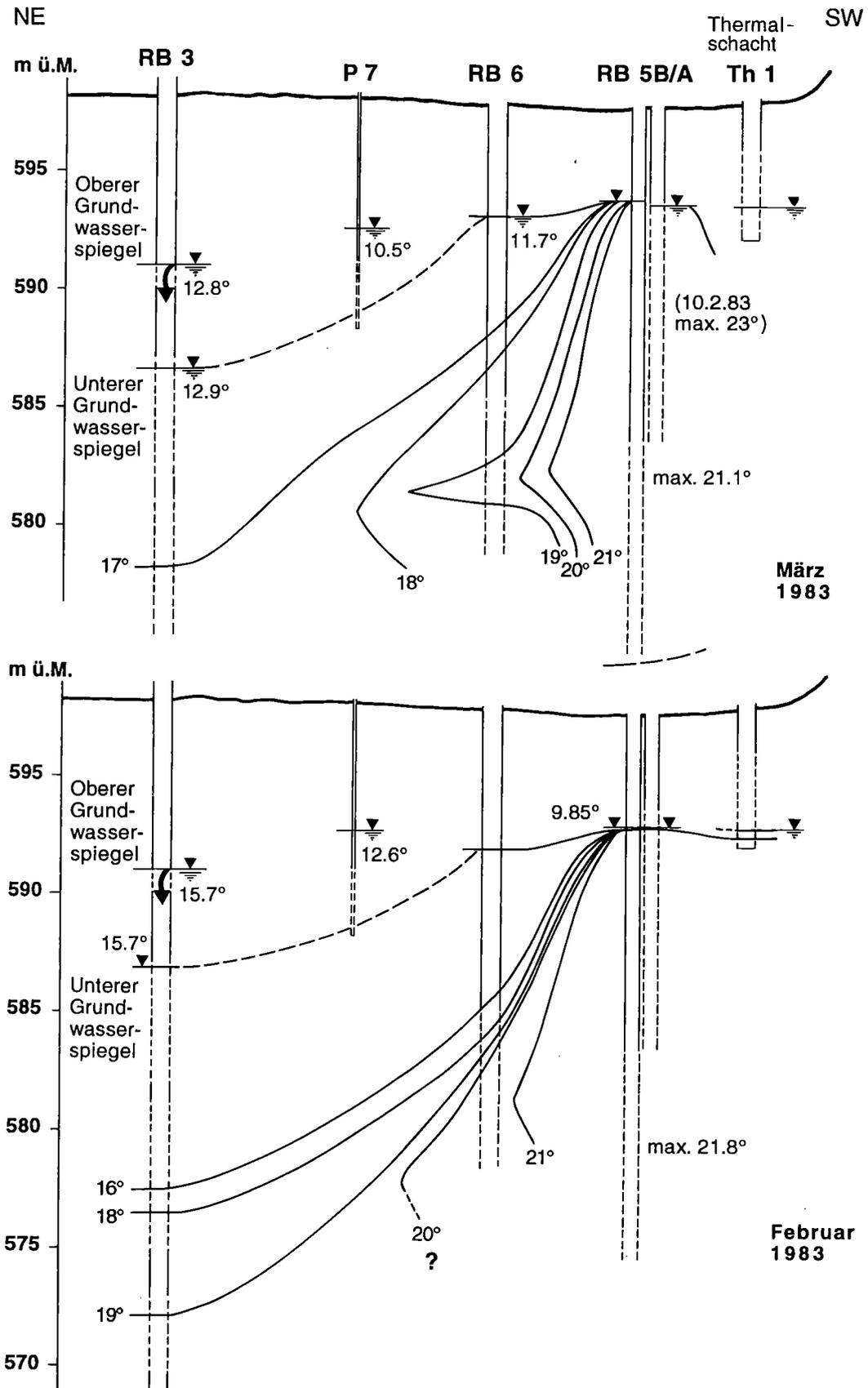
Ständig Thermalwasser liefern die Bohrungen RB5A und RB5B, während RB2 - 4 und RB6 subthermales Wasser aufweisen. Bei RB1 schwankt die Temperatur ausserordentlich stark zwischen 11 und 22°C, je nach Wasserspiegellage und Thermalwasserzufuhr.

6.4.4 Chemismus

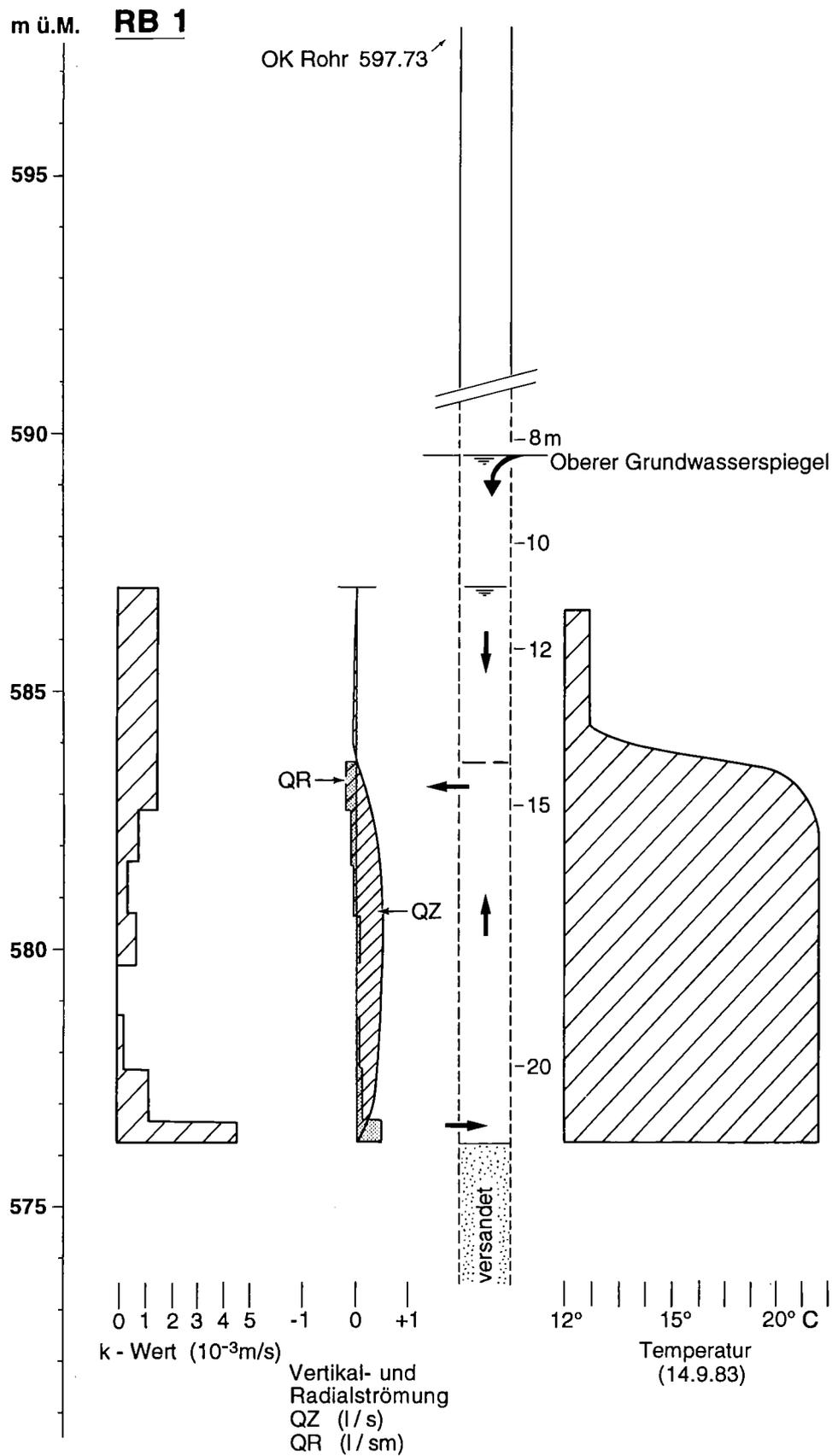
Die nach längerem Pumpbetrieb in RB 3 und RB5B erhobenen Wasserproben ergaben die in Tabelle 6.6 aufgeführten Ergebnisse. Bei RB5B dürfte es sich um > 90 % um thermales Quellwasser handeln (Grundwasseranteil < 10 %), während bei RB3 die Zumischung von Grundwasser etwas grösser ist.

Der Chemismus unterscheidet sich nicht stark vom hauptsächlich durch Karstwasser angespiesenen Grundwasser, z.B. KB6 (657/174.40, Tab. 6.3). Auffallend ist der relativ hohe Chloridgehalt und der geringe bis fehlende Nitratgehalt (nicht reduktionsbedingt, da genügend Sauerstoffsättigung). Durch die Versuchsstation

Figur 6.9 Thermalwasser Willigen: Vertikaler Schnitt durch die Thermalwasserfahne im März und November 1983



Figur 6.10 Thermalwasser Willigen: Anströmung der Bohrung RB1 und die daraus resultierende Temperaturentbreitung



Schweizerischer Brauereien (Dr. Senften) zusätzlich auf weitere chemische Elemente ausgedehnten Untersuchungen zeigten keine grössere Konzentration von Spurenelementen. Bemerkenswert ist ein Fluoridgehalt von 0.23 mg/l.

6.4.5 Herkunft

Das Verhältnis von schwerem Sauerstoff ^{18}O zum normalen ^{16}O ist in erster Linie temperaturabhängig und gibt dadurch Hinweise auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes (vgl. auch Kap. 6.2). Die nachstehenden $\delta^{18}\text{O}$ -Werte deuten auf eine mittlere Einzugsfläche von ca. 1'400 - 1'800 m hin. Am naheliegendsten kommt dafür das Rosenlauigebiet in Betracht.

Das radioaktive Wasserstoff-Isotop Tritium mit einer Halbwertszeit von ca. 12 Jahren gelangt zum grössten Teil künstlich in den Wasserkreislauf (Explosion durch Wasserstoffbomben u.a.). Es erlaubt unter günstigen Voraussetzungen Aussagen über die Aufenthaltszeit des Wassers im Untergrund. Die gemessenen Tritiumwerte (TU) lassen auf eine mittlere Verweilzeit von 3 - 5 Jahren schliessen (Analyse: Institut für exakte Wissenschaften der Universität Bern, U. Schotterer):

RB3	62.1 ± 3.4 TU	$-13.25 \delta^{18}\text{O}$	(16.12.1982)
RB5B	56.6 ± 3.4 TU	$-13.36 \delta^{18}\text{O}$	(14.3.1983)

6.4.6 Wärmenutzung

Aufgrund der hydrologischen Untersuchungen wurde 1984 in unmittelbarer Nähe von RB3 ein Entnahmekanal von 31 m Tiefe erstellt (Filterstrecke 17.1 - 28.8 m, Abdichtung 15.6 - 16.6 m, Bohrdurchmesser 700 mm, Filterdurchmesser 400 mm). Während mehreren Wochen wurden im März/April 1984 1'130 l/min mit einer Temperatur von 17.8 - 19.8°C gepumpt, ohne einen Temperaturabfall festzustellen. Auch die Bohrung RB5B blieb unbeeinflusst (20.2 - 21.6°C). Interessanterweise bewirkte ein Starkniederschlag einen vorübergehenden Temperaturanstieg, was offenbar durch eine vermehrte Auspressung von Kluftwasser (Kolbeneffekt) führte.

Für den Betrieb der Wärmepumpenanlage werden heute 850 l/min (Konzessionswassermenge) von 17 - 19°C genutzt. Das abgekühlte Wasser wird ca. 130 m stromabwärts in einem Sickerschacht dem Grundwasser wieder zugeführt. Das nutzbare Wärmepotential ist jedoch bedeutend höher. Nebst ca. 200 l/min Thermal-

Tabelle 6.6: Thermalwasser Willigen: Chemische und physikalische Eigenschaften des thermal geprägten Grundwassers in Bohrungen RB3 und RB5 B (Situation Fig. 6.8)

	RB3	RB5 B
Temperatur °C	19.0	20.2
Trübung, mg SiO ₂ /l	0.4	0.7
Gesamthärte °frz.	14.6	14.1
Karbonathärte °frz.	12.6	11.9
Chloride mg CL ⁻ /l	6	7
Sulfate, mg SO ₄ ²⁻ /l	19	22
Nitrate, mg NO ₃ ⁻ /l	1	< 1
Oxidierbarkeit, mg KMnO ₄ /l	0.9	1.3
Nitrite, mg NO ₂ ⁻ /l	< 0.005	< 0.005
Ammonium, mg NH ₄ ⁺ /l	< 0.05	< 0.05
Eisen, mg Fe/l	< 0.01	< 0.01
Mangan, mg Mn/l	< 0.05	< 0.05
Sauerstoff, mg O ₂ /l	5.4	5.5
Sauerstoffsättigung in %	62.8	65.5
Leitfähigkeit μS/cm bei 20°C	275	270
pH-Wert bestimmt °C/pH	7.70	7.70

wasser ($> 20^{\circ}\text{C}$) könnten voraussichtlich mindestens 2'000 l/min Subthermalwasser gefördert werden. Bei einem nutzbaren Temperaturgefälle von ca. 14°C wäre somit eine Energie von 7 - 8'000 MJ/h verfügbar.

Das Thermalwasservorkommen von Willigen stellt, abgesehen von einer unbedeutenden Thermalquelle bei Weissenburg, das einzige natürlich an die Oberfläche tretende Thermalwasservorkommen des Kantons Bern dar, das wirtschaftlich genutzt werden kann.

7. EINFLUSS DES KWO - PROJEKTES GRIMSEL - WEST

7.1 Ausgangslage

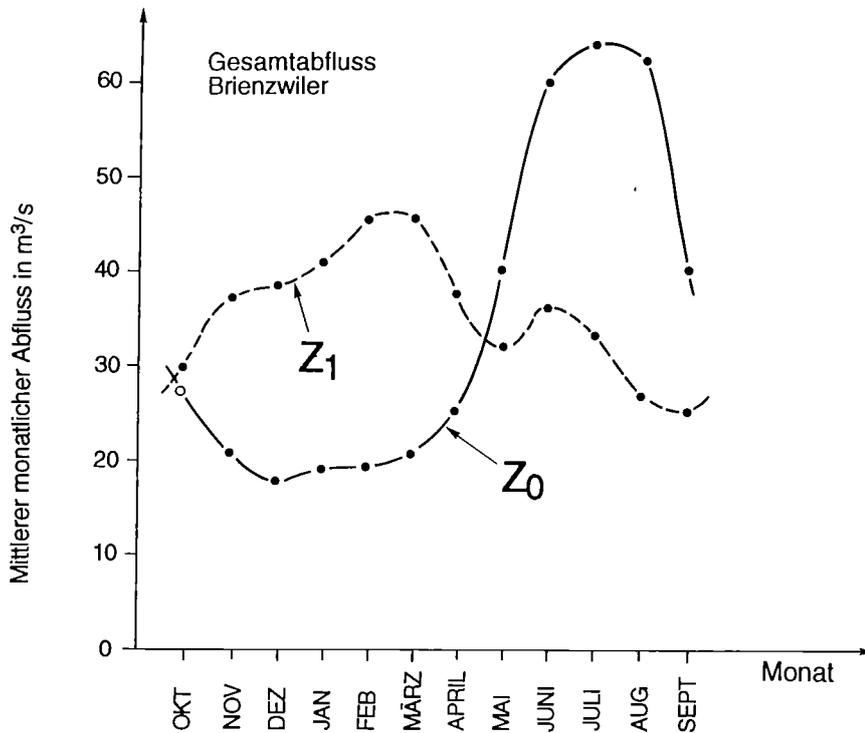
Die Kraftwerke Oberhasli (KWO) planen, ihre bestehenden Anlagen durch ein Pumpspeicherwerk (Grimsel-West) zu erweitern. Durch dieses Werk würde das Abflussregime der Aare drastisch verändert und damit möglicherweise bis zu einem gewissen Grad die Grundwasserverhältnisse.

Die heutigen Abfluss- und Wasserstands-Jahresganglinien der Aare sowie dieselben nach der Ausführung des KWO-Projektes sind in den Figuren 7.1 und 7.2 dargestellt (SIGMAPLAN, 1988; KOELLA und LAMBERT, 1986). Gegenüber den heutigen Verhältnissen (Zustand Z0) hätte die Aare zukünftig (Zustand Z1) ein viel ausgeglicheneres Abflussregime, indem namentlich das Sommer-Hochwasser wegfallen würde, dafür würde sich im Winter der Abfluss zeitweise verdoppeln. Bezüglich der gegenwärtigen Wasserspiegellage hätte dies bei Brienzwiler eine Erhöhung des Aarespiegels um bis zu 60 cm im Winter und eine Verminderung von bis zu 70 cm im Sommer zur Folge. Ausgehend von einer Sohlenkote von 568.80 m (Station Brienzwiler) würde sich die mittlere monatliche Wasserspiegellage zwischen Kote 569.95 und 570.40 m (Amplitude Z1 = 0.45 m) bewegen, gegenüber heute zwischen 569.70 und 570.65 m (Amplitude Z0 = 0.95). Hochwässer wären jedoch immer noch zu erwarten, nur mit etwas entschärfter Spitze.

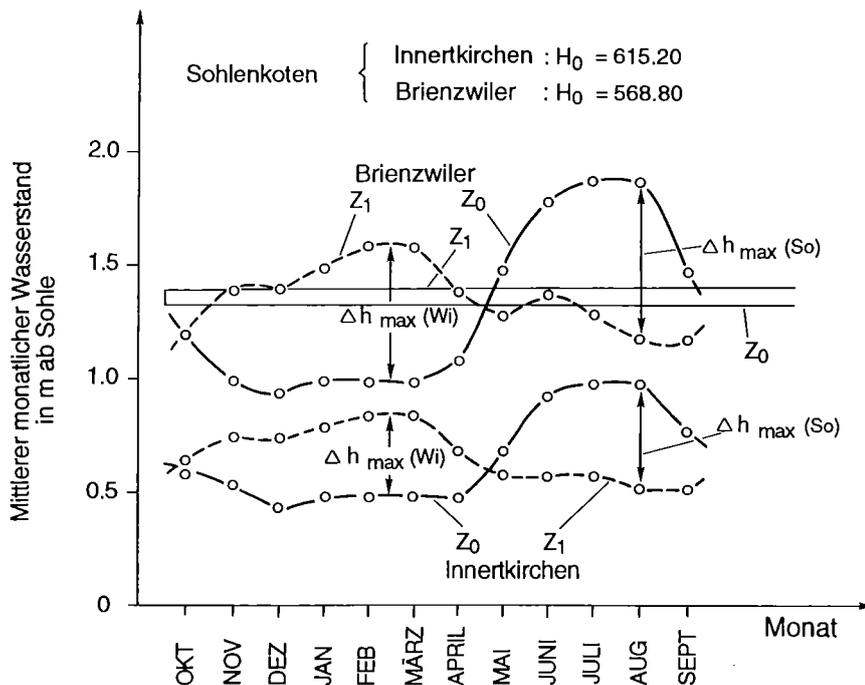
Im Vergleich zu heute hätte das Projekt unter anderem für die Aare noch folgende Auswirkungen (KOELLA und LAMBERT, 1986):

- Verminderung der Schwebstoffbelastung im Sommer, Zunahme im Winter.
- Nur geringe Veränderung des Geschiebetransportes.
- Keine starke Temperaturveränderung, gesamthaft etwas kühler und ausgeglichener.

Figur 7.1 Mittlere monatliche Abflüsse der Aare bei Brienzwiler, Vergleich zwischen dem heutigen Zustand Z0 und dem Zustand Z1 nach der Ausführung des KWO-Projektes (SIGMAPLAN, 1988)



Figur 7.2 Jahresgang der Normalabflusstiefen der mittleren Abflussmengen der Aare bei Innertkirchen und Brienzwiler für den heutigen Zustand Z0 und den Zustand Z1 nach Ausführung des KWO-Projektes (KOELLA und LAMBERT, 1986)



7.2 Quantitative Beeinflussung des Grundwassers

Von Bedeutung ist namentlich der Einfluss, den eine veränderte Anspeisung des Grundwassers und ein veränderter Grundwasserspiegel auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung sowie die Naturschutzgebiete haben könnte.

Wie aus den vorangehenden Ausführungen hervorgeht, ist die Aare nur im östlichen Beckenteil von Innertkirchen sowie zwischen Aareschlucht und Meiringen für die Grundwasserneubildung massgebend. Zwischen Meiringen und Unterbach ist ihre Infiltrationsrate, verglichen mit der Versickerung von Niederschlag, Karst- und Hangwasser von untergeordneter Bedeutung. Auf den übrigen Flussabschnitten herrscht Exfiltration vor.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist durch die Realisierung des Projektes Grimsel-West voraussichtlich mit folgenden Auswirkungen zu rechnen:

1. Das veränderte Abflussregime der Aare verursacht im Sommer eine abnehmende und im Winter eine zunehmende Infiltration. Die durchschnittliche Anspeisung des Grundwassers durch die Aare bleibt aber praktisch unverändert.

Gründe:

- Der mittlere Wasserstand der Aare weicht gegenüber heute um < 0.1 m ab.
- Die benetzte Fläche des Flussbettes verändert sich nicht merklich.
- Der gesamte jährliche Schwebstoff- und Geschiebetransport ändert sich kaum (keine Gefahr für eine zusätzliche Flussbettabdichtung).
- Die Dämpfung der Hochwasserspitzen hat nur vorübergehend eine geringere Infiltrationseinbusse zur Folge.
- Die durchschnittliche Herabsetzung der Viskosität des Flusswassers durch eine Temperaturveränderung von $1 - 2$ °C fällt nicht ins Gewicht.

2. Die durchschnittliche Lage des Grundwasserspiegels bleibt weitgehend gleich (Veränderung < 0.1 m).

Gründe:

- Praktisch unveränderter mittlerer Aarestand.
- Beinahe gleichbleibende Flussinfiltration.

3. Durch das jahreszeitlich stark veränderte Abflussregime der Aare sind für den Grundwasserspiegel die in der Figur 7.3 dargestellten örtlich begrenzten Veränderungen zu erwarten (für die Umwelt sind nur die Gebiete mit einem Flurabstand von $< 2 - 3$ m von Belang, Kap. 5.4).

Gründe:

- Infiltrationsgebiet Innertkirchen Ost: Auf diesem Abschnitt führt die Aare nur Dotierwasser, das im Zustand Z1 gegenüber Z0 im Sommer geringfügig zunimmt und im Winter praktisch gleich bleibt. Der Grundwasserspiegel verändert sich deshalb nicht merklich.
- Exfiltrationsgebiet Innertkirchen-Wychel: Nach der Einleitung des Nutzwassers ergeben sich die in Figur 7.2 dargestellten Wasserstandsänderungen der Aare. Sobald der Fluss Vorfluter des Grundwassers ist, kommt es zu einer entsprechenden Anpassung des Grundwasserspiegels an den Aarestand, insbesondere wenn, wie vor der Aareschlucht, die Exfiltration total ist.
- Infiltrationsgebiet Aareschlucht-Meiringen: Auf diesem Abschnitt ist das Flussbett wenig abgedichtet und die Infiltration dementsprechend bedeutend. Da sich die Infiltration weitgehend proportional zum hydrostatischen Druck, d.h. zur Wassertiefe der Aare verhält, ist mit den dargestellten Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel zu rechnen (Fig. 7.2). Bezeichnenderweise sind in diesem Gebiet auch die grössten, vorwiegend aareabhängigen Grundwasserspiegelschwankungen zu verzeichnen.
- Infiltrationsgebiet Meiringen-Unterheid: Nach der Aarebrücke Willigen-Meiringen nimmt die Kolmatierung des Flussbettes rasch zu, so dass die sehr begrenzte Flusswasserinfiltration in diesem Gebiet nur einen geringen Einfluss auf den Grundwasserspiegel ausübt (< 10 cm). So bewirkt der

heutige andauernd hohe Aarestand im Sommer (Zustand Z0) höchstens einen Grundwasserspiegelanstieg von 10 - 20 cm im Uferbereich.

- Exfiltrationsgebiet Unterheid - Briener See: Der Grundwasserspiegel muss sich dem Niveau des Vorfluters anpassen. Da jedoch nebst der Aare ein ausgedehntes Drainage- und Kanalnetz sowie der Briener See diese Funktion ausüben, wirken sich die Niveauschwankungen der Aare begrenzt aus. Doch wo das Drainagesystem direkt der Aare angeschlossen ist oder wo in Aarenähe keine Entwässerungen bestehen, ist mit den verhältnismässig grössten Auswirkungen zu rechnen (Fig. 7.3).

7.3 Qualitative Beeinflussung des Grundwassers

Da sich die Jahresganglinien Z1 der Aare innerhalb der Bandbreite Z0 befinden, sind keine grösseren gütemässigen Veränderungen für das Grundwasser zu erwarten.

Durch die vermehrte Infiltration im Winter und die abnehmende im Sommer wird die Grundwassertemperatur im Infiltrationsgebiet zwischen Aareschlucht und Meiringen maximal um 0.5 - 1.0 °C abnehmen.

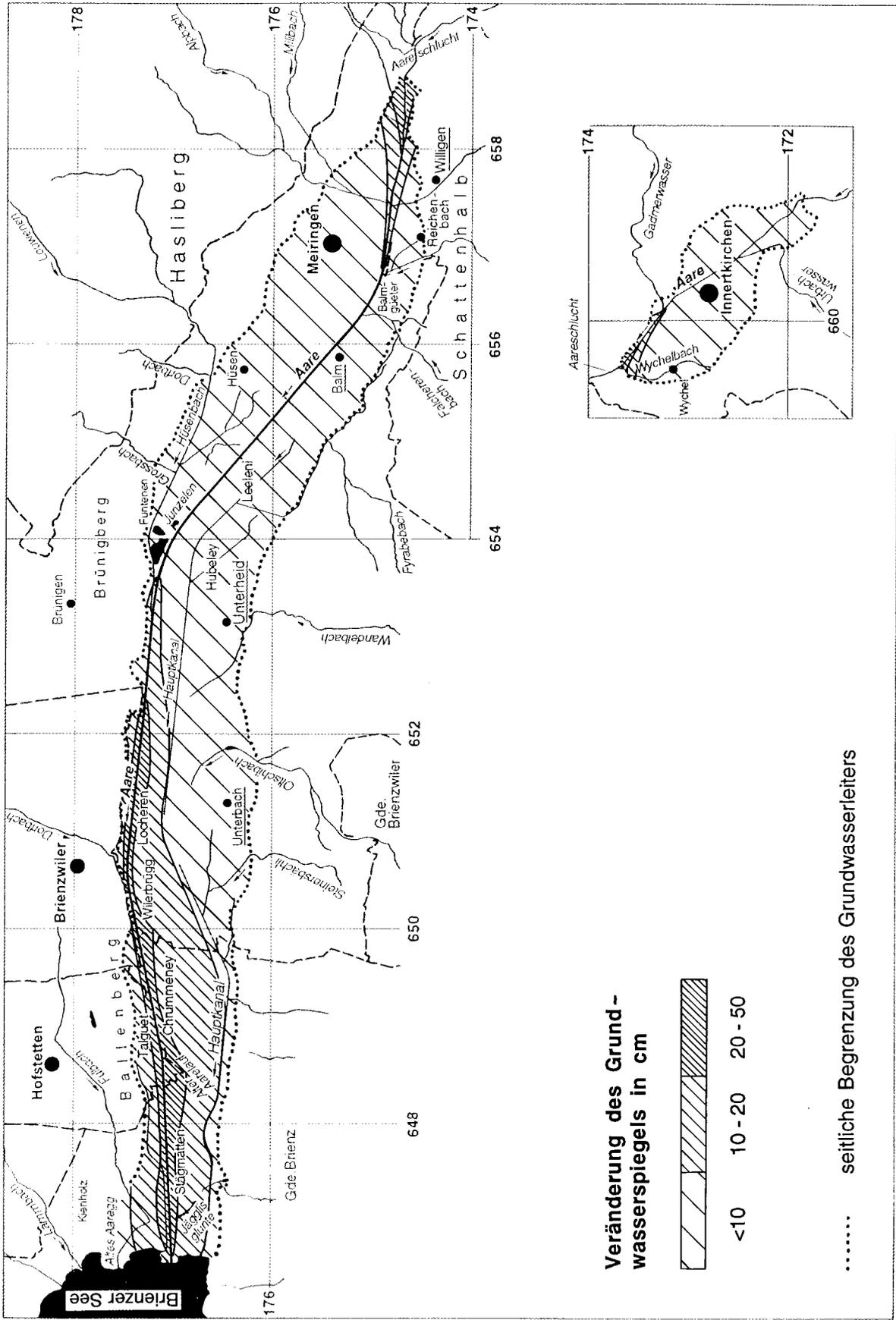
Der ausgeglichene Abfluss der Aare wird eine etwas weniger fluktuierende Mineralisation des Flusswassers zur Folge haben, was sich auch auf das Grundwasser des obigen Gebietes übertragen wird.

7.4 Grundwasserbedingte Auswirkung auf die Umwelt

7.4.1 Naturschutzgebiete (Fig. 7.3)

Da in den Naturschutzgebieten Wychel, Junzlen und Jägglisglunte zur genaueren Ueberwachung der hydrogeologischen Verhältnisse je ein Grundwasserlimnigraph, verschiedene Piezometer und Abstichpunkte am Oberflächengewässer installiert wurden, liegen verlässliche Grundlagen vor, um die Auswirkungen des KWO-Projektes zu beurteilen. Nachstehend sind die für den Zustand Z1 zu erwartenden Grundwasserstandsveränderungen, Δh , angegeben.

Figur 7.3 Voraussichtliche durch das KWO-Projekt verursachte jahreszeitliche Grundwasserspiegelveränderungen gegenüber heute (+ im Winter, - im Sommer) (+ im Winter, - im Sommer)



Wychel:

Für einen der Aare entlang verlaufenden Spickel mit einer maximalen Breite von etwa 30 - 40 m erreicht $\Delta h > 20$ cm. In der daran anschliessenden 50 - 70 m breiten Zone beträgt Δh noch 10 - 20 cm. Im anschliessenden Gebiet liegt die Beeinflussung unter 10 cm.

Junzlen:

In diesem Naturschutzgebiet betragen die Auswirkungen < 10 cm. Höchstens im kleinen Spickel unterhalb des grössten Weihers zwischen Aare und Hüsenbach kann Δh 10 - 20 cm erreichen.

Jägglioglunte:

Das Naturschutzgebiet umfasst den alten Aarelauf zwischen Stägmatten und Wychematten. Dieses Band von 2 ha wird im Zustand Z1 einen veränderten Grundwasserstand von 10 - 20 cm erfahren, mit Ausnahme eines kurzen Teilstückes in Aarenähe, wo der Grundwasserspiegel um mehr als 30 cm reagieren wird.

Das in der Nähe zwischen Autobahn und südlichem Talrand liegende kleine Naturschutzgebiet "Brunnen" von 0.9 ha wird nicht merklich beeinflusst.

7.4.2 Landwirtschaftsgebiete (Fig. 7.3)

Im Becken von Innertkirchen ist nur eine sehr schmale Zone geringfügig betroffen (Δh 10 - 20 cm).

Infolge des sehr grossen Flurabstandes zwischen Aareschlucht und Meiringen haben die Niveauänderungen in diesem Gebiet keinen Einfluss auf die Vegetationszone.

Das Gebiet zwischen Unterheid und Briener See, das abgesehen von den Talrändern einen Flurabstand von < 2 m aufweist und vollumfänglich in der Exfiltrationszone liegt, wird vor allem entlang der Aare beeinflusst. Gegenüber heute wird der durchschnittliche Sommer-Grundwasserspiegel maximal 50 cm unter dem heutigen liegen, während im April-Mai, zu Beginn der Vegetationszone, der Wasserstand nicht stark verändert sein wird. Der Flurabstand wird aber immer noch < 2 m betragen. In Anbetracht der vorwiegend siltig-tonigen Deckschichten (Beilage 1) sollte deshalb der kapillare Nachschub bis zur Wurzelzone auch im Zustand Z1 weitgehend gewährleistet sein. Jedenfalls liegt im Sommerhalbjahr der Grundwasserstand im Zustand Z1 noch innerhalb des heutigen Schwankungsbereichs. Sollte

sich wider Erwarten der tiefere Grundwasserstand im Sommer für die Landwirtschaft nachteilig auswirken, so könnte über das bestehende Drainagesystem die Exfiltration gebremst und der Grundwasserspiegel für weite Gebiete angehoben werden. Bewässerungen wären höchstens lokal und als Notfall denkbar (in vergleichbaren Gebieten des Aaretals wird nicht bewässert).

Der im Winterhalbjahr höher liegende Grundwasserspiegel (Zustand Z1) sollte keine negativen Auswirkungen, wie z.B. Versumpfungen zur Folge haben, da er sich immer noch ca. 30 cm unter dem heutigen Sommerstand befinden wird.

Der Zustand Z1 wird auf einige zu Vernässungen neigende Gebiete mit einem Flurabstand von < 1 m einen positiven Einfluss ausüben.

7.4.3 *Verschiedenes*

- a) Wie schon KOELLA und LAMBERT (1986) erwähnt haben, werden Quellen und Wasserversorgungen vom Projekt nicht betroffen.
- b) Das nutzbare Grundwasserdargebot wird infolge des höheren minimalen Grundwasserstandes im Zustand Z1 leicht erhöht (Kap. 9).
- c) Durch den relativ hohen Aarestand im Winter ergibt sich für die Abwasser-einleitung eine verbesserte Situation. Von der grösseren Verdünnung profitiert indirekt auch etwas die Grundwasserqualität.
- d) Die lokal beschränkte leichte Abkühlung des Grundwassers wird einige bei Meiringen in Aarenähe liegende Grundwasser-Wärmepumpenanlagen tangieren. Die dort zu erwartende Grundwasserabkühlung wird aber kaum 0.5 °C überschreiten.
- e) Durch den ausgeglicheneren Grundwasserstand entlang der Aare zwischen Unterheid und Briener See wird die Auswirkung einiger Grundwasserverschmutzer leicht gedämpft.
- f) Für die im gleichen Gebiet direkt in die Aare mündenden Entwässerungen kommt es etwas weniger häufig zum Rückstau.

8. GRUNDWASSERBILANZ

Als Basis für die Berechnung der Grundwasserabflussmengen dienen einerseits Abflussmengen in Oberflächengewässern und andererseits die geologischen Querprofile (Beilage 1), die Grundwasserisohypsen (Beilage 2) und die k-Wert-Bestimmungen aus Pumpversuchen (die meisten k-Werte sind aus der Beilage 1 ersichtlich). Die zuverlässigsten k-Werte wurden durch Pumpversuche in Fassungen und Sondierbohrungen ermittelt (Kap. 4). Zwischen diesen Punkten erfolgten Abschätzungen aufgrund der elektromagnetischen Messungen (Fig. 4.1), geologischen und morphologischen Interpretationen.

Da sich das Grundwasser des Untersuchungsgebietes im Becken von Innertkirchen vor der Aareschlucht vollständig in die Aare ergiesst und zwischen Unterbach und Briener See ebenfalls zu einem grossen Teil in den Fluss exfiltriert, würden sich zur Ermittlung der Grundwasserabflussmengen Abflussmessungen in der Aare anbieten. In Anbetracht des grossen Abflusses (Minimum 1992/1993 = $7.6 \text{ m}^3/\text{s}$) und den beträchtlichen kurzfristigen Schwankungen ist es jedoch offensichtlich, dass mittels Abflussmessungen In- und Exfiltration nicht bestimmt werden können (Kap. 3). Der Messfehler würde die Grössenordnung derselben übersteigen.

Anders verhält es sich mit den als Vorfluter wirkenden Bächen und Kanälen. Der Wychelbach, der Hüsenbach und der Hauptkanal werden zu einem erheblichen Teil durch Grundwasser angespiesen.

Am 3. und 4. Februar 1993 wurden bei Niederwasser und stabilen Witterungsverhältnissen Abflussmesskampagnen in den obigen Gewässern durchgeführt, die auch die Zuflüsse umfassten. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8.1 - 8.3 dargestellt. Aufgrund der Grundwasserspiegelisohypsen (Beilagen 3 und 4) bzw. des Strömungsbildes und der Querprofile (Beilage 2) kann abgeschätzt werden, wieviel Grundwasser anteilmässig den Bächen sowie Kanälen zuströmt und wieviel sich in die Aare ergiesst. Mit Hilfe der ausgeführten Abflussmessungen lässt sich somit eine pauschale Grundwasserbilanz für Niederwasserverhältnisse hochrechnen.:

Tabelle 8.1: Abflussmessungen im Wychelbach vom 4. Februar 1993 (l/s)

Messpunkt	Koordinaten	Wychelbach	Zuflüsse	
			Hangwasser	Exfiltration
Wychel	659.580/173.100	18		18 ²⁾
Kantonsstrasse	659.420/173.330	34	3 ¹⁾	13
Drainage	659.405/173.440		5	
ARA	659.425/173.540	43	1 ¹⁾	3
Einmündung in die Aare	659.525/173.675	74		31 ²⁾
Zuflüsse			9	65
davon Grundwasser				65

1) geschätzt

2) Grundwasseraufstoss

Tabelle 8.2: Abflussmessungen im Hüsenbach vom 4. Februar 1993 (l/s)

Messpunkt	Koordinaten	Hüsenbach	Bach	Zuflüsse	
				Hauptdrainage	Grundwasser Exfiltration
Schiessstand	655.202/176.750	56	56		
	654.800/176.940	58			2
Bach/Drainage	654.780/176.945		13	14	
Hüsenstein-Bach	654.670/176.995		5		
Drainage	654.670/176.985		43	15	
	654.485/177.075	121			16
Drainage	654.470/177.070			22	
	654.335/177.150	168	12 ¹⁾		13
Drainage	654.325/177.160		72 ¹⁾		
Funtenen-Bach	654.180/177.160		410 ¹⁾		
	653.625/177.210	656			6
Zuflüsse			568	51	37
davon Grundwasser				88	

1) Quellwasser

Tabelle 8.3: Abflussmessungen im Hauptkanal vom 3. Februar 1993 (l/s)

Messpunkt	Koordinaten	Hauptkanal	Bäche	Zuflüsse	
				Hauptdrainage	Grundwasser Exfiltration
Undri Ey	654.390/176.350	5			5
Fyrabebach 2)	654.355/176.320			30	
Drainage	653.600/176.800			87	
Wandelbach	652.310/176.950		35		
Trutzenmeder	651.785/177.030	290			69
Oltschibach	651.740/176.690		104		
Waldey	650.180/176.715	421			27
Bitschi	649.690/176.470		22		
Bättese	649.290/176.415		5		
Han-Erli	648.720/176.485	494			46
Stägmatten	647.430/176.600	480			-14 ¹⁾
Zuflüsse			166	137	177
davon Grundwasser				314	

1) Infiltration

2) führt bei Trockenheit nur Grundwasser

Becken von Innertkirchen:

Exfiltrationsanteil	Wychelbach	ca. 50 %	65 l/s
Exfiltrationsanteil	Aare	ca. 50 %	<u>65 l/s</u>
Gesamte Exfiltration			ca. 130 l/s

Abschnitt Meiringen-Brienzer See:

Exfiltrationsanteil	Hüsenbach	ca. 15 %	88 l/s
Exfiltrationsanteil	Hauptkanal	ca. 55 %	314 l/s
Exfiltrationsanteil	Aare, Parallelkanal zur Aare und Brienzer See	ca. 30 %	<u>175 l/s</u>
Gesamte Exfiltration			ca. 577 l/s

Bei höherem Grundwasserstand nimmt die Exfiltration noch etwas zu, jedoch kaum mehr als 10 %, da sie sich proportional zum Abflussquerschnitt des Grundwasserleiters verhält (vgl. Abflüsse in den Querprofilen, Tab. 8.4). Anteilmässig sind dabei keine wesentlichen Änderungen zu erwarten. Im Becken von Innertkirchen erreicht der Exfiltrationsunterschied zwischen Hoch- und Niederwasser etwa 20 %, da der Gradient durch das benachbarte Infiltrationsgebiet stark beeinflusst wird. Im Gegensatz dazu verändert sich der Gradient des Grundwasserspiegels zwischen Profil V und dem Brienzer See nur wenig, da sich die starken Unterschiede aus der Hauptinfiltrationszone (Profile III und IV) nicht mehr bemerkbar machen.

Da alles Grundwasser exfiltriert, entsprechen die obigen Zahlen der ungefähren Grundwasserneubildungsrate zuzüglich der Evapotranspiration von Grundwasser (namentlich bei einem Flurabstand < 2 m und lehmigen Deckschichten von Bedeutung) sowie allfälligen Grundwasserentnahmen, die hier jedoch kaum ins Gewicht fallen (grösstenteils Wiederversickerung, Kap. 9).

Die in den Querprofilen I - VIII (Beilage 2) anfallenden Grundwasserabflussmengen sind in der Tabelle 8.4 aufgeführt. Auf den ersten Blick scheint eine Unstimmigkeit zwischen den gemessenen Grundwasserexfiltrationsmengen und den berechneten Abflussmengen zu bestehen. Dieser Unterschied ergibt sich jedoch infolge der starken Querströmung (Beilagen 3 und 4) zur Talachse. So würden gemäss den Berechnungen auf der linken Aareseite zwischen den Profilen V und VI 50 l/s exfiltrieren, in Wirklichkeit sind es jedoch gemäss den Abflussmessungen ca. 220 l/s. Die unterschiedlichen 175 l/s werden durch die Querprofile gar nicht erfasst, da sie dem Grundwasserleiter zuströmen und in den Hauptkanal gelangen, ohne die Bilanzierungsprofile zu durchfliessen.

Tabelle 8.4: Grundwasserabfluss bei den Querprofilen I - VIII (l/s)
(Situation Beilage 2)

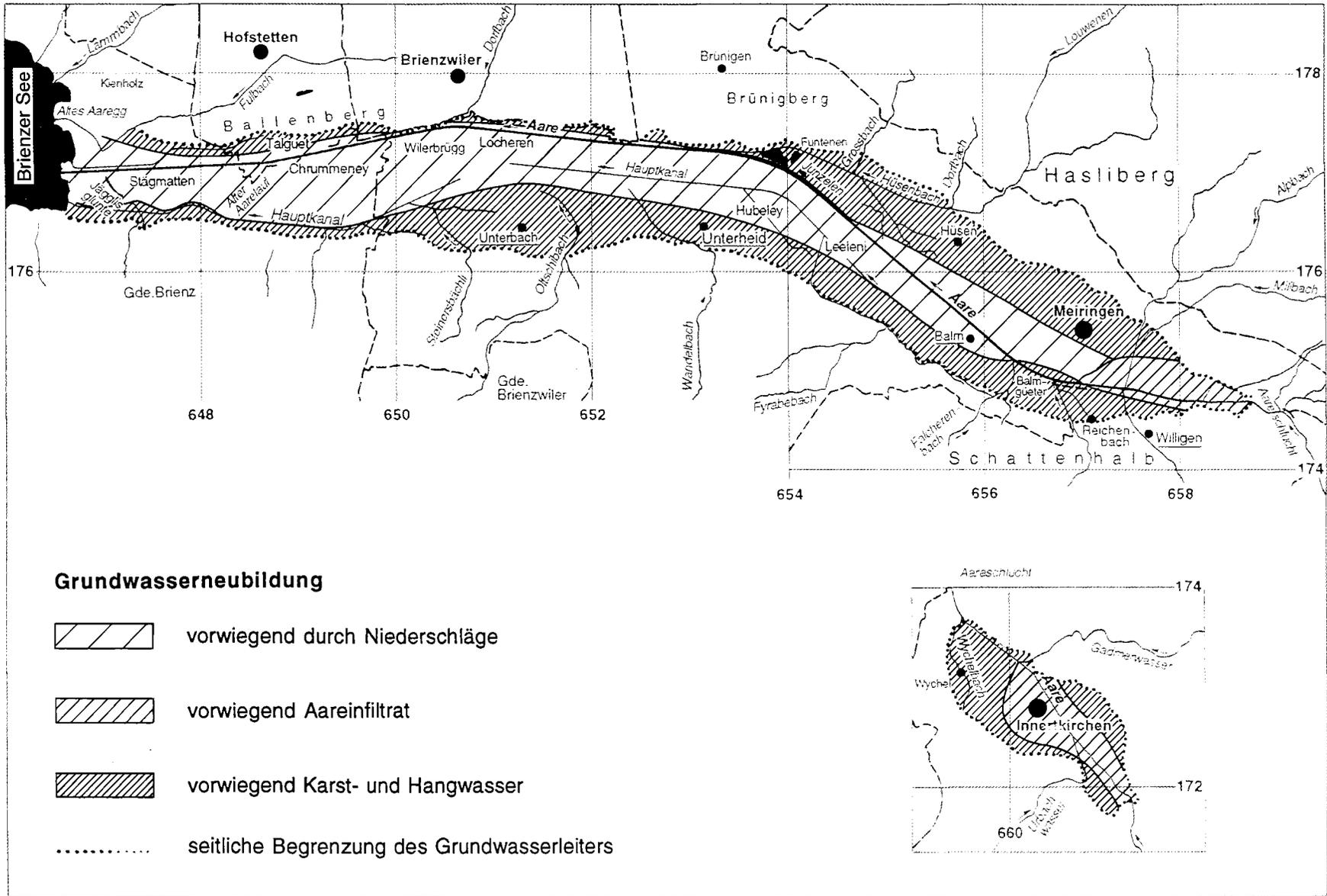
Becken von Innertkirchen:

Querprofil	HW ¹⁾	NW ²⁾	Links der Aare	Rechts der Aare	gesamthaft
I	x	x	81	-6 ³⁾	75
			47	-4 ³⁾	43
II	x	x	85	-	85
			67	-	67

Aareschlucht - Briener See:

Querprofil	HW ¹⁾	NW ²⁾	Links der Aare	Rechts der Aare	gesamthaft
III	x	x	3	15	18
			2	10	12
IV	x	x	40	70	110
			34	58	92
V	x	x	100	90	190
			95	85	180
VI	x	x	49	2	51
			45	2	47
VII	x	x	30	2	51
			27	2	47
VIII	x	x	21	9	30
			20	8	28

- 1) Hoher Grundwasserstand
- 2) Tiefer Grundwasserstand
- 3) Exfiltration



Figur 8.1 Vorherrschende Grundwasserneubildung

Infolge des ausgedehnten Vorflutsystems unterhalb Meiringen und den beträchtlichen peripheren Anspeisungen (Karst-, Quell- und Hangwasser) erfolgt eine ausserordentlich intensive Grundwassererneuerung. Wird die durchschnittliche Grundwasserabflussmenge zwischen Hüsen und Briener See mit der gesamten Infiltrationsmenge verglichen, so findet durchschnittlich alle 1.1 km eine Gesamt-erneuerung des Grundwassers statt (direkte Evapotranspiration von Grundwasser nicht berücksichtigt).

Im Becken von Innertkirchen fliessen gut 1/3 der gesamten Grundwasserabflussmenge durch das Profil I, bevor nach einer Fließstrecke von 400 - 500 m die Exfiltration in den Wychelbach und die Aare einsetzt. Das Profil II erfasst noch gut die Hälfte der totalen Abflussmenge von ca. 130 l/s, die, wie erwähnt, ungefähr der Grundwasserneubildungsrate entspricht (Niederwasserstand).

Die gesamte Grundwasserbilanz entspricht der Exfiltrationsmenge, die bei Niederwasser total ca. 707 l/s beträgt. Bei mittlerem Wasserstand dürfte die Feld-ergiebigkeit etwa 750 l/s erreichen. Für das Becken von Innertkirchen können etwa 150 l/s und für den Talabschnitt Meiringen - Briener See knapp 650 l/s veranschlagt werden.

Eine Abschätzung der Grundwasser-Neubildungskomponenten ergibt unter der grössenordnungsmässigen Annahme einer Evapotranspiration von 50 % des Niederschlags (flach liegendes Gebiet mit häufig schwerdurchlässigen Deckschichten und teilweise hohem Grundwasserspiegel) folgende approximativen Anteile:

Niederschlag	40 %
Aare	15 %
Karst-, Hang- und Bachwasser	45 %

Unter Würdigung aller bisherigen mengen- und gütemässigen Resultate wurde in der Figur 8.1 die vorherrschende Grundwasserneubildung gebietsweise dargestellt.

9. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

9.1 Grundwasserdargebot

9.1.1 Allgemeines

Das gesamte Grundwasserdargebot entspricht im allgemeinen der totalen mittleren Grundwasserabflussmenge oder der Feldergiebigkeit. Indessen kann meist aus verschiedenen Gründen nicht dauernd diese Menge gefördert werden, ohne dass sich negative Einflüsse zeigen. Das nutzbare Grundwasserdargebot erreicht deshalb in der Regel nicht den bilanzierten Grundwasserabfluss.

Sofern andererseits ein Grundwasserleiter in direkter hydraulischer Beziehung zu Oberflächengewässern steht, vermag häufig eine Grundwasserspiegelabsenkung eine zusätzliche Infiltration zu bewirken. Dies ist im vorliegenden Untersuchungsgebiet nur sehr beschränkt der Fall, weil das Aarebett ziemlich stark kolmatiert ist. Da die Kanäle und die in der Ebene verlaufenden Bachläufe meist als Vorfluter für das Grundwasser dienen, wären ziemlich grosse Grundwasserabsenkungen erforderlich, um eine Gefällsumkehr und damit eine Infiltration herbeizuführen. Damit könnten jedoch für ausgedehnte Gebiete problematische Verhältnisse für die Umwelt (Landwirtschaft, Feuchtgebiete) geschaffen werden.

9.1.2 Becken von Innertkirchen

Entsprechend der geschätzten Exfiltration (Kap. 8) beträgt das Grundwasserdargebot etwa 150 l/s, wovon auf die rechte Seite ca. 40 l/s entfallen.

Die einzige Randbedingung, die die Grundwassernutzung einschränkt, ist der beizubehaltende hohe Grundwasserstand im Naturschutzgebiet Wychel. In diesem Exfiltrationsgebiet ist namentlich der minimale Grundwasserspiegel vom Aarestand abhängig. Sofern aber die Nutzung nicht die Feldergiebigkeit übersteigt, kann der Grundwasserspiegel nicht unter das Aareniveau absinken. Für die Bewirtschaftung des Bodens zwischen dem Weiher Wychel und der Aareschlucht dürfte ein etwas tieferer Grundwasserstand eher von Vorteil sein.

Für die rechte Talseite wird ein nutzbares Grundwasserdargebot von 35 l/s postuliert und für das Gebiet links der Aare 85 l/s. Es handelt sich um vorsichtig ermittelte Werte, da die hydrogeologischen Grundlagen ziemlich rudimentär sind.

Sofern der überwiegende Teil der Menge im Siedlungsgebiet entnommen wird, sollten sich für das Naturschutzgebiet Wychel keine Auswirkungen ergeben.

9.1.3 Abschnitt Aareschlucht - Meiringen - Junzlen (rechte Seite)

Das dem Hüsenbach angeschlossene natürliche und künstliche Drainagesystem entwässert praktisch den gesamten rechtsseitigen Grundwasserleiter. Die bei Niederwasserstand ausgeführten Abflussmessungen ergaben gesamthaft 88 l/s (Tab. 8.2) und stimmen mit dem errechneten Abfluss von 85 l/s im Bilanzierungsprofil V gut überein (Tab. 8.4), wobei zu vermerken ist, dass oberhalb des Profils Exfiltrationen und unterhalb davon Infiltrationen in beschränktem Mass vorkommen.

Für die Ermittlung des nutzbaren Dargebots sind nebst der Abflussmenge noch folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Aufgrund der gütemässigen Untersuchungen muss angenommen werden, dass die Aare zwischen Reichenbach und Balm durch das Grundwasser etwas unterströmt wird.
- Infolge des grossen Flurabstandes stromaufwärts von Hüsen (Fig. 4.4) ist der Grundwasserstand in diesem Gebiet für die Umwelt nicht relevant.
- Bedingt durch die starke Exfiltration des Hüsenbaches ist der Grundwasserspiegel im Naturschutzgebiet Junzlen nur geringen Aenderungen unterworfen.
- Für die Landwirtschaft würde ein etwas tieferer Grundwasserspiegel zwischen Hüsen und Junzlen eher Vorteile bieten.

In Anbetracht, dass bei einer Grundwasserspiegelabsenkung im Raum Meiringen ein Grundwasserzufluss von der wasserreichen linken Seite induziert wird, sind für den Verbrauch mindestens 85 l/s verfügbar. Dies entspricht knapp der unbeeinflussten Feldergiebigkeit bei Mittelwasser, wovon für das eingezonte Gebiet von Meiringen - Hüsen 70 l/s veranschlagt werden können.

9.1.4 Abschnitt Aareschlucht - Reichenbach - Balm/Ey (linke Seite)

Im ausgangs dieses Gebietes befindlichen Profil V (Beilage 2) wird der gesamte linksseitige Grundwasserabfluss erfasst, da das Drainagesystem erst unterhalb dieser Stelle wirksam wird. Demnach beträgt die Feldergiebigkeit ca. 85 l/s. Davon ist das die Aare unterströmende Grundwasser schon abgezogen. Für die Nutzung bestehen in diesem Gebiet keine Restriktionen; da der Flurabstand gross ist, d.h. > 3 m beträgt, wird die Umwelt von allfälligen Grundwasserspiegelabsenkungen nicht tangiert. Für die Nutzung können deshalb 80 l/s freigegeben werden. Mindestens 30 l/s davon sind Thermal- und Subthermalwasser (Kap. 6.4).

9.1.5 Abschnitt Balm/Ey - Unterbach

Bis zur Abflussmessstelle Trutzenmeder (Tab. 8.3) fallen im Hauptkanal 188 l/s bei Niederwasser an. Dazu kommt noch eine geringe Aare-Exfiltration, die auf ca. 25 l/s veranschlagt wird.

Dieses Gebiet zeichnet sich durch ein links- und rechtsseitig des Hauptkanals intensiv ausgebildetes Drainagesystem aus, das namentlich das vom südlichen Talrand anfallende Bach-, Karst- und Hangwasser abführt, wobei der Bachwasseranteil in Trockenzeiten sehr gering ist. Infolge dieses grossen Wasseranfalls verläuft die Grundwasserströmung zwischen Unterheid und Unterbach beinahe quer zur Talachse und das Profil VI (Beilage 2) wird nur zu einem Bruchteil davon durchströmt. Dieses Wasser, das ursprünglich durch den nichtkanalisierten, dem südlichen Talrand entlangfliessenden Aarearm aufgefangen wurde (Fig. 4.2), bereitete offenbar der Landwirtschaft Schwierigkeiten.

Obschon aufwendige Massnahmen gegen einen zu hohen Grundwasserspiegel getroffen wurden, ist eine Grundwasserspiegelabsenkung, die unter den heutigen minimalen Grundwasserstand reicht, unerwünscht: Der tiefstmögliche Grundwasserstand ist durch die Höhenlage des Hauptkanals und durch den Aarestand gegeben. Infolge des zum Vorfluter geneigten parabelförmigen Grundwasserspiegels liegt jedoch der mittlere Gebietswasserstand bedeutend höher, auch zu Trockenzeiten. Die nicht ausgedehnten, aber doch immer wieder vorkommenden torfartigen Beimengungen in den Deckschichten könnten bei zu tiefem Grundwasserstand eine permanente Austrocknung erleiden, was zu Bodensetzungen führen würde, die auch Gebäude und das Drainagesystem in Mitleidenschaft ziehen könnten. Derartige Setzungen wurden offenbar schon nach dem Bau der Entwässerungen beobachtet (SIGMAPLAN 1988). Das nutzbare Grundwasserdargebot, das praktisch nur die

linke Seite betrifft, wird deshalb auf 140 l/s beschränkt. Sofern mit einer einzigen Fassung mehr als 25 l/s entnommen werden sollten, bedarf dies einer speziellen Abklärung.

9.1.6 Abschnitt Unterbach - Briener See

Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie beim vorausgehenden Abschnitt, nur dass vermehrt Grundwasser in die Aare und zusätzlich in den Briener See exfiltriert. Nebst den setzungsbedingten Einschränkungen bedingt auch das Naturschutzgebiet Jägglisglunte die Beibehaltung eines minimalen Grundwasserstandes.

Bei Niederwasser fließen bis zum Briener See 73 l/s in den Hauptkanal und schätzungsweise 150 l/s in das Entwässerungssystem der Aare und den Briener See (Kap. 8), wovon ca. 60 l/s auf der linken Seite exfiltrieren. Die approximative Feldergiebigkeit beträgt demnach ca. 60 l/s für die rechte Talseite und für die linke ca. 160 l/s. Zur Gewährleistung eines genügend hohen Grundwasserstandes werden gesamthaft für die rechte Seite ein nutzbares Dargebot von 45 l/s und für die linke Seite 120 l/s postuliert. Es ist offensichtlich, dass diese Mengen nur verteilt über den 5 km langen Talabschnitt entnommen werden dürfen, wobei Fassungen mit über 15 l/s (rechte Seite) bzw. über 25 l/s (linke Seite) einer gesonderten Abklärung bedürfen.

9.1.7 Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der erwähnten Randbedingungen beträgt das nutzbare Grundwasserdargebot im Untersuchungsgebiet, unabhängig von der Wasserqualität, folgende Mengen je Abschnitt:

Gebiet	links		rechts		total	
	l/s	l/min	l/s	l/min	l/s	l/min
Becken von Innertkirchen	85	5'100	35	2'100	120	7'200
Aareschlucht - Meiringen - Junzlen	-	-	85	5'100	85	5'100
Aareschlucht - Reichenbach - Balm/Ey	80	4'800	-	-	80	4'800
Balm/Ey - Unterbach	140	8'400	-	-	140	8'400
Unterbach - Briener See	120	7'200	45	2'700	165	9'900
	425	25'500	165	9'900	590	35'400

Mit einem nutzbaren Grundwasserdargebot von gesamthaft 590 l/s oder 35'400 l/min gehört das untersuchte Haslital (16 km²) zu den ergiebigen Grundwasservorkommen des Kantons Bern. Zum Vergleich erreicht das Dargebot etwa 60 % des sehr grundwasserreichen Bödli - Interlaken (14 km²) (WEA 1985).

Das projektierte KWO-Projekt Grimsel-West hätte auf das nutzbare Grundwasserdargebot infolge der geringeren Minimalwasserstände einen günstigen Einfluss.

9.2 Grundwassernutzung

9.2.1 Bestehende Nutzung

Eine Uebersicht der konzessionierten Grundwasserentnahmen vermittelt Tabelle 9.1. Insgesamt bestehen Konzessionen zur Nutzung von 9'259 l/min, wovon nur 720 l/min auf Trinkwasser entfallen und 760 l/min auf Brauchwasser. Die grösste Menge, d.h. 7'189 l/min wird jedoch für die Energiegewinnung verwendet, zudem fallen ca. 590 l/min für Kühlzwecke an.

Der effektive Wasserbezug beträgt nur einen Bruchteil der Konzessionswassermenge, da die Konzession meist der installierten Pumpenleistung entspricht, die aber nur zum Abdecken von Bedarfsspitzen dient. Insgesamt wurden in den letzten Jahren durchschnittlich nur 2'000 l/min verwendet. Das für die Energiegewinnung benötigte Grundwasser wird wieder versickert und beeinflusst daher die Grundwasserbilanz nicht, so dass eine Nettoentnahme von nur 78 l/min resultierte. Gesamthaft wird somit im Untersuchungsgebiet nur etwa 6 % des nutzbaren Grundwasserdargebots oder gut ein Fünftel der konzessionierten Entnahmemenge gebraucht.

9.2.2 Grundwasserbewirtschaftung

9.2.2.1 Allgemeines

Wie erwähnt, entsprechen die erteilten Konzessionen für die Grundwasserentnahme im allgemeinen dem möglichen Spitzenverbrauch oder der installierten Pumpenleistung. Die konzessionierte Entnahmemenge kann deshalb um ein Mehrfaches über der durchschnittlichen Entnahmemenge liegen, wie dies praktisch bei allen Konzessionsnehmern der Fall ist (Tab. 9.1). Dank dem grossen Speichervolumen des Grundwasserleiters ist auch eine vorübergehende Entnahme möglich, die bedeutend über dem nutzbaren Dargebot liegt. Verglichen mit dem heutigen Verbrauch sind die Grundwasserreserven demnach ausserordentlich hoch.

Gemeinde, Verbraucher	Kat. 1)	Koordinaten	Konzessionierte Leistung l/min.	Entnahmemenge m ³ /a			Ø l/min
				1991	1992	1993	
Brienz::							
Michel - Grossmann Kaspar	D	647.720/177.200	59	-	-	-	-
Zobrist Ernst	D	646.540/177.490	39	-	-	-	-
Innertkirchen:							
Schumacher Walter	D	659.580/173.160	85	-	-	-	-
Meiringen:							
Elektrowerke Reichenbach Frey + Cie	D	656.070/175.520	150	4'064	24'150	33'658	39
Eidgenossenschaft	A	652.220/176.340	720	12'234	13'195	13'545	25
Kieswerk Steinigand AG	B	655.560/175.260	500	13'026	11'908	36'775	39
Bauherrengemeinschaft Banholzer + Rufibach	D	656.850/175.300	465	-	105'000	92'400	188
Bauherrengemeinschaft Banholzer + Rufibach	D	656.850/175.300	375	-	70'800	64'167	128
Oberli Hermann	D	656.720/176.040	80	4'600	4'742	3'800	8
Hegglin Joe	D	655.750/176.000	104	-	-	-	-
GHELMA AG SKISAB	B	656.450/174.930	200	7'500	7'200	6'900	13
Winterberger Hans	D	656.340/175.700	452	-	-	-	-
Brügger AG	D	657.000/175.560	469	80'435	56'717	53'687	121
Glatthard Arnold Hotel Sherpa	D	657.100/175.490	165	-	-	-	-
Glatthard Arnold Hotel Sherpa	C	657.100/175.490	195 ³⁾	-	-	-	-
Dorfgemeinde	D	657.520/174.900	1'066	75'523	88'633	82'442	156
Tenniszentrum Meiringen AG	D	657.350/174.905	500	-	-	-	-
Haus + Herd	D	656.600/175.680	360	-	6'545	112'600	112
Pulfer Samuel	D	657.300/175'685	67	3'500	3'200	3'360	6

Tabelle 9.1: Konzessionierte Grundwasserentnahmen (Dezember 1993)

Tabelle 9.1: Fortsetzung

Gemeinde, Verbraucher	Kat. 1)	Koordinaten	Konzessionierte Leistung l/min.	Entnahmemenge m ³ /a			Ø l/min
				1991	1992	1993	
Fortsetzung Meiringen::							
Egger Christian	D	655.670/176.440	52	3'358	3'560	3'065	6
Beer Heinz	D	657.610/174.980	50	4'048	3'727	3'710	7
Teuscher Hans	D	655.450/176.520	69	-	-	-	-
Maurer Heinz	D	657.110/175.190	88	17'250	17'236	15'255	32
Matti Dora	D	657.200/175.200	884	71'230	70'811	56'678	126
Anderegg Ernst	D	657.820/175.160	50	7'510	7'951	6'995	14
Eidg. Zeughaus	B	656.000/175.200	60	19	36	1'000	1
Stockwerkeigentümer- gemeinschaft Ueberbauung Wysland	D	656.250/176.050	550	-	-	-	-
Tschan Felix	D	656.900/175.720	80	-	3'135	12'072	14
Day Markus	D	656.900/175.720	80	-	5'620	8'250	13
Schattenhalb:							
Eidg. Zeughaus	C	658.000/174.600	395 3)	-	-	-	60
Private Nervenlinik	D	657.190/174.560	850	-	-	-	-
Total			9'259				1'108
Verbrauch hochgerechnet 2)							ca. 2'000

1) Kategorie, Verwendungszweck: A Trinkwasser, B Brauchwasser, C Kühlwasser, D Wärmegewinnung (C und D werden wieder versickert)

2) Von verschiedenen Konzessionsnehmern ist der effektive Verbrauch nicht bekannt (Pauschalabrechnung)

3) Konzession in MJ/h in approx. l/min umgerechnet

Die Nutzungs- und Schutzkarte (Beilage 6) zeigt, welche Grundwassergebiete für die verschiedenen Nutzungszwecke geeignet sind. Die Ausscheidung der Nutzungsbereiche erfolgte nach folgenden hauptsächlichsten Kriterien:

- Hydrogeologische Verhältnisse
(Durchlässigkeiten und Mächtigkeit des Grundwasserleiters)
- Hydrochemische Verhältnisse
- Besiedlungsdichte (Bauzonen) und Verkehrsadern
- Ausbildung der Deckschichten
- Bestehende Grundwasserfassungen

Ausgehend von diesen Kriterien wurden nachfolgende Gebiete ausgeschieden, wobei der potentiellen Trinkwassergewinnung Priorität eingeräumt wurde.

9.2.2.2 Nutzungsbereiche (Beilage 6)

Bereich für Trinkwassergewinnung geeignet

Im gesamten Grundwassergebiet besteht nur eine Trinkwasserfassung, diejenige der Eidgenossenschaft bei Unterbach (ohne Schutzzone). Unter anderem, um Pumpkosten zu sparen, decken sich Gemeinden und Private für die Trinkwasserversorgung mit Quellwasser ein, das nördlich und südlich des Aaretals reichlich vorhanden ist. Aus verschiedenen Gründen (Erneuerung der meist langen Zuleitungen und umfangreichen Fassungsanlagen, vermehrter Wasserverbrauch, beeinträchtigte Wasserqualität etc.) ist es trotzdem für die langfristige Versorgungssicherheit sinnvoll, Gebiete für die Trinkwasserversorgung sicherzustellen.

Diese Gebiete haben folgende Kriterien zu erfüllen:

- Weitgehend unbesiedelt und ausserhalb der eingezonten Siedlungsflächen.
- k-Wert Grundwasserleiter $> 5.0 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- Grundwasserletermächtigkeit > 6 m.
- Die Wasserqualität entspricht den gesetzlichen Anforderungen an Trinkwasser und weist in der Regel eine genügende Sauerstoffsättigung auf.

Bereich für Trinkwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet

Für diese Gebiete gelten grundsätzlich ähnliche Kriterien wie bei den vorangehenden. Infolge einer oder mehrerer Randbedingungen ist jedoch eine Trinkwassernutzung nur mit Vorbehalt sinnvoll:

- Im Becken von Innertkirchen ist der südöstliche Bereich bei Unterurbach und Achistein etwas eingeschränkt durch die fragliche Feldergiebigkeit und den zu gewährleistenden Schutz (u.a. Grimselstrasse). Im Bereich zwischen Stapfen und Wychel sind es namentlich Landwirtschaftsbetriebe, die die Schutzzonenauscheidung erschweren. Eingangs der Aareschlucht schränken die ARA und das Naturschutzgebiet (hochliegender Grundwasserspiegel) eine Trinkwassernutzung ein.
- Die verschiedenen Bereiche zwischen Meiringen und Unterbach sind entweder in ihrer Ergiebigkeit etwas limitiert (Randgebiete Bodenweid und Wiltschen) oder sind durch oberstrom liegende Ueberbauungen und Landwirtschaftsbetriebe leicht gefährdet.
- Der kleine Bereich bei Goldey ist sowohl aus güte- wie mengenmässigen Gründen für eine Trinkwasserentnahme nicht über alle Zweifel erhaben.

Bereich für Brauchwassergewinnung geeignet

Die hydraulischen Entnahmebedingungen sind für diese Gebiete günstig, aus schutzzonentechnischen und teilweise qualitativen Gründen fallen sie jedoch für die Trinkwasserversorgung ausser Betracht.

Bereich für Brauchwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet

Dem vorangehenden Bereich gegenüber sind die Nutzungsmöglichkeiten in diesen Gebieten namentlich aus qualitativen Gründen stark eingeschränkt. Vor allem die starke Sauerstoffuntersättigung mit ihren Begleiterscheinungen erschweren einen störungsfreien Wasserversorgungsbetrieb. Entlang der Talränder ist die Feldergiebigkeit teilweise eingeschränkt (Entnahme pro Fassung < 400 l/min.).

Bereich für Grundwassernutzung wenig geeignet

Diese Gebiete sind für die Entnahme von Grundwassermengen > 200 l/min. ziemlich ungeeignet. Es handelt sich durchwegs um Talrandgebiete, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass an weiteren Stellen am unmittelbaren Rand des Grundwasserleiters noch vermehrt derartige schmale Bereiche auftreten.

9.2.2.3 Trinkwassernutzungsmöglichkeiten

Die Möglichkeiten zur Entnahme von Trinkwasser im Untersuchungsgebiet sind sehr gross und übersteigen auch langfristig den Bedarf bei weitem. Insgesamt stehen ohne Vorbehalt 12'500 l/min und gesamthaft 20'800 l/min Trinkwasser zur Verfügung. Es erscheint deshalb wenig sinnvoll, grössere Grundwassermengen exklusiv für die Trinkwassernutzung zu reservieren. Viel wichtiger dürfte der Schutz einiger für die Trinkwassergewinnung vorbehaltener Bereiche sein.

Aus schutzzonentechnischen Gründen stehen dabei folgende Gebiete im Vordergrund:

- Innertkirchen = Bereich zwischen Heiteren (Aare) und Grund (ca. 2'000 l/min)
- Meiringen = Zwischen Aareschlucht und Sand (ca. 1'500 l/min)
- Unterheid-Unterbach = Choley (ca. 800 l/min)

Aus Sicherheitsgründen oder infolge eines grösseren Bevölkerungszuwachses (inkl. Tourismus) ist es denkbar, dass zusätzlich zur gegenwärtigen Quellwasserversorgung vermehrt der Bedarf an qualitativ einwandfreiem Grundwasser aufkommen wird. Unter Berücksichtigung der umliegenden Gemeinden Brienzwiler, Hofstetten, Schwanden und Brienz steht mit Ausnahme des Abschnittes Unterbach - Briener See überall ein Angebot zur Verfügung, das über der potentiellen Nutzungsmöglichkeit liegt.

9.2.2.4 Energiegewinnung

In Meiringen befinden sich über 20 Wärmepumpenanlagen, die Energie aus dem Grundwasser entziehen. Es ist damit eines der Gebiete mit der dichtesten Anlagendichte im Kanton. Wie aus der Tabelle 9.2 hervorgeht, sind jedoch die Nutzungsmöglichkeiten noch lange nicht ausgeschöpft, dies umso mehr, als ein grosser Grundwasserspeicher vorliegt, der bewirtschaftet werden kann. Zudem wird das abgekühlte Wasser wieder restlos versickert.

Tabelle 9.2: Basisdaten für die Grundwasserbewirtschaftung

Grundwassergebiet	Nutzbares Dargebot l/min	Konzedierte Entnahme ¹⁾ l/min	Effektive Nutzung ²⁾		Mögliche Zusatznutzung		
			gesamt l/min	davon nicht versickert l/min	gesamt l/min	davon Trinkwasser mit Vorbehalt l/min	ohne Vorbehalt l/min
Becken von Innertkirchen	7'200	85	20	-	7'200	1'100	4'000
Aareschlucht - Meiringen - Junzlen	5'100	6'411	1'350	20	5'080	1'500	2'500
Aareschlucht - Reichenbach - Balm/Ey	4'800	1'945	450	200	4'600	2'000	1'400
Balm/Ey - Unterbach	8'400	720	150	150	8'250	1'700	4'600
Unterbach - Brienersee	9'900	98	30	-	9'900	2'000	-
Total	35'400	9'259	2'000	370	35'030	8'300	12'500

1) Stand Dezember 1993

2) hochgerechnet

3) Für die langfristige Versorgungssicherheit von Trinkwasser wird nur ein Bruchteil davon benötigt

Die Entnahmegrenze ergibt sich durch die zur Verfügung stehende Wärmekapazität. Zukünftige Gesuche werden deshalb zunehmend genau den Nachweis erbringen müssen, dass die Rückgabe des abgekühlten Wassers nicht bestehende Anlagen tangiert.

Einen Sonderfall bildet das Thermal- und Subthermalwasser von Willigen (Kap. 6.4.6). Hier liegen noch beträchtliche Energiereserven brach, die einem Energiepotential von mehreren 100'000 l Heizöl pro Jahr entsprechen. Das durch die Private Nervenklinik AG Meiringen gefasste Wasser wird für die Warmwasseraufbereitung, für Heizzwecke sowie für den Betrieb eines Hallenbades verwendet.

9.3 Grundwasserschutz

Der Grundwasserleiter der Talsohle sowie die meisten angrenzenden Gebiete befinden sich im Gewässerschutzbereich A der Gewässerschutzkarte des Kantons Bern 1:25'000, Blatt 1209 (Brienz) und Blatt 1210 (Innertkirchen).

Es bestehen keine rechtsgültigen Schutzzonen für öffentliche Grundwasserfassungen oder von lebensmittelverarbeitenden Betrieben. Da die Erstellung einer Grundwasserfassung für die Öffentlichkeit zur Zeit nicht dringend ist, drängt sich auch die Ausscheidung eines Schutzareals nicht auf, um das Gebiet einer zukünftigen Fassung sicherzustellen.

Im Verlauf der Untersuchungen wurden verschiedene Altlasten entdeckt, die z.T. das Grundwasser massiv verschmutzen.

Die Deponie Balmgüeter zwischen Reichenbach und Balm, eine alte, in Auffüllung begriffene Kiesgrube, stellt mit Abstand den grössten Verschmutzungsherd dar (Kap. 6.3.2.2). Sie verursacht eine über 1 km lange Verschmutzungsfahne, die die Aare unterströmt und beinahe bis Summerauli reicht. Zur Illustration des Verschmutzungsgrades seien nochmals die unmittelbar stromabwärts der Deponie im Grundwasser vorgefundenen Verunreinigungsindikatoren erwähnt (siehe auch Tab. 6.4):

Oxidierbarkeit	mg KMnO ₄ /l	36.0
Ammonium	mg NH ₄ /l	13.1
Gesamteisen	mg Fe/l	11.3
Gesamtangan	mg Mn/l	2.14
Chlorierte Lösungsmittel	µg Cl/l	2.0

Auf recht massive Grundwasserverunreinigungen weisen auch zwei Sodbrunnen von Landwirtschaftsbetrieben hin, S4 (650/177.20) bei Locheren/Linden und S1 (648/177.20) bei Talguet:

		S4	S1
Oxidierbarkeit	mg KMnO ₄ /l	30	41
Nitrat	mg NO ₃ /l	438	46
Ammonium	mg NH ₄ /l	3.28	0.15

Namentlich aufgrund der hohen Oxidierbarkeitswerte sind jedoch noch weitere Punkte an der Grundwasserverschmutzung in diesem Gebiet beteiligt. Die Qualität des Grundwassers wird beidseits der Aare innerhalb einer ca. 4 km langen Fahne beeinträchtigt (Kap. 6.3.2.2).

Wie aus der Beilage 1 ersichtlich ist, stösst man überall im Talboden auf Aufschüttungen. Häufig handelt es sich um zugeschüttete Kiesgruben, wie z.B. bei Junzlen. Aufgrund der chemischen Grundwasseranalysen wurde dabei nicht immer einwandfreies Schüttgut verwendet. Als Verdachtsflächen sind die Aufschüttungen (Karbiddeponie?) Mätteli (651.650/176.150) südlich Unterbach zu nennen, die Aufschüttung bei P4 (653/177.13) in Junzlen sowie diejenige im alten Aarelauf (648.600/176.900) westlich Chrummeney. Ohne Zweifel wird der gegenwärtig unter der Leitung des Kantonalen Gewässerschutzamtes laufende Altlastenkataster weitere Objekte zum Vorschein bringen.

Wie erwähnt, befindet sich der gesamte untersuchte Grundwasserleiter im Gewässerschutzbereich A. Anlagen und Einrichtungen, die das Grundwasser wesentlich gefährden, sind verboten, wie z.B. Kehrrechtdeponien und Meliorationen,

die die Grundwasserspeisung wesentlich stören. Da Kiesgruben und ihre Aufschüttungen, namentlich wenn sie bis ins Grundwasser reichen, eine latente Gefahr für das Grundwasser darstellen, ist auch ein Nassabbau von Kies grundsätzlich nicht mehr gestattet. Eine Ausnahme bildet noch das im Gebietsspickel von Junzlen (Funtenen) befindliche Kieswerk.

Für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung der Talsohle sowie für die verschiedenen Naturschutzgebiete ist die Einhaltung des Grundwasserspiegels innerhalb des heutigen Schwankungsbereichs äusserst wichtig. Eingriffen im Oberflächengewässernetz (Aare, Hauptkanal etc.) müssen deshalb Grundwasserabklärungen vorausgehen.

Im Hinblick auf die zahlreichen Sodbrunnen und Wasserfassungen muss namentlich den Deckschichten besondere Beachtung geschenkt werden. Dabei gilt es, insbesondere bei Eingriffen ins Grundwasser keine präferenziellen Sickerwege zu schaffen. Besondere Vorsicht ist bei einer künstlichen Versickerung von Meteor- und Drainagewasser walten zu lassen. Potentielle Gefahrenherde bilden ebenfalls Sickerbrunnen und -schächte der zahlreichen Wärmepumpenanlagen.

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR

ARBENZ, P. (1911): Geologische Karte des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen, 1:50'000, Spez.-Karte 55. - Schweiz. geol. Kommission.

BODMER, R. (1976): Pollenanalytische Untersuchungen im Briener See und im Bödéli bei Interlaken. - Mitt. natf. Ges. Bern, N.F. 33, 3-20.

GUENZLER-SEIFFERT, H. (1924): Der geologische Bau der östlichen Faulhorngruppe im Berner Oberland. - Eclogae geol. Helv. 19/1, 1-87.

GUENZLER-SEIFFERT, H. (1952): Die tektonischen Beziehungen zwischen links und rechts vom Unterhasli. - Eclogae geol. Helv. 52/2, 299-301.

HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete; Bd. 1. - Ott, Thun.

KELLERHALS, P. & HAEFELI, CH. (1982): Geologische Karte 1:5'000 des Brüniggebietes. - Unpubl. Karte für die N 8 im Auftrag des Autobahnamtes des Kantons Bern.

KELLERHALS P. & HAEFELI, CH. / DR. VON MOOS AG (1982 und 1983): Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet des Brünigpasses. - Unpubl. Gutachten im Auftrag des Autobahnamtes des Kantons Bern.

KELLERHALS P. & HAEFELI CH. (1983 a) und b)): Erkundung und Nutzung des Thermalwasservorkommens bei Willigen. - Gutachten im Auftrag der Privaten Nervenlinik AG, Meiringen.

KELLERHALS P. & HAEFELI CH. (1983 c)): Ueberwachung der Grundwasserhältnisse in Meiringen. - Gutachten im Auftrag des WEA, Bern.

KELLERHALS P. & HAEFELI CH. (1984): Erkundung und Nutzung des Thermalwasservorkommens bei Willigen. - Gutachten im Auftrag der Privaten Nervenlinik AG, Meiringen.

KOELLA, E. UND LAMBERT, A. (1986): UVP, Ausbau KWO, UVP - Bericht Teil 3, Teilbericht 1: Hydrologie/Limnologie. - Kraftwerke Oberhasli AG (KWO).

LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. - Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.

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

MATTER, A., DESSOLIN, D., STURM, M. & SUESSTRUNK, A.E. (1973): Reflexionsseismische Untersuchungen des Briener Sees. - *Eclogae geol. Helv.* 66/1, 71-82.

MICHEL, F.C. (1922): Geologische Karte und Profile des Brienergrates, 1:50'000, Spez.-Karte 95. - Schweiz. geol. Kommission.

MIRANJ A. (1764): Plan Topographique du cours d'Ar dans la plaine ou vallée d'Oberhasli, jusques au lac de Brienz.

MUELLER, F. (1938): Geologie der Engelhörner, der Aareschlucht und der Kalkkeile bei Innertkirchen. - Beiträge geol. Karte Schweiz NF 74; (inkl. geolog. Karte des Kirchet-Riegels 1:10'000).

PILLOUD, A. (1990): Bau und jurassische präorogene Tektonik der helvetischen Hauptschubmasse im Berner Oberland. - Diss. Univ. Bern (unpubl.).

SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT: Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den Meteorologischen und Regenmess-Stationen der Schweiz. - MZA, Zürich.

SCHWEIZERISCHES LEBENSMITTELBUCH (1985): Kapitel 27: Trinkwasser und Mineralwasser. - Eidg. Lebensmittelbuch-Kommission, Bern.

SIEGENTHALER, U., SCHOTTERER, U. UND OESCHGER, H. (1983): Sauerstoff-18 und Tritium als natürliche Tracer für Grundwasser. - *Gas - Wasser - Abwasser* 63/9.

SIGMAPLAN (1988): Umweltverträglichkeitsbericht zum Ausbauprojekt der KWO (1988). - Kraftwerke Oberhasli AG (KWO).

SPENGLER, D. (1974): Limnologische, hydrologische und morphologische Untersuchungen im Faulhorngebiet (Berner Oberland). - Diss. Univ. Bern (unpubl.).

STUMM, W. (1988): Chemischer Prozess bei der Bildung anoxischer Grundwasser. - Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 6/88.

TROEHLER, B. (1966): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. Geologie der Glockhaus-Gruppe mit besonderer Berücksichtigung des Eisenoolithes der Erzegg-Planplatte. - Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Serie, XIII/10.

WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (1981): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Aaretal zwischen Thun und Bern. - WEA, Bern.

WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (1985): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Bödéli-Interlaken. - WEA, Bern.

WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (1989): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Seeland: Infiltration aus Hagneckkanal und Alter Aare. - WEA, Bern.

WILDBERGER, A., GRUNER, U. & SIEGENTHALER, U. (1982): Markierversuche und weitere hydrologische Untersuchungen im Karst des Brienerseeegrates und des Brünigpasses. - Akten des 7. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung, Schweiz. Ges. für Höhlenforschung, Schwyz, 24. - 26. Sept. 1982, 249-267.

ANHANG

Profile der Bohrungen

**KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6, KB7, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8,
P9, P10**

(mit WEA-Ordnungsnummern)

Bohrfirma: Stump Rohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrung P 1 (659/173.39)

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 9.10.91 bis 11.10.91

Koordinaten: 659.580/173.490 OK Terrain 617.04 m ü.M. OK Rohr 618.52 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	4 1/2" Beobachtungsrohr ϕ	Filter	m ü.M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
20.3				Bohrgut Ton Sand		± 0 0.10 0.95 2.25 2.95 3.20 4.40 5.55 5.68 7.40 8.75 9.05 10.35 10.50 10.90 11.60 11.80 12.00 15.65 18.00	<p>Humus</p> <p>künstliche Auffüllung: siltiger Sand mit Ziegelbruchstücke</p> <p>sauberer Sand mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 11 cm ϕ, braun</p> <p>siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ, braungrau</p> <p>Steine mit ϕ bis 18 cm</p> <p>siltiger Kies mit mässig Sand und vereinzelt Steinen bis 12 cm ϕ, grau</p> <p>sauberer Sand mit viel Kies und mit Steinen bis 9 cm ϕ, braun</p> <p>Block aus Granit</p> <p>leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm, braun</p> <p>sauberer Kies mit viel Sand und vereinzelt Steinen bis 11 cm ϕ, braungrau</p> <p>Steine bis 16 cm ϕ</p> <p>sauberer Kies mit wenig bis mässig Sand und vereinzelt Steinen bis 15 cm ϕ, braungrau</p> <p>Block aus Granit</p> <p>siltiger Sand mit mässig Kies, hellbraun</p> <p>sauberer Sand mit sehr wenig Kies</p> <p>hellbrauner sauberer Sand</p> <p>toniger Silt mit viel Sand und mit Pflanzenresten, hellbraun</p> <p>sauberer Sand, hellbraun</p> <p>toniger Silt, mittlere bis kleinere Plastizität, mit viel Sand, grau</p>			Deckschicht z.t. künstlich	GW-Spiegel -0.91m ab OkT. am 11.10.91	
16.8		100%		Kies						Aareschotter	K-Wert = $4.5 \cdot 10^{-3}$ m/s	
										Ueber-schwemmungs-sedimente		

Bohrung P2 (656/175.19)

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 2.10.91 bis 3.10.91

Koordinaten: 656.365/175.005 OK Terrain 594.23 m ü.M. OK Rohr 594.16 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- 4 1/2" ach- rühr φ Filter	Filter	m ü.M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
20.3						± 0 0.05	Humus Deponiematerial: Pauschutt, Meer, Plastik in schwarzer, siltiger Matrix			künstliche Auffüllung		
				Bohrgut		1.80	leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm Ø, braun					
				Ton		2.35	sauberer Kies mit mässig Sand und mässig Steinen bis 12 cm Ø, grau					
				Sand		4.50	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm Ø, braun					
				Kies		6.00	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und mässig Steinen bis 18 cm Ø, braun			Aareschotter		
16.8		100%				9.70	stark siltiger Kies mit sehr wenig Sand und mit mässig Steinen bis 15 cm Ø, grau				GW-Spiegel am 3.10.91 -9.69m ab Ok T.	
						11.05	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm Ø, braun					
						13.50	sauberer Sand mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 10 cm Ø, braun					
						14.00	stark siltiger Kies mit mässig Sand und mit Steinen bis 16 cm Ø					
						15.40					K-Wert=2.5·10 ⁻³ m/s	

Bohrung P4 (653/177.13)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 7.10.91 bis 9.10.91

Koordinaten: 653.990/177.085 OK Terrain 582.13 m ü. M. OK Rohr 583.54 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	4 1/2" Beobachtungsrohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen	
								Feld	Labor				
20.3			Vollbohrung	Bohr- gut		± 0.07	Humus Deponiematerial: Schlacken, Knochen, Ziegelsteine, Metallbruchstücke, Metalldraht in siltigem Kies mit Sand			künstliche Auffüllung	GW-Spiegel am 9.10.91 -1.42m ab Ok T.		
				Ton			2.70	siltiger Kies mit viel Sand und Steinen (Granit) bis 12 cm ϕ , grau					
			100%	Sand									
				Kies			4.65	sauberer Kies mit mässig Grobsand und Steinen bis 12 cm ϕ , grau					
							7.70	sauberer Kies mit viel Grobsand und vereinzelt Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
							9.65	sauberer Sand mit mässig Kies, grau					
							10.55	sauberer Kies mit viel Sand, grau					
							12.00	tonig-siltiger Kies mit sehr wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm ϕ					
							13.10	tonig-siltiger Sand mit Pflanzenreste und mit Kies					
							13.50	sauberer Sand mit mässig Kies und einigen Steinen aus Granit					
							14.50	siltiger Ton mittlerer Plastizität, mit zersetztem organischem Material (Torf), graubraun					
							16.00						
16.8											Aareschotter	K-Wert = $1.1 \cdot 10^{-3}$ m/s	
										Stillwasser-ablagerungen			

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrung P 5 (647/176.36)

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 30.9.91 bis 30.9.91

Koordinaten: 647.365/176.640 OK Terrain 567.97 m ü. M. OK Rohr 569.33 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	4 1/2" Beob- achtungs- rohr φ	Voll- Filter	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasser- leiters	Bemerkungen
									Feld	Labor			
20.3					Bohr- gut		± 0 0.15	Humus			Vegetations- schicht		
					Ton		0.70	leicht toniger Silt mit wenig Sand und mit organ. Beimengungen, hellbraun					
								sauberer Sand mit mässig Kies, braun					
							2.70	Steine ø 12 cm					
							2.80	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ø, braun					
							3.55	leicht siltiger Kies mit mässig Sand, braun			Aareschotter		
		100%					4.55	sauberer Kies mit mässig Sand, braun					
18.6					Kies		6.35	leicht siltiger Sand mit sehr wenig Kies, hellbraun					
							7.30	toniger Silt mit mässig Sand und Torflagen, grauschwarz					
							8.30	leicht toniger Silt mit viel Sand, hellgrau			Stillwasser- ablagerungen		
							9.20	toniger Silt mit wenig Sand (kleinere Plastizität) und mit Torflagen, grauschwarz					
							10.50						

GW-Spiegel
am 7.10.91
-2.74 m ab OkT.

K-Wert=1.8·10⁻³ m/s

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrung P 6 (650/177.19)

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 15.10.91 bis 17.10.91

Koordinaten: 650.175/177.040 OK Terrain 573.55 m ü. M. OK Rohr 574.96 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	4 1/2" Beob- achtungs- rohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
20.3				Bohrgut		± 0	Humus			Vegetations- schicht		
				Ton		0.90	toniger Silt mit sehr wenig Sand und mit organ. Beimengungen, hellbraun			Ueber- schwemmungs- sedimente	GW-Spiegel am 18.11.91 -2.73 m ab Ok.T.	
				Sand		1.35	sauberer Feinsand, graubraun			Aareschotter		
						2.25	leicht toniger Silt mit viel Sand, gelbbraun					
						2.85	leicht siltiger Grobsand mit sehr wenig Feinkies, grau					
						4.90	sauberer Grobsand mit wenig Kies, Kiesanteil nach unten zunehmend, grau					
						5.55	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
						6.75	sauberer Sand mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
						7.50	toniger Silt, kleinere Plastizität, mit wenig Sand, grau					
						8.65	stark tonig-siltiger Sand mit Holzreste und Torf, graubraun					
						9.10	stark toniger Silt mit wenig bis mässig Sand und Holzreste und Torf, grau bis dunkelbraun					
						10.35	wie 7.50 - 8.65 m					
						11.10	wie 8.65 - 9.10 m					
						11.55	stark siltiger Ton mit Torf, graubraun					
						12.00	wie 7.50 - 8.65 m					
					13.45	stark toniger Silt, reich an Torf und mit wenig Sand, graubraun						
					15.00	stark toniger Silt, reich an Torf und mit wenig Sand, graubraun						
									Stillwasser- ablagerungen	K-Wert=1.5·10 ⁻³ m/s		

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrung P 7 (651/176.24)

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 17.10.91 bis 25.10.91

Koordinaten: 651.720/176.605 OK Terrain 577.83 m ü. M. OK Rohr 577.69 (4 1/2") m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaussbeute %	1" Beob- 4 1/2" achtungs- rohr ø	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen	
								Feld	Labor				
20.3						± 0	Humus			Vegetationsschicht			
						0.45	toniger Silt mit wenig Kies und organ. Beimengungen, schwarz						
						1.00	sauberer Sand mit wenig Kies, braun						
						2.80	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ø, braun						
						5.10	sauberer Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen aus Granit bis 15 cm ø			Aareschotter			
						5.55	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm ø						
						7.30	sauberer Kies mit wenig bis mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ø						
						8.25	sauberer Sand mit mässig Kies						
						10.40	sauberer Kies mit mässig Sand						
						10.50	Kies und Steine bis 8 cm ø						
				Ton		10.80	toniger Silt mit Torf, dunkelgraubraun			Stillwasserablagerungen			
						11.15	toniger Silt mit wenig Sand, hellgrau						
				Sand		11.80	sauberer Feinsand, hellgrau						
						12.25	sauberer Grobsand mit sehr wenig Kies						
						12.70	leicht siltiger Kies mit mässig Grobsand						
						14.70	sauberer Sand mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm ø						
						14.85	Torf (Baumstamm), hellbraun						
						14.95	sauberer Sand						
						15.35	sauberer Kies mit wenig Grobsand			Aareschotter			
						15.45	sauberer Sand						
						15.65	sauberer Sand						
						16.30	Torf (Baumstamm), hellbraun						
							sauberer Kies mit viel Sand						
							sauberer Kies mit wenig Sand und mässig Steinen aus Granit bis 16 cm ø, grau						
						19.15	sauberer Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 10 cm ø, grau						
						20.00	siltiger Kies mit sehr wenig Sand und mässig Steinen bis 10 cm ø, grau						
						22.20	siltiger Ton, mittlere Plastizität, mit wenig Torf, graubraun			Stillwasserablagerungen			
						24.00	sauberer Sand, hellgrau						

GW-Spiegel am 25.10.91 -2.19m ab Ok T.
im 4 1/2" Rohr

K-Wert=1.5 · 10⁻³ m/s (unterer GW-Leiter)

100%

Bohrgut

Ton
Sand

Kies

16.8

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrung P 8 (654/176.21)

Bohrmeister: G. Sonntag

Bohrgerät: Ruba

ausgeführt vom 11.10.91 bis 15.10.91

Koordinaten: 654.020/176.280 OK Terrain 583.03 m ü. M. OK Rohr 583.95 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	4 1/2" Beobachtungsrohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
20.3			Vollfilter			± 0	Humus			Vegetationsschicht	GW-Spiegel am 15.10.91 -1.66 m ab OkT.	
						0.20	leicht siltiger Sand mit organ. Beimengungen, braun					
16.8		100%	Vollfilter			1.35	siltiger Sand mit mässig Kies, braun			Aareschotter	K-Wert=1.3·10 ⁻³ m/s	
						1.60	sauberer Sand mit sehr wenig Kies, grau					
						2.30	sauberer Kies mit viel Sand, grau					
						2.80	sauberer Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 10 cm ϕ , grau					
						4.05	sauberer Sand mit wenig Kies, hellbraun					
						4.30	Holzreste, leicht zersetzt					
						4.40	sauberer Sand mit mässig Kies, grau					
						4.75	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und vereinzelt Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
						5.50	sauberer Grobsand mit sehr wenig Kies, grau					
						6.60	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
						7.65	siltiger Kies mit mässig Sand und mit Torf, braun-grau					
						8.05	sauberer Sand mit viel Kies und vielen Steinen bis 11 cm ϕ , grau					
						8.45	leicht siltiger Kies mit mässig Grobsand und vereinzelt Steinen bis 10 cm ϕ , grau					
						9.30	stark siltiger Kies mit wenig Sand, grau					
						10.30	sauberer Sand mit mässig Kies und mit Steinen bis 10 cm ϕ , grau					
						10.40	sauberer Kies mit viel Sand und vereinzelt Steinen bis 8 cm ϕ , grau					
11.55	sauberer Sand mit sehr wenig Kies und Holzreste, graubraun											
12.65	sauberer Grobsand mit wenig bis mässig Kies, grau											
13.05	sauberer Kies mit mässig Grobsand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , grau											
14.75	siltiger Kies mit mässig Grobsand, grau											
15.40	siltiger Ton, reich an organ. Beimengungen, schwarz											
15.75	stark toniger Silt mit wenig Torf und sehr wenig Sand, grauschwarz											
16.70	toniger Silt mit mässig Sand, keine Plastizität, grau											
17.00												

Bohrung P 9 (656/174.17)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: B. Lopez

Bohrgerät: Aarkabea

ausgeführt vom 15.7.92 bis 20.7.92

Koordinaten: 656.980/174.835 OK Terrain 597.17 m ü. M. OK Rohr 597.07 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaussbeute %	1" Beob- 4 1/2" achtungs- rohr φ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
20.0		100 %		Bohrgut		± 0	Humus			Vegetationsschicht		
						0.05	sauberer Kies mit wenig Sand, organischen Beimengungen und Steinen (Granit) bis 15 cm Ø, grau					
						0.60	sauberer Sand, braun					
						1.90	sauberer Sand mit mässig Kies, braun					
						2.25	sauberer Kies mit mässig Sand und Steinen bis 14 cm Ø (Granit)					
						6.40	Steine bis 18 cm Ø (Granit)					
						6.70	sauberer Kies mit mässig Sand und mit einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau					
						7.70	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und mit Steinen bis 8 cm Ø, braun					
						8.20	sauberer Kies mit mässig Sand und mit Steinen (Granit) bis 19 cm Ø (bei 8.50 - 8.70 m und 9.20 - 9.25 m), grau					
						10.00	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun					
						10.80	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun					
						12.53	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 10 cm Ø (Granit), braun					
						13.80	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun					
14.60	sauberer Kies mit viel Grobsand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun											
16.00	sauberer Grobsand mit wenig Kies, braun											
16.60	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm Ø, braun											
18.00												

Aareschotter

GW-Spiegel
am 4.8.92
-10.47m ab Ok T.

K-Wert=1.3·10⁻³ m/s

Bohrung KB 1 (660/172.12)

Bohrfirma: Stump Rohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: M. Lago

Bohrgerät: Gelina 2

ausgeführt vom 11.11.91 bis 21.11.91

Koordinaten: 660.545/172.465 OK Terrain 632.49 m ü. M. OK Rohr 633.16 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	6" Beobachtungsrohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
28.0						± 0	Humus			Vegetationsschicht		
						0.12	siltiger Kies mit mässig Steinen bis 12 cm ϕ und mit Wurzeln					
						0.70	Blöcke und Steine aus Kristallin und Kalk, ϕ bis 28 cm			Bergsturzmaterial vermischt mit Aareschotter		
						3.35	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm ϕ					
						4.35	Blöcke und Steine aus Kristallin, ϕ bis 30 cm					
						5.20	siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ					
						7.10	sauberer bis leicht siltiger Kies mit wenig Sand, vielen Steinen und Blöcken (ϕ bis 30 cm)					
24.6						10.90	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm ϕ					
						12.40	stark siltiger Kies mit mässig Sand und vielen Steinen bis 18 cm ϕ					
						16.40	sauberer Kies mit viel Grobsand und mässig Steinen bis 16 cm ϕ					
						18.45	siltiger Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 14 cm ϕ und Blöcken					
						21.45	sauberer Kies mit viel Grobsand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						22.95	siltiger Kies mit wenig Sand					
						23.50	sauberer Kies mit mässig Grobsand und vielen Steinen bis 8 cm ϕ					
20.3		100%				24.45	siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						26.75	stark siltiger Kies mit mässig Sand und mit Steinen bis 8 cm ϕ			Aareschotter		
						31.80	stark siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						34.40	sauberer Kies mit viel Grobsand					
						35.40	sauberer Sand mit mässig Kies					
						37.00	siltiger Kies mit viel Sand					
						37.45	sauberer Grobkies mit viel Sand					
						37.95	sauberer Kies mit viel Sand					
						38.75	siltiger Kies mit mässig Sand					
						39.10	siltiger Kies mit viel Sand und mit Steinen (ϕ bis 16 cm)					
						41.70	siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						42.55	siltiger Kies mit viel Sand und selten Steine bis 8 cm ϕ					
						43.90	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						44.70	sauberer Kies mit viel Sand					
						45.35	siltiger Kies mit viel Sand					
						46.40	tonig-siltiger Kies mit wenig Sand, graubraun					
						47.50	sauberer bis leicht siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						49.90	tonig-siltiger Kies mit wenig Sand bis toniger Silt mit reichlich Kies und wenig Sand			Moräne ?		
						52.00						

GW-Spiegel am 28.11.91 -12.27m ab OKT.

K-Wert=6.5 · 10⁻⁴ m/s

Bohrung KB 2 (658/174.17)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: M. Lago

Bohrgerät: Gelma 2

ausgeführt vom 28.10.91 bis 8.11.91

Koordinaten: 658.275/174.855 OK Terrain 603.69 m ü.M. OK Rohr 604.97 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	6" Beobachtungsrohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
28.0						± 0	Humus			Vegetationsschicht		
24.6						0.10	leicht siltiger Sand mit viel Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , hellbraun			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
						1.50	sauberer Kies mit viel Sand und mässig Steinen bis 14 cm ϕ , graubraun					
						2.00	siltiger Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 18 cm ϕ					
						3.45	Steine und Blöcke aus Kalk und Granit in siltigem Kies, ϕ bis 24 cm					
						4.50	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und mit Steinen und Blöcken aus Granit, ϕ bis 22 cm					
						5.45	Blöcke aus Granit, $\phi > 24$ cm					
						5.80	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 16 cm ϕ					
						6.85	Block ϕ 22 cm					
						7.05	sauberer Kies mit mässig Sand und mässig Steinen bis 14 cm ϕ					
						8.40	siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 16 cm ϕ					
20.3						10.95	Blöcke und Steine $\phi > 24$ cm			Aareschotter		
						11.55	siltiger Kies mit mässig Steinen bis 14 cm ϕ und wenig Sand					
						12.00	Blöcke aus Kalk und Granit ($\phi > 24$ cm)					
						12.30	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 16 cm ϕ					
						14.15	Blöcke und Steine aus Granit (ϕ bis 22 cm) in siltigem Kies					
						15.00	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und vielen Steinen bis 16 cm ϕ					
						15.80	siltiger bis stark siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 16 cm ϕ und Blöcke aus Granit, grau					
						25.20	stark siltiger Kies, z.T. hart gelagert, mit wenig Sand und mässig Steinen bis 18 cm ϕ , braungrau, trocken					
						26.55	toniger Silt mit wenig Kies, hellgrau, trocken					
						27.05	Steine bis 14 cm ϕ in tonig-siltiger Matrix					
17.0						27.75	tonig-siltiger Kies, grau			verschwemmte Moräne		
						28.15	stark siltiger Kies mit einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ , grau, mit rotbraunen Siltlagen					
						28.55	sehr hart gelagerter, tonig-siltiger Kies mit wenig Steinen bis 12 cm ϕ , grau, trocken, Komponenten < 3 cm ϕ sind eckig					
						31.05	stark tonig-siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ , grau					
						31.70	Block aus Granit, ϕ 21 cm					
						31.90	leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ					
						32.55	stark siltiger Kies mit wenig Sand					
						32.80	leicht siltiger bis sauberer Kies mit viel Grobsand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ					
						33.90	hart gelagerter, tonig-siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm ϕ , trocken, grau					
						35.05	tonig-siltiger Kies mit wenig Sand, z.T. stark tonig und hart gelagert, grau					
						36.95	mehrere Steine aus Granit (ϕ bis 18 cm)			Schotter vermischt mit Moränematerial		
						37.15	hart gelagerter, toniger Silt mit viel Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , grau, trocken					
						38.40	siltiger Kies mit viel Grobsand, braun bis rotbraun, Steine bis 18 cm ϕ aus Granit					
						39.45	hart gelagerte Steine, siltig-toniger Kies, trocken, grau					
						39.60	wie zw. 38.40 - 39.45 m, ohne Steine					
						40.00	hart gelagerter, stark tonig-siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 16 cm ϕ , trocken, braun					
						41.05	stark siltiger Kies mit mässig Grobsand und mit Steinen bis 14 cm ϕ , braun bis rotbraun					
						42.50	stark tonig-siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm ϕ , z.T. hart gelagert und trocken, graubraun					
						44.00	stark siltiger Kies mit mässig Grobsand, Steine aus Granit (ϕ 14 cm), braun bis rotbraun					
						45.65	hart gelagerter, tonig-siltiger Kies mit wenig bis mässig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm ϕ aus Kalk und Granit, grau, trocken					
					47.10							

GW-Spiegel am 11.11.91 -17.7 m ab OK T.

K-Wert = 7.5 · 10⁻⁴ m/s

Bohrung KB 3 (656/174.16)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: M. Lago

Bohrgerät: Gelma 2

ausgeführt vom 18.10.91 bis 28.10.91

Koordinaten: 656.765/174.625 OK Terrain 596.99 m ü. M. OK Rohr 597.94 (4 1/2") m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernausbeute %	4 1/2" Beobachtungsrohr-φ Vollfilter	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
28.0				Bohrgut		± 0	Humus			Vegetationsschicht		
						0.10	toniger Silt mit Sand und wenig Kies und mit organ. Beimengungen, schwarz			Bachschuttmaterial		
						0.85	siltiger Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 8 cm φ, schwarz					
						1.25	siltiger Kies mit mässig Sand, schwarz			Bachschuttmaterial		
						2.35	toniger Silt mit viel Kies, wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm φ, schwarz					
						3.45	Blöcke (bis 30 cm φ) und Steine (bis 18 cm φ) aus Kalk			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
				Ton		4.60	sauberer Kies mit viel Sand und mässig Steinen bis 18 cm φ, aus Kalk, grau					
				Sand		6.85	toniger Silt mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 14 cm φ, dunkelgrau bis schwarz			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
						8.95	Steine (φ bis 18 cm) aus Kalk und siltiger Kies					
						9.60	sauberer Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm φ, dunkelgraubraun			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
				Kies		11.10	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm φ, braun					
						12.60	sauberer Kies mit wenig Sand, grau			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
						12.95	Blöcke (φ 25 cm) und Steine (φ bis 18 cm) aus Kalk in siltigem Kies					
				Sand		13.75	siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm φ, graubraun			Bachschuttmaterial vermischt mit Aareschotter		
						15.20	toniger Silt mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm φ, dunkelbraun					
				Ton		15.90	stark tonig-siltiger Kies mit wenig Sand, dunkelbraun			Stillwasserablagerungen		
						16.80	wie zw. 15.20 - 15.90 m					
				Sand		17.25	Block aus Kalk (φ 22 cm)			Stillwasserablagerungen		
						17.45	siltiger Kies mit viel Sand und mässig Steinen aus Kalk bis 8 cm φ					
		100%				19.65	toniger Silt mit wenig Kies und mässig Sand, braun			Stillwasserablagerungen		
						20.15	stark tonig-siltiger Kies mit mässig Sand, graubraun					
						21.00	stark toniger Silt mit wenig Kies und mässig Sand, braun			Stillwasserablagerungen		
						21.10	sauberer Kies mit viel Sand, einzelnen Steinen bis 8 cm φ und Blöcken (Granit), grau					
						22.30	Steine aus Granit bis 18 cm φ			Aareschotter vermischt mit Gehängeschutt		
						22.90	leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 15 cm φ aus Kristallin					
						25.70	toniger Silt mit viel Kies			Aareschotter vermischt mit Gehängeschutt		
						26.20	Steine (φ bis 18 cm) aus Granit					
						26.40	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm φ, graubraun			Aareschotter vermischt mit Gehängeschutt		
				Kies		27.40	leicht toniger Silt mit wenig Kies und mässig Grobsand, grau					
						28.70	leicht siltiger Kies mit viel Sand			Aareschotter vermischt mit Gehängeschutt		
						29.10	stark toniger Silt mit wenig Kies und viel Grobsand und Steinen aus Kristallin					
						30.00	Stein aus Gneis, φ 18 cm			Aareschotter vermischt mit Gehängeschutt		
						30.20	hart gelagerter, stark tonig-siltiger Kies mit mässig Steinen bis 12 cm φ und wenig Sand, hellgrau, trocken					
						31.05	Steine und Blöcke bis 28 cm φ, aus Kristallin			Moräne		
						31.60	hart gelagerter, stark tonig-siltiger Kies mit mässig schlecht gerundeten Steinen aus Kristallin bis 12 cm φ, hellgrau, trocken					
						33.10	Blöcke aus Granit, φ bis 22 cm			Moräne		
						33.40	stark tonig-siltiger Kies mit wenig bis mässig Sand und vielen schlecht gerundeten Steinen bis 12 cm φ, hellgrau, hart gelagert, trocken					
						36.00						

GW-Spiegel am 11.11.91 ab OKT. -12.09m -11.97m

im 4 1/2" Rohr im 2" Rohr

K-Wert=3.3·10⁻³ m/s (unterer GW-Leiter)

Bohrung KB 4 (654/175.13)

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern		Beilage Nr.
Bohrfirma: Stump Bohr AG	Situation:	
Bohrverfahren: Rotationskernbohrung	Logs:	
Bohrmeister: N. Mazzola / M. Lago	Bohrgerät: Gelma 2	
ausgeführt vom 8.10.91 bis 17.10.91		
Koordinaten: 654.865/175.925 OK Terrain 585.62	m ü. M. OK Rohr 6": 586.95	m ü. M. 2": 586.38
Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco	1: 100	

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	2" Beob- 6" achtungs- Filter	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
24.5		100%	Voll 6" achtungs- Filter	Filterkies		± 0	Humus			Vegetations- schicht	GW-Spiegel am 11.11.91 ab Okt. -2.32 m -2.46 m im 2" im 6" Rohr Rohr K-Wert=7.0·10 ⁻⁴ m/s (unterer GW-Leiter)	
						0.70	sandiger Silt mit organ. Beimengungen, braun					
						1.35	sauberer Sand mit viel Kies und Steinen bis 10 cm Ø, braun					
						3.00	sauberer Kies mit viel Sand, Steinen bis 10 cm Ø und einem Block (Granit)					
						4.80	siltiger Kies mit wenig Sand und mässig Steinen bis 12 cm Ø, grau					
						5.80	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 15 cm Ø (Granit), grau					
						6.80	siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 11 cm Ø, grau					
						7.70	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau					
						8.25	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun					
						8.70	stark toniger Silt mittlerer Plastizität, mit wenig Kies, braun					
						9.85	sauberer Kies mit mässig Sand und mässig Steinen bis 8 cm Ø, graubraun					
						10.05	siltiger Kies mit wenig Sand, grau					
						10.85	sauberer Kies mit wenig Sand und Steinen bis 8 cm Ø, grau					
						12.00	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau					
						13.30	sauberer Grobkies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau					
22.0		100%	Voll 6" achtungs- Filter	Filterkies		15.50	stark toniger Silt mittlerer bis kleinerer Plastizität, mit sehr wenig Kies, braun			Aareschotter		
						15.90	stark siltiger Sand mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 10 cm Ø, graubraun					
						16.75	stark toniger Silt mittlerer bis kleinerer Plastizität, mit mässig Sand, dunkelgraubraun, mit Torf					
						17.75	stark toniger Silt mittlerer Plastizität, reich an organ. Material, dunkelgrau bis schwarz					
						20.85	wie zw. 16.75 - 17.75 m					
						21.25	stark siltiger Sand mit wenig Feinkies, grau					
						21.50	siltiger Sand mit mässig Kies, grau und mit Steinen bis 16 cm Ø, aus Granit					
						22.80	siltiger, z.T. stark siltiger Kies mit wenig Sand und Steinen bis 8 cm Ø					
						25.25	toniger Silt mit sehr viel Kies, graubraun					
						25.65	stark toniger Silt mittlerer bis höherer Plastizität, dunkelgrau.					
						26.95	wie zw. 25.25 - 25.65 m					
						27.20	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun					
						28.30	leicht siltiger Kies mit viel Sand und mit Steinen aus Granit (Ø bis 16 cm)					
						29.60	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 18 cm Ø, grau					
						17.0		100%	Voll 6" achtungs- Filter			
33.05	sauberer Kies mit mässig Sand, grau, Block (Ø 21 cm) aus Granit											
33.95	siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm Ø, grau											
34.45	grosse Steine (Ø 12 - 18 cm) aus Granit, mit Feinkies											
35.00	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau, Block aus Granit (Ø 24 cm)											
37.65	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 18 cm Ø											
39.75	sauberer Kies mit mässig bis viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau											
41.80	leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm Ø, grau											
42.50	leicht siltiger Sand, grau											
42.85	leicht siltiger Sand mit viel Kies und mässig Steinen bis 8 cm Ø, grau											
45.20	sauberer Grobsand mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, grau											
46.10	hart gelagerter, stark tonig-siltiger Kies mit wenig Sand, grau, z.T. schlecht gerundete Komponenten; eckige Steine aus Granit und Kalk bis 10 cm Ø, trocken											
47.15	sauberer Grobsand mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, braun											
49.30	stark siltiger Sand mit wenig Kies, grau											
49.70	hart gelagerter, siltiger Sand mit wenig Kies, braun, trocken											
50.00	leicht siltiger Kies mit mässig Sand, grau											
50.25	stark siltiger Kies mit wenig Sand, grau											
50.50	hart gelagerter, stark tonig-siltiger Kies mit Steinen bis 12 cm Ø und sehr wenig Sand, grau; die Komponenten mit Ø < 1 cm sind eckig, trocken											
52.00									Schotter vermischt mit verschwemmtem Moränematerial			

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrung KB 5 (660/172.11)

Bohrmeister: M. Lago

Bohrgerät: Gelma 2

ausgeführt vom 28.4.92 bis 30.4.92

Koordinaten: 660.010/172.650 OK Terrain 626.10 m ü.M. OK Rohr 626.00 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaussbeute %	Beob- achtung- rohr ϕ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
24.6		100%	4 1/2"	-		± 0	Humus			Vegetationsschicht		
						0.20	sandiger Silt mit wenig Kies und mit Wurzeln, braun					
						0.70	Steine und Blöcke bis 24 cm ϕ aus Kalk und Mergel					
						2.45	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 18 cm ϕ (Kalk), braun					
						4.00	stark siltiger Kies mit sehr wenig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm ϕ , braun					
						4.75	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm ϕ					
						5.15	Steine und Blöcke bis 22 cm ϕ aus Mergel					
						5.80	toniger Silt mit viel Sand und wenig Kies und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ (Granit), hellbraun					
						7.70	stark siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 18 cm (Granit), grau					
						9.10	sauberer Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ , grau					
						9.80	sauberer Grobsand, grau					
						10.00	sauberer Kies mit mässig Sand, hellbraun					
						11.30	stark siltiger Sand mit wenig Kies, hellbraun					
						11.80	toniger Silt mit wenig Sand, hellbraun					
						12.00	stark siltiger Sand mit wenig Kies, hellbraun					
12.80	leicht siltiger Kies mit Sand und einzelnen Steinen, hellbraun											
13.35	stark siltiger Sand mit wenig Kies, hellbraun											
13.80	Steine bis 12 cm ϕ aus Granit											
14.00	stark siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 14 cm ϕ (Granit), grau											
15.85	toniger Silt mit viel Kies und wenig Sand, grau											
16.00												

Bergsturzmaterial vermischt mit Bachschuttmaterial

Aareschotter

GW-Spiegel am 20.5.92 -6.28m ab OKT.

K-Wert=1.4 · 10⁻³ m/s

20.3

Bohrung KB 6 (657/174.40)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: M. Lago

Bohrgerät: Gelma 2

ausgeführt vom 21.4.92 bis 27.4.92

Koordinaten: 657.625/174.605 OK Terrain 600.73 m ü. M. OK Rohr 600.67 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- 4 1/2" achtungs- rohr-φ Filter	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen	
								Feld	Labor				
28.0		100%	Voll-Filter			± 0	toniger Silt mit wenig Sand, wenig Kies und mit organ. Beimengungen, dunkelbraun			Vegetationsschicht	Aareschotter mit Bachschuttmaterial vermischt	GW-Spiegel am 20.5.92 -11.95m ab OKT.	
						1.50	toniger Silt mit wenig Sand, hellbraun						
						1.75	sauberer Kies mit mässig Sand, hellbraun			Kies			K-Wert = 7.6 · 10 ⁻⁴ m/s
						2.55	sauberer Kies mit mässig Sand und reich an Steinen (Mergel, Schiefer), bis 16 cm Ø, hellbraun Block (Granit, 22 cm Ø) zw. 3.10 - 3.30 m						
						4.35	leicht siltiger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen (Kalke, Granit) bis 12 cm Ø, braun Block (Gneis, Ø 22 cm) zw. 12.00 - 12.20 m						
						12.90	sauberer Sand mit wenig Kies, hellbraun						
						14.10	siltiger bis stark siltiger Sand mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 15 cm Ø (Schiefer), hellbraun						
						15.50	siltiger Kies mit mässig Sand und Steinen (Granit, Schiefer) bis 18 cm Ø, graubraun						
						18.00	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm Ø, grau						
						19.15	sauberer Kies mit viel Grobsand, grau						
						19.85	Blöcke aus Granit (Ø bis 24 cm) und Steine aus Schiefer, Granit (Ø bis 14 cm)						
						20.10	wie zw. 19.15 - 19.85 m						
20.65	stark siltiger Kies mit vielen Steinen (Gneis) bis 18 cm Ø												
21.80	toniger Silt mit wenig Kies und einzelnen Steinen bis 18 cm Ø (Schiefer)												
24.00													

Bohrung KB 7 (648/176.15)

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: B. Lopez

Bohrgerät: Gelma 2

ausgeführt vom 15.4.92 bis 15.4.92

Koordinaten: 648.485/176.800 OK Terrain 569.87 m ü. M. OK Rohr 569.67 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- achtungsröhre 4 1/2" φ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
24.5		100%		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: black; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: black; margin-bottom: 5px;"></div> </div>		± 0	Humus			Vegetationsschicht	GW-Spiegel am 20.5.92 - 2.12m ab OKT.	
						0.15	stark siltiger Kies mit organ. Beimengungen, dunkelbraun					
				Ton		0.30						
				Sand		1.30	toniger Silt mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 14 cm Ø, dunkelbraun			Aareschotter		
						1.70	leicht siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm Ø, hellbraun					
						2.80	sauberer Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm Ø, hellbraun			Stillwasserablagerungen		
						3.40	toniger Silt mit Torf, hellbraun					
				Kies			leicht siltiger Kies mit mässig Sand, hellgrau			Aareschotter		
						6.75	sauberer Sand, hellbraun					
						6.95	leicht siltiger Kies mit mässig Sand, hellgrau					
						7.35	stark toniger Silt mit wenig Kies, hellgrau					
						7.75	leicht siltiger bis sauberer Sand, hellgrau					
						8.20	toniger Silt, reich an Torf, dunkelbraun			Stillwasserablagerungen		
20.0						9.50					K-Wert = 5.7 · 10 ⁻⁴ m/s	

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Haslital, zwischen Innertkirchen und Briener See

Grundkarte 1 : 25 000



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
 Bearbeitung:
 Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVED)

Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- Lage eines geologischen Profils, vgl. Beilage 2
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie
- Anlage aufgelassen

Künstliche Aufschlüsse¹⁾

- Vertikalfilterbrunnen
- Versickerungsbrunnen
- Rammbrunnen
- Bohrung
- Peilrohr
- K Kiesgrube

Ausbildung der Deckschichten

- | | |
|--|--|
| ▲ Künstliche Ablagerung | ■ Torf, Ton, Silt (Verlandungsablagerung) |
| ▼ Künstliche Dammschüttung | ■ Sand, tonig-siltig (Schwemmsand) |
| ▲ Bachschuttkegel | ■ Sand, sauber-kiesig (Flussand) |
| ■ Gehängeschutt | ■ Kies, siltig-sandig (verschw. Gehängeschutt) |
| ■ Bergsturz | ■ Kies, sauber-sandig (Aare-Schotter) |
| ■ Bergsturzmaterial vermischt m. Aare-Schotter, z.T. verlandet | — Geländekante (Erosionsrinne) |
| ■ Moräne | → Flussrichtung eines ehemaligen Gewässers |
| ■ Moräne mit Wall | — Alte Erosionsrinne |

Festgesteine der Talränder, aufgeschlossen oder unter geringer Überdeckung (vereinfacht), die Richtung der Signaturen entspricht nicht den Lagerungsverhältnissen.

- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| ■ Sandstein, kalkig | ■ Schiefer und Sandstein |
| ■ Kalk und Schiefer, mergelig | ■ Dolomit und Sandstein |
| ■ Kalk, mergelig | ■ Gneis, Granit |
| ■ Mergel | ■ Sackung |
| ■ Kieselkalk, Sandkalk | |

— Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten und Festgesteinen

Wichtige Quellen am Talrand

- Quelle gefasst
- + Quelle ungefasst

Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen

Durchlässigkeit:

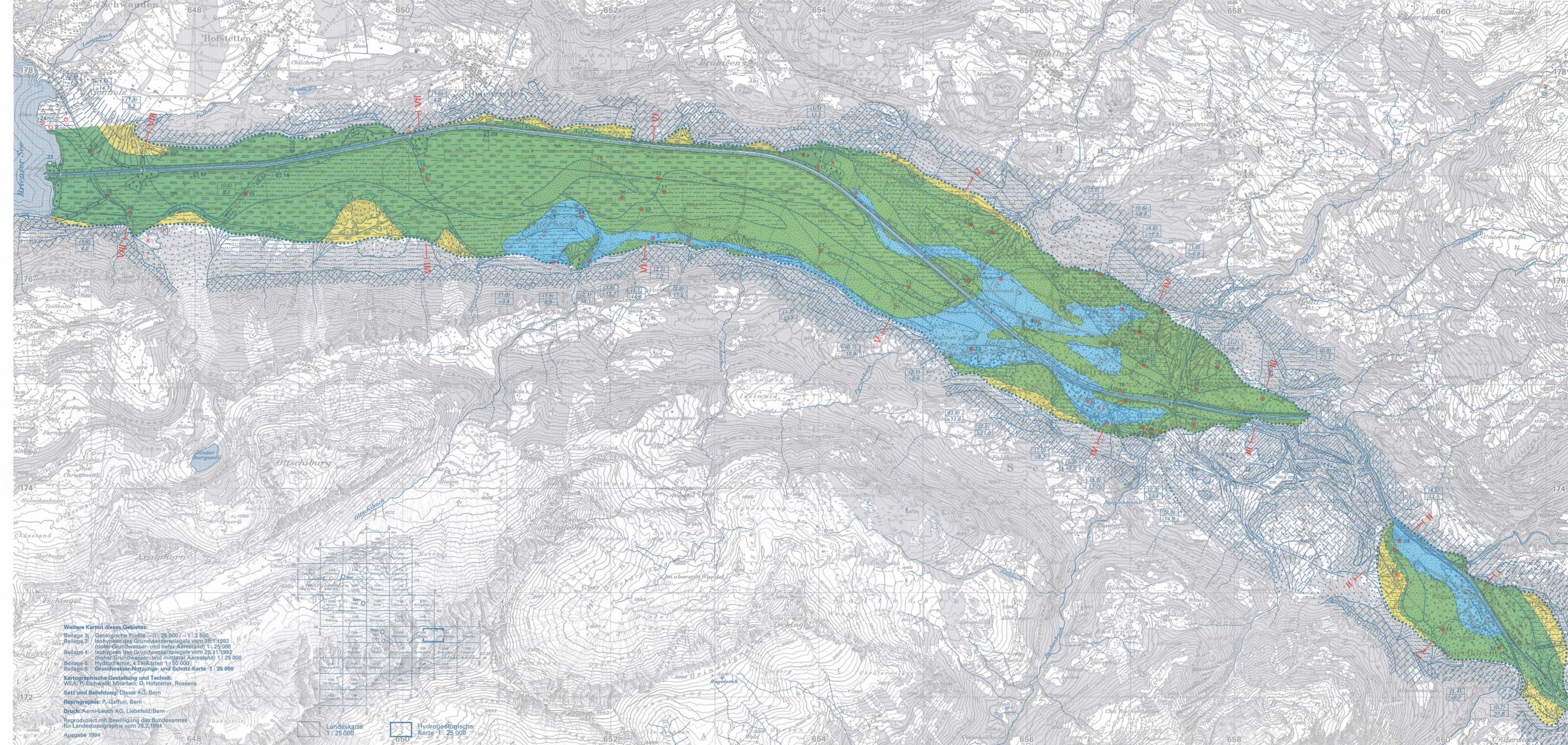
- — gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
- — mittel, $k = 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s
- — klein, $k = 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ m/s

--- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Hydrogeologische Kennziffern

- 1.5 Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, zur Zeit des Pumpversuches, ausgehend vom Grundwasserspiegel in Ruhe
- 11.6 Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m

¹⁾ Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle künstlichen Aufschlüsse und Hydrogeologischen Kennziffern wiedergegeben werden.



Weitere Karten dieses Gebietes:
 Beilage 2: Geologische Profile 1: 25 000 / 1:12 500
 Beilage 3: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992
 Beilage 4: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992
 Beilage 5: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992
 Beilage 6: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1: 25 000
 Kartographische Gestaltung und Technik:
 WEA, P. Eichwald, Mitarbeit: D. Hofstetter, Rosens
 Satz und Beileitung: Diasec AG, Bern
 Reprographie: P. Gaffuri, Bern
 Druck: Adm. Leuch AG, Liebefeld/Bern
 Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 23.1.1994
 Ausgabe 1994

Landeskarte 1: 25 000
 Hydrogeologische Karte 1: 25 000

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Haslital, zwischen Innertkirchen und Briener See

Geologische Profile
L ~ 1 : 25 000 H ~ 1 : 2 500 10 fach überhöht



Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung:
Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- 647/177.1 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie
- Bohrung, Brunnen, Rammsondierung, Schlitz, auf oder bis 100 m neben der Profillinie liegend mit Angabe der Filterstrecke
- Grundwasserspiegel, Mittelwasserstand vom 7. 5. 1992
- 7 Angabe fraglich oder unbekannt

Geologie

- Lockergesteine (Holocaen und Pleistocaen)
 - Künstliche Dammschüttung
 - Bachablagerung (Silt, Sand, Kies, Blöcke)
 - Gehängeschutt
 - Bergsturz
 - Moräne
 - Humus, Torf, anmoorige Bildungen
 - Silt-Ton (Seeton)
 - Silt-Ton, sandig
 - Sand, siltig
 - Sand, sauber-kiesig
 - Kiessand, tonig-siltig
 - Kies, sandig

Festgesteine (Richtung der Signatur: Lagerung schematisch)

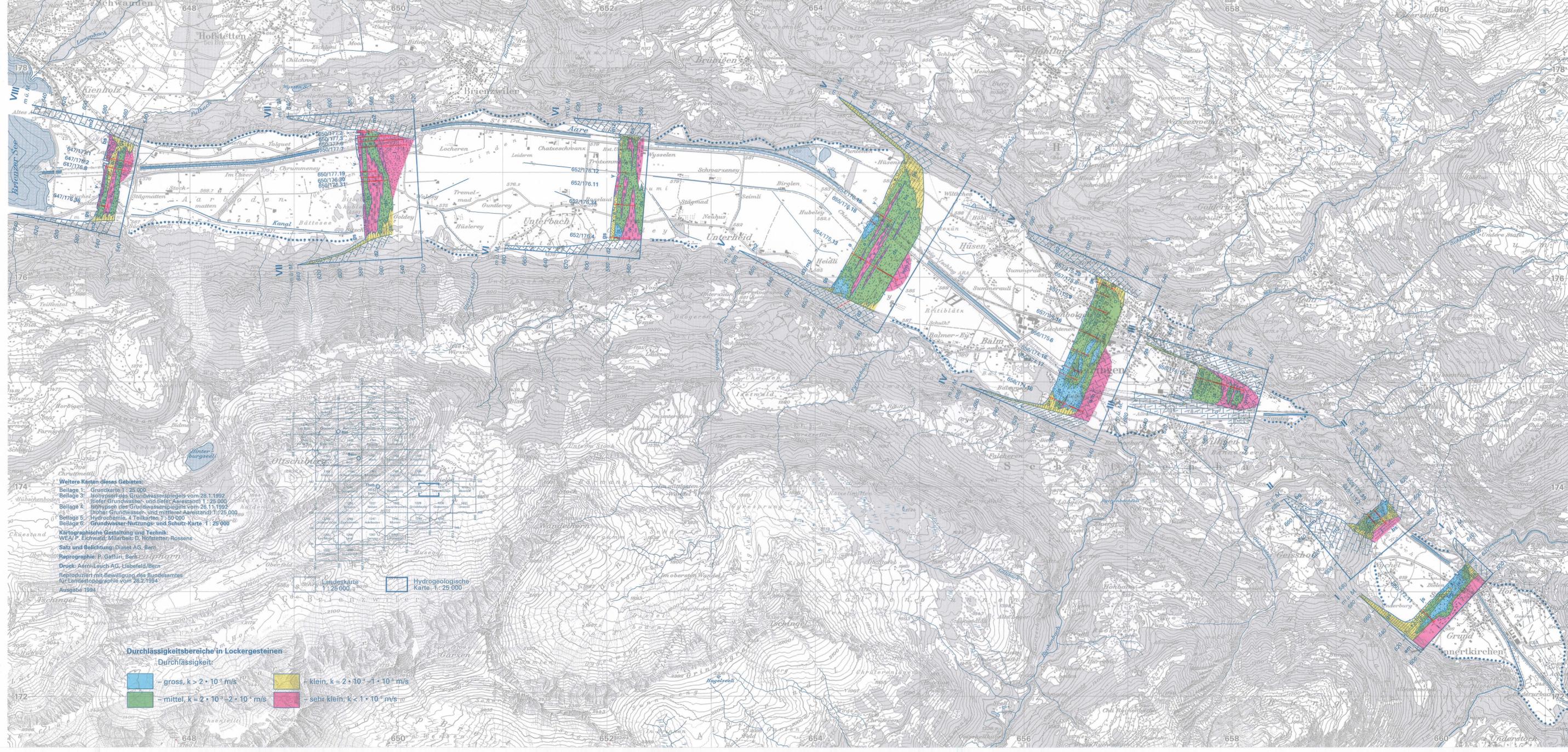
- Tertiär (vorwiegend Eocäne Flysche und Sandsteine)
- Oehrl-Kalk (Kalke, Kalkmergel; Untere Kreide)
- Quintner-Kalk, «Tithon-Kalk» (Kalke, mergelige Kalke; Kimmeridgien-Tithonien)
- Schilt-Schichten, Erzegg-Formation (Mergelkalke, Tonschiefer, Bathonien-Oxfordien)
- Hochstollen-Formation (sandige und kieselige Kalke; Bajocien)
- Glockhaus-Formation (Schiefer und Sandsteine; Aalénien)
- Granite und Gneise des Aarmassivs

--- Tektonische Grenze (Überschiebung)

— Lithologische Grenze

Lithostratigraphische Einheiten (Die Reihenfolge entspricht der vermuteten Altersabfolge)

	Holocaen	Junge Verlandungsbildungen	v
		Gehängeschutt, -lehm	gs
		Bachschant	bs
		Bergsturz	bg
		Junge Schotter der Aare (im Becken von Innertkirchen des Urbach- und Gadmernwassers)	js
		Alluviale Überschwemmungssedimente	a
		Seeablagerungen	l
		Junge Deltaschotter der Aare	ds
	Pleistocaen	Ältere Schotter der Aare	qs
		Deckmoräne (Wärm)	dm
		Würmmoräne (undifferenziert)	wm
	Eocæn	Sandsteine, Quarzite, Schiefer, Flysch in allg.	t
	Untere Kreide	Kalke, Kalkmergel (Oehrl-Kalk)	c
	Malm	Kalke, mergelige Kalke (Quintner-Kalk, «Tithon-Kalk»)	m2
		Mergelkalke, Tonschiefer (Schilt-Schichten, Erzegg-Formation)	m1/d3
	Dogger	Sandige und kieselige Kalke (Hochstollen-Formation)	d2
		Schiefer und Sandsteine (Glockhaus-Formation)	d1
	Kristalline Gesteine	Granite und Gneise des Aarmassivs	am



Walter Käfer, dieses Gebirge
Beilage 1: Grundkarte 1: 25 000
Beilage 2: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992
Beilage 3: Tiefen Grundwasser- und Toler-Aarestand 1: 25 000
Beilage 4: Isohypsen der Grundwasserhöhe vom 26.11.1992
Beilage 5: Hydrochemie, 4 Teilkarten, 1: 50 000
Beilage 6: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1: 25 000
Kartographische Gestaltung und Technik:
WEA/P. Eichwald, Mitarbeit: D. Hofstätter, Rosens
Satz und Belichtung: Diastet AG, Bern
Reprographie: P. Geffuri, Bern
Druck: Admi-Lauch AG, Liebfeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 28.2.1994
Ausgabe 1994

Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen
Durchlässigkeit:
 gross, $k > 2 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$
 mittel, $k = 2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
 klein, $k = 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
 sehr klein, $k < 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Haslital, zwischen Innertkirchen und Briener See

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992 (tiefer Grundwasser- und tiefer Aarestand) 1 : 25 000



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
 Bearbeitung:
 Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVED)

- Allgemeine Angaben**
- Oberflächengewässer
 - Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
 - 7 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Beobachtungsstelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatell (GLD) WEA/Geologie
 - a Anlage aufgelassen
 - Grundwasser-Fließrichtung
 - ↘ Speisung des Grundwassers durch Oberflächenwasser (Infiltration)
 - ↗ Speisung des Oberflächenwassers durch Grundwasser (Exfiltration)

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992¹⁾
 (tiefer Grundwasser- und tiefer Aarestand)
 —582— 1 m Grundwasserspiegel-Isohyse mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen²⁾

- Vertikalfilterbrunnen
- Versickerungsbrunnen
- Schachtbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Messstation
- 582.94 Grundwasserspiegelhöhe vom 28.1.1992 in m ü. M.

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- ∇ Abfluss-Messstation
- ∇ Wasserstands-Schreibpegel resp. Abstichpunkt
- 563.51 Spiegelhöhe vom 28.1.1992

Oberfläche des Grundwasserstauers

- Bohrung
- 566.78 Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.

¹⁾ Bei den Isohyphen darstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungsstellen erlaubt dem Benutzer, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

²⁾ Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Beobachtungsstellen wiedergegeben werden.

Weitere Karten dieses Gebietes:
 Beilage 1: Grundkarte 1 : 25 000
 Beilage 2: Geologische Profile - 1 : 25 000 / - 1 : 2 500
 Beilage 4: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28. 11. 1992
 (hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand) 1 : 25 000
 Beilage 6: Hydrochemie, 4 Teilkarten 1 : 50 000
 Beilage 8: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1 : 25 000

Kartographische Gestaltung und Technik:
 WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens

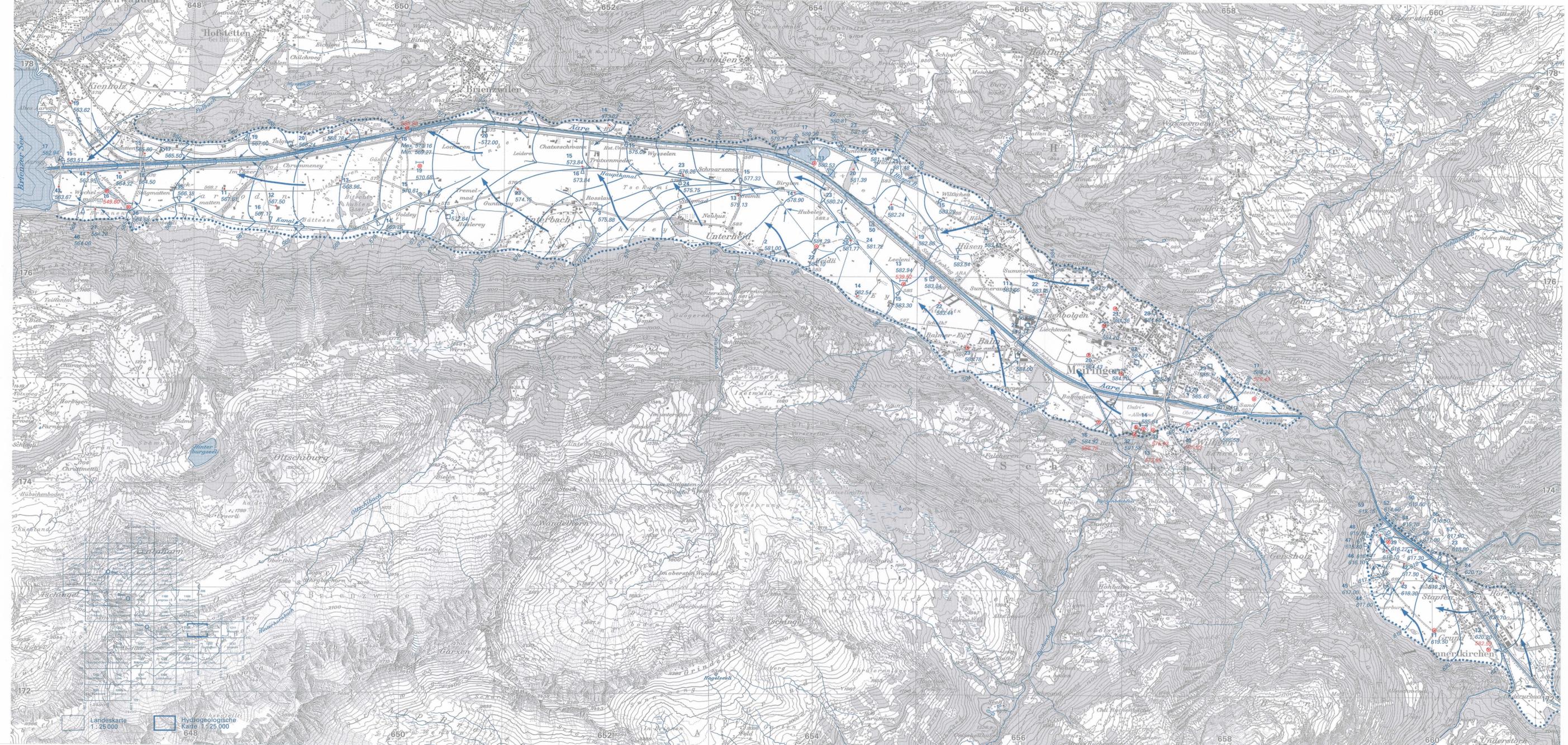
Satz und Belichtung: Diaset AG, Bern

Reprographie: P. Gaffuri, Bern

Druck: Aerni-Leuch AG, Liebfeld/Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 28.2.1994

Ausgabe 1994



Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Haslital, zwischen Innertkirchen und Brienzner See

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992¹⁾
(hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand) 1 : 25 000



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung:
Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern
(BVED)

Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Beobachtungsstelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie
- a Anlage aufgelassen
- Grundwasser-Fließrichtung
- ↘ Speisung des Grundwassers durch Oberflächenwasser (Infiltration)
- ↗ Speisung des Oberflächenwassers durch Grundwasser (Exfiltration)

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992¹⁾
(hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand)

—562— 1 m Grundwasserspiegel-Isohypse mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen²⁾

- Vertikalfilterbrunnen
- Versickerungsbrunnen
- Schachbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Messstation
- 566.55 Grundwasserspiegelhöhe vom 26.11.1992

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- ∇ Abfluss-Messstation
- ∇ Wasserstands-Schreibpegel resp. Abstichpunkt
- 564.38 Spiegelhöhe vom 26.11.1992

Oberfläche des Grundwasserstauers

- Bohrung
- 565.59 Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.

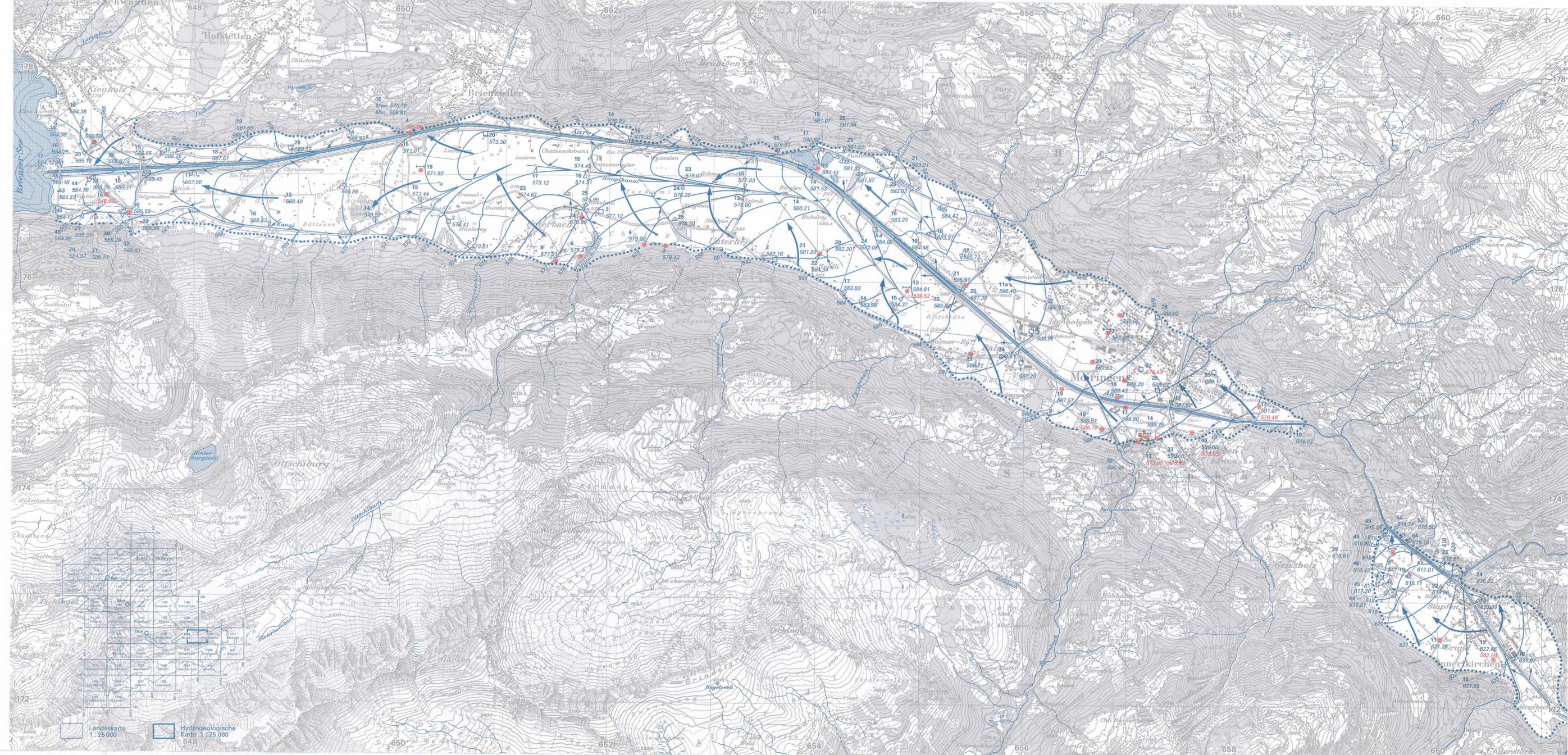
¹⁾ Bei den Isohyphen darstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungsstellen erlaubt dem Benutzer, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

²⁾ Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Beobachtungsstellen wiedergegeben werden.

Weitere Karten dieses Gebietes:

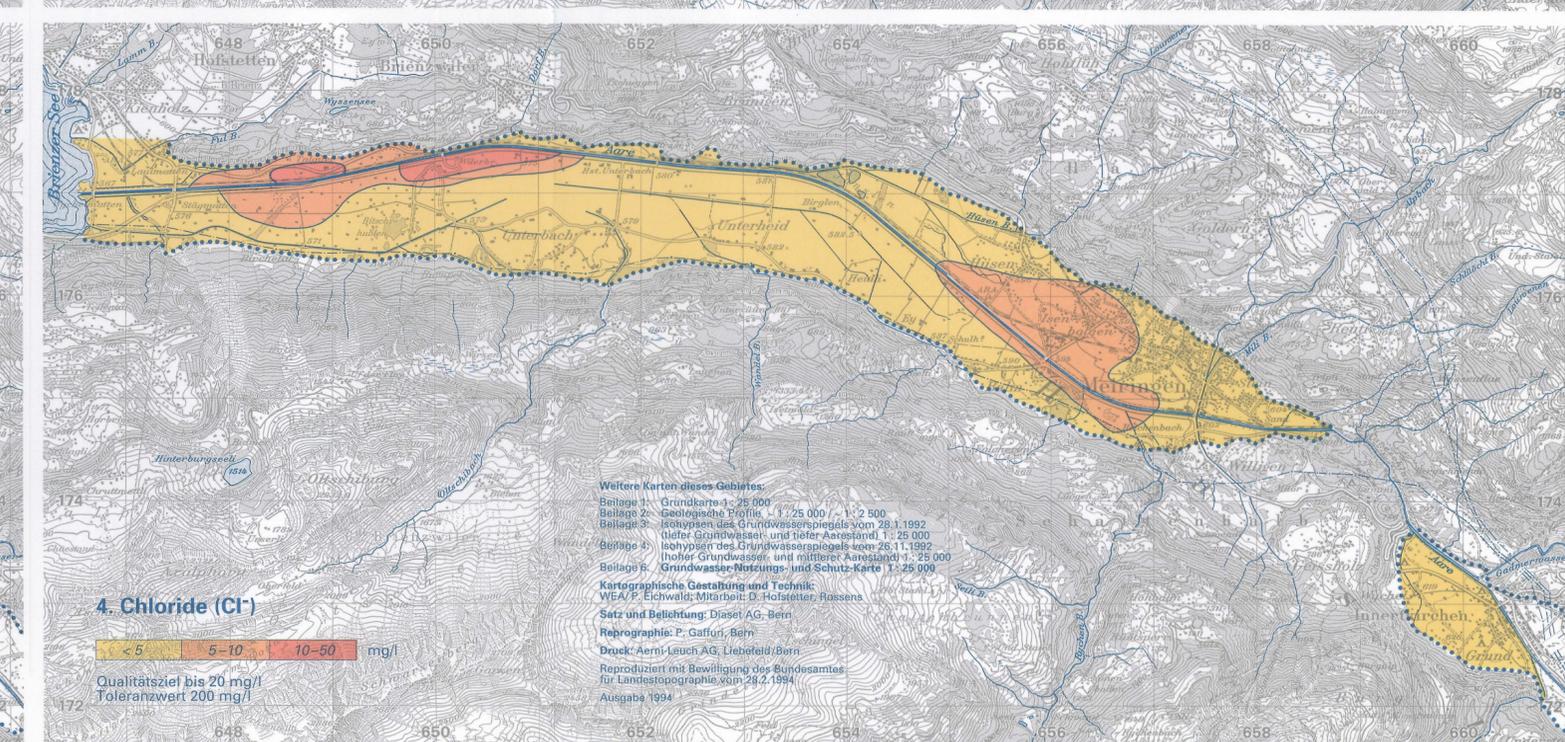
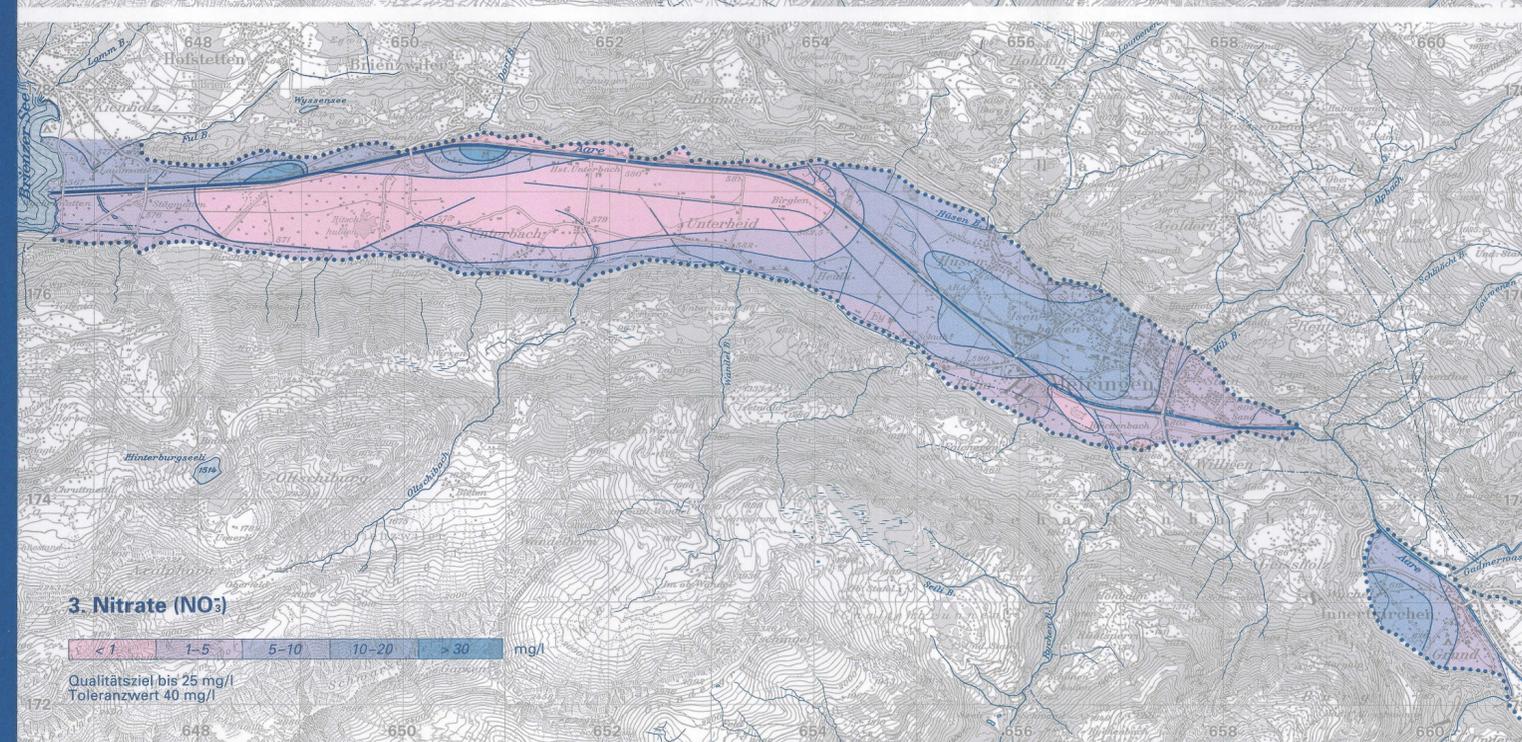
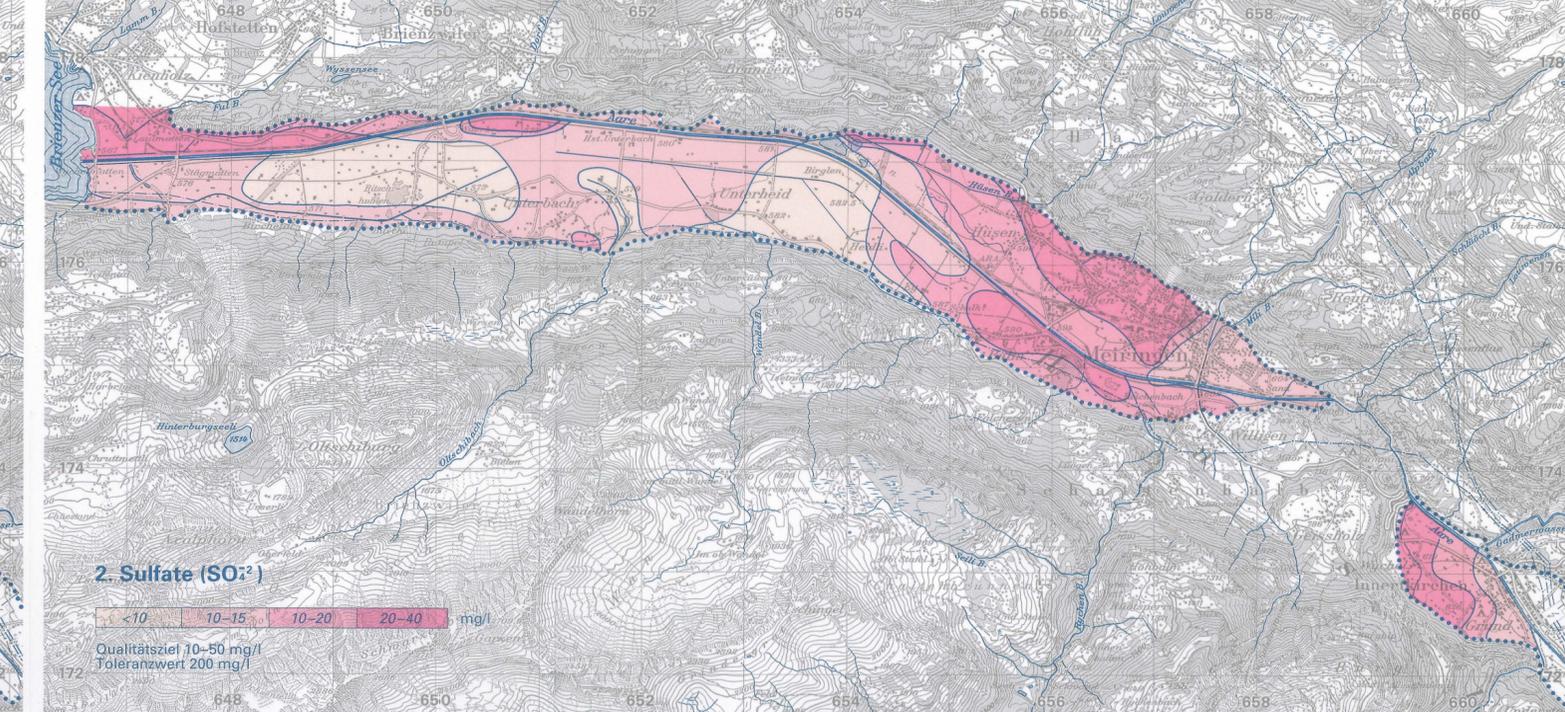
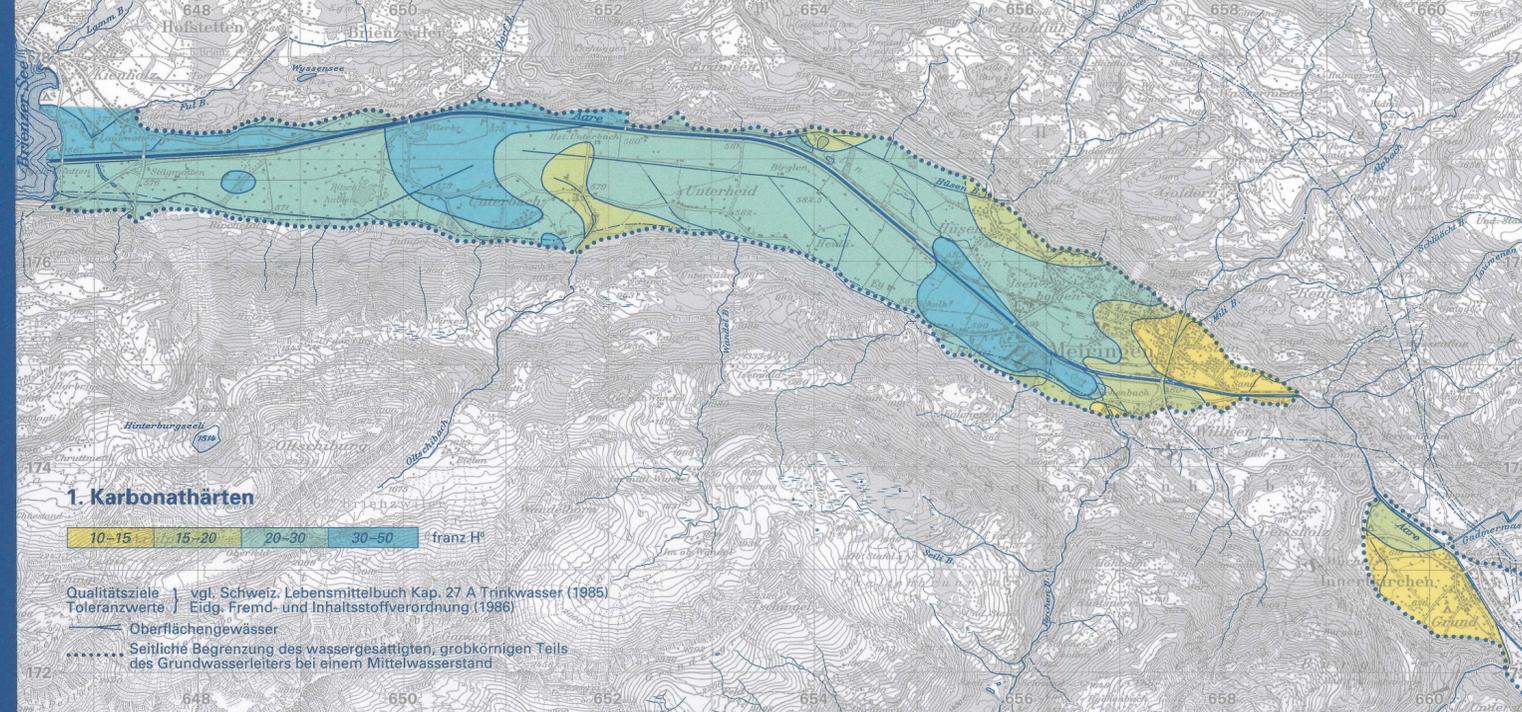
- Beilage 1: Grundkarte 1 : 25 000
- Beilage 2: Geologische Profile 1 : 25 000 / - 1 : 2 500
- Beilage 3: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992 (tiefer Grundwasser- und tiefer Aarestand) 1 : 25 000
- Beilage 5: Hydrochemie, 4 Teilkarten 1 : 50 000
- Beilage 6: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1 : 25 000

Kartographische Gestaltung und Technik:
WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens
Setz und Belichtung: Diastet AG, Bern
Reprographie: P. Gaffuri, Bern
Druck: Aerni-Lauch AG, Liebfeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 28.2.1994
Ausgabe 1994



Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Haslital, zwischen Innertkirchen und Briener See
 Hydrochemie, 4 Teilkarten 1 : 50 000



WEA

Leitung: Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
 Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVED)

NEU!
Grundwasser-
Nutzungs- u. Schutz-Karte
Haslital 1:25 000

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte Haslital

zwischen Innertkirchen und Briener See
1 : 25 000



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung:
Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern
(BVED)

Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Begrenzung des untersuchten Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- 580— 2 m Grundwasserspiegel-Isohyse vom 26.11.1992 mit Kote in m ü. M. (hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand)
- - - - 1 m Grundwasserspiegel-Isohyse
- Grundwasser-Fließrichtung
- Gemeindegrenze

Wichtige Fassungen der Trink- und Brauchwasserversorgung

- Quelle gefasst
- ++++ Sickerleitungs-Fassung über 50 m lang
Zahl = Schüttung in l/min
- Filterbrunnen
- S Quellwasserfassung mit rechtsgültiger Schutzzone (Zone S)

Konzessionierte Entnahmemengen und Schüttungen in l/min

□ ○ unbekannt	■ ● 251-1000
□ ○ < 5	■ ● 1001-5000
□ ○ 5-25	■ ● 5001-10000
□ ○ 26-100	■ ● 10001-50000
□ ○ 101-250	■ ● > 50000

Bestehende konzessionierte Nutzungen des Grundwassers

- Trinkwasser
- Brauchwasser (Industrie und Gewerbe; Kühlwasser; Wärmeabfuhr; Bewässerung; Schwimmbäder; Fischzuchtanstalten, Zierteiche und dergleichen)

Mögliche, künftige Grundwasser-Nutzungen (unter Berücksichtigung der rechtsgültigen Zonenpläne der Gemeinden: Innertkirchen v. Jan. 1981, Meiringen v. Sept. 1977, Schattenhalb v. Jan. 1984, Brienz v. März 1975).

- Bereich für Trinkwassergewinnung geeignet
- Bereich für Trinkwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet ¹⁾
- Bereich für Brauchwassergewinnung geeignet (Grundwasserqualität gefährdet)
- Bereich für Brauchwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet ¹⁾ (Ergiebigkeit einer Fassung < 400 l/min)
- Bereich für Grundwassernutzung wenig geeignet (Ergiebigkeit einer Fassung < 200 l/min)

Grundwasser-Schutz

- ▨ Quellwasser-Schutzzone; rechtsgültig (Zone S)

¹⁾ Vorbehalte: Bestehende oder mögliche Verunreinigung durch chemische Schadstoffe (z.B. Nitrate), beschränkte Ergiebigkeit, geringe Durchlässigkeit des Vorkommens.

Weitere Karten dieses Gebietes:

- Beilage 1: Grundkarte 1:25 000
- Beilage 2: Geologische Profile - 1:25 000 / - 1:2 500
- Beilage 3: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 28.1.1992 (tiefer Grundwasser- und tiefer Aarestand) 1:25 000
- Beilage 4: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 26.11.1992 (hoher Grundwasser- und mittlerer Aarestand) 1:25 000
- Beilage 5: Hydrochemie, 4 Teilkarten 1:50 000

Kartographische Gestaltung und Technik:

WEA P. Eichwald

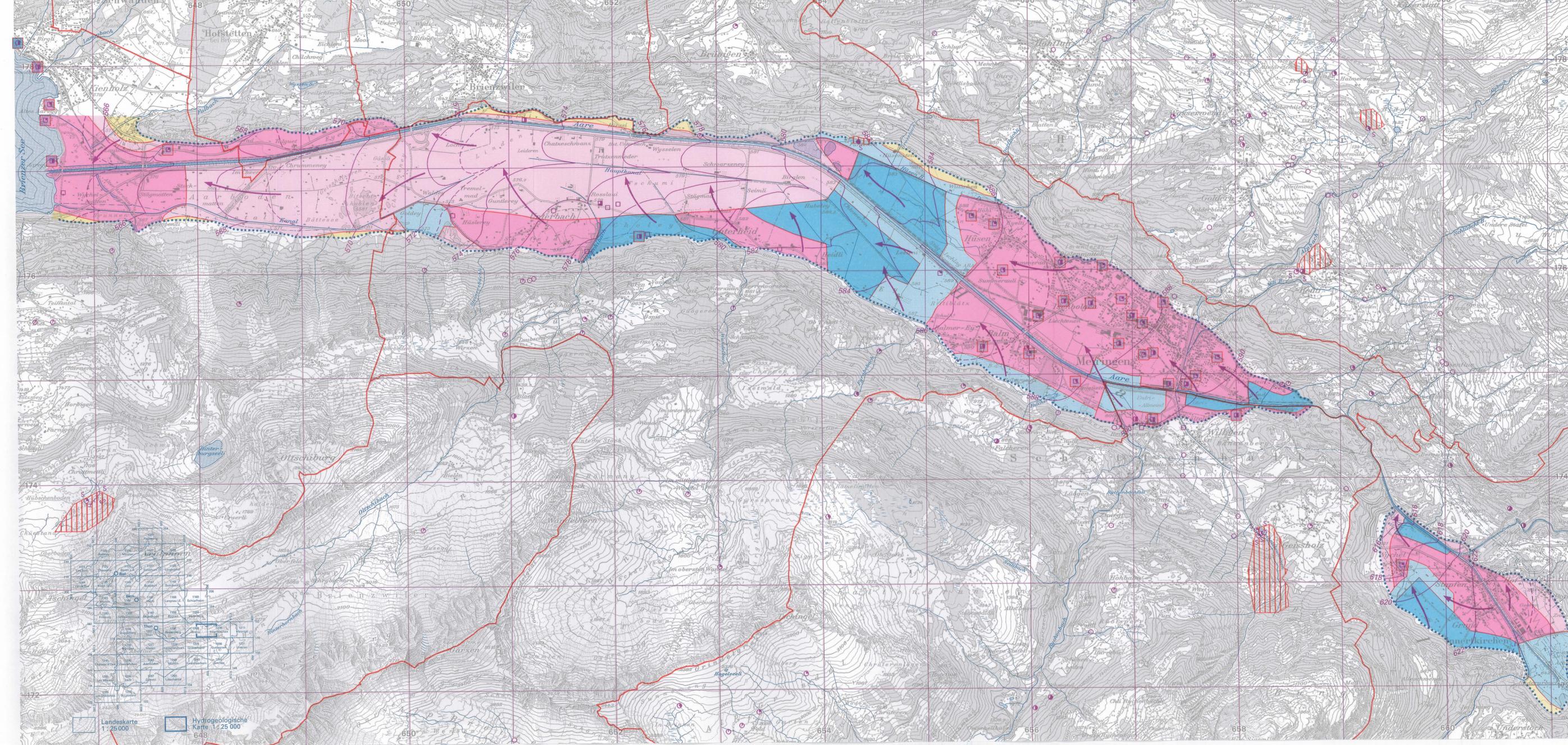
EDV-gestützte Kartographie: Balzari & Schudel AG - Ivet AG, Bern

Satz und Belichtung: Diast AG, Bern

Druck: Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 28.2.1994

Ausgabe 1994



Landeskarte 1:25 000
Hydrogeologische Karte 1:25 000