

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

Hydrogeologie Worblental



Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern



Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern
(VEWD)

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

Hydrogeologie Worblental



Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern



Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern
(VEWD)

Bericht:
Hydrogeologie Worblental

Ausgabe: 1990

Herausgeber:
Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Dr. R. A. Gees, Dr. G della Valle

Bearbeitung:
Dres. Peter Kellerhals, Charles Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern
Mitarbeit: Dres. Ueli Gruner, Jürg Wanner

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

Dieser Bericht stellt einen Beitrag zur Entscheidungsfindung dar und nimmt keine Beschlüsse der zuständigen politischen Organe vorweg.

Die Reproduktion und Weiterverwendung von Textabschnitten, Graphiken, Kartenausschnitten usw. ist erlaubt, wenn **auf allen Wiedergaben** klar auf den **Bericht**, das **Erscheinungsjahr**, den **Herausgeber**, die **Leitung** und **Autoren** hingewiesen wird.

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

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	7
RESUME	9
1. EINLEITUNG	11
1.1 Aufgabe und Zielsetzung	11
1.2 Kredite und Untersuchungsphasen	11
1.3 Bearbeiter	12
1.4 Untersuchungsgebiet	12
1.5 Unterlagen	13
2. GEOLOGISCHE SITUATION	14
2.1 Allgemeiner Ueberblick	14
2.2 Tertiär	17
2.2.1 Molassestufen	17
2.2.2 Molasseoberfläche	17
2.3 Quartär	19
2.3.1 Gliederung der quartären Ablagerungen	19
2.3.2 Aufbau der einzelnen Gebiete	22
3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN	25
3.1 Allgemeines	25
3.2 Niederschlag	28
3.3 Abfluss	28
3.3.1 Worble	28
3.3.2 Seitenbäche	31
3.4 Verdunstung	32
4. EIGENSCHAFTEN DER GRUNDWASSERLEITER	34
4.1 Allgemeines	34
4.2 Worber Becken	34
4.3 Deisswiler Becken	39
4.4 Gümliger Becken	39
4.5 Ostermundiger Becken	41
4.6 Vielbringer Becken	42
4.7 Randgebiete	43

	Seite
5. GRUNDWASSERSTROEMUNG	44
5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse	44
5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Worble und Grundwasser	44
5.3 Grundwasserspiegelschwankungen	48
6. WASSERQUALITAET	51
6.1 Allgemeines	51
6.2 Physikalische Eigenschaften	51
6.2.1 Oberflächengewässer	51
6.2.2 Grundwasser	55
6.3 Chemische Eigenschaften	56
6.3.1 Oberflächengewässer	56
6.3.2 Grundwasser	60
6.3.3 Quellen	65
7. GRUNDWASSERBILANZ	71
7.1 Worblental	71
7.2 Uebrige Gebiete	73
7.3 Zusammenfassung	75
8. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE	76
8.1 Grundwasserangebot	76
8.2 Grundwassernutzung	79
8.2.1 Bestehende Nutzung	79
8.2.2 Grundwasserbewirtschaftung	79
8.3 Grundwasserschutz	86

VERZEICHNIS DER FIGUREN

	Seite
Figur 2.1 Geologische Uebersicht	14
Figur 2.2 Alte Trogformen	16
Figur 2.3 Geologisches Sammelprofil	20
Figur 3.1 Ausgewählte Ganglinien (Monatsmittel)	27
Figur 3.2 Abflussregime der Worble bei Sinneringen und des Biglenbaches bei Enggistein (Monatsmittel)	30
Figur 3.3 Zuflüsse der Worble bei Niederwasser (20.6.1984)	33
Figur 4.1 Abgrenzung der Grundwasserbecken	35
Figur 4.2 Situation der elektromagnetischen Profile	36
Figur 4.3 Flurabstand bei mittlerem Wasserstand	38
Figur 5.1 Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels	46
Figur 5.2 Exfiltration bei Nesselbank in Beziehung zur Abflussmenge der Worble und des Grundwassers	47
Figur 5.3 Verhalten des Grundwasserspiegels bei Starkniederschlag	49
Figur 6.1 Temperaturganglinien (Monatsmittel) der Worble und des Grundwassers bei Worb	52
Figur 6.2 Tagesschwankungen der Worble	53
Figur 6.3 Chemismus der Oberflächengewässer	57
Figur 6.4 Ganglinien der Nitrat-, Sulfat- und Chloridkonzentrationen (Monatswerte) im Grundwasser der Fassung Worbboden, in der Worble und im Bächu	58
Figur 6.5 Die Entwicklung des Nitratgehaltes in der Grundwasserfassung Worbboden (WV Worb)	64
Figur 6.6 Quellgruppe Herolfingen - Gysenstein, Beziehung des Nitratgehaltes im Quellwasser zur Bewirtschaftung der Einzugsgebiete	67
Figur 6.7 Quellgruppe Herolfingen - Gysenstein, Beziehung des Nitratgehaltes zur Quellschüttung	70
Figur 6.8 Ausgewählte Quellen Worblental, Beziehung des Nitratgehaltes zur Fassungstiefe	70
Figur 7.1 Bilanz Grundwasserstrom Worblental bei Niederwasser- verhältnissen	72
Figur 8.1 Wasserwirtschaftliche Nutzungskarte	82

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Beilage 1 Grundkarte 1:25'000	
Beilage 2 Geologische Profile 1:25'000 / 1:2'500	
Beilage 3 Isohypsen des Grundwasser-Spiegels, Mittelwasserstand, Isohypsen des Grundwasserstauers	
Beilage 4 Hydrochemie, 6 Teilkarten 1:50'000	

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR

88

ZUSAMMENFASSUNG

Anlass für die hydrogeologischen Untersuchungen im Worblental waren ernsthafte Wasserversorgungsprobleme, vor allem gütemässiger Art. Seit Jahren hatte besonders die Gemeinde Worb Schwierigkeiten mit dem zu hohen Nitratgehalt im Trinkwasser. Andere Gemeinden hielten aus verschiedenen Gründen nach weiteren, einwandfreien Wasserbezugsmöglichkeiten Ausschau.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen war einerseits die Erforschung der knappen Grundwasserressourcen in der südöstlichen Agglomeration Berns und andererseits, den bedrängten Gemeinden die Grundlagen für die Nutzung von alternativen Grundwasservorkommen zu liefern.

Die Ergebnisse dieser Studie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die grösseren Grundwasservorkommen treten in den weitgehend hydraulisch unabhängigen Becken von Worb, Deisswil, Gümligen, Ostermundigen sowie Vielbringen auf und beanspruchen ein Einzugsgebiet von 81 km².
- Die Feldergiebigkeit der Grundwasservorkommen erreicht bei Niederwasserbedingungen gesamthaft 24'200 l/min. Davon wird heute knapp die Hälfte genutzt, d.h. 11'300 l/min sind noch verfügbar, wovon 8'100 l/min als Trinkwasser.
- In der Regel weist das Grundwasser Trinkwasserqualität auf. Eine dauernde Ueberdüngung hat jedoch bei vielen Quellen und namentlich im Grundwasser des Worber Beckens zu Nitratgehalten geführt, die nahe beim Grenzwert von 40 mg/l liegen oder diesen übersteigen. Nach einer rapiden Konzentrationserhöhung in den Jahren 1985 - 1988 ist nun im Worbboden in den beiden letzten Jahren eine deutliche Abnahme des Nitratgehaltes unter den Grenzwert festzustellen. Möglicherweise zahlen sich die intensiven Bemühungen für eine umweltgerechtere Bodennutzung allmählich aus.
- Güte- und mengenmässig kommen für neue öffentliche Grundwasserfassungen nur noch drei Gebiete in Frage: Steinacher - Vielbringemoss, Stettlenmoos und Tiefenmösli bei Dennikofen.

R E S U M E

De sérieux problèmes d'alimentation en eau, du point de vue qualitatif avant tout, ont engendré la nécessité de recherches hydrogéologiques au Worblental. La commune de Worb en particulier était confrontée depuis des années à des difficultés dues au fait que son eau potable présentait une teneur trop élevée en nitrate. A cela s'ajoute que, pour diverses raisons, d'autres communes souhaitaient trouver de nouvelles ressources en eau de qualité impeccable.

Les recherches en cause visaient d'une part à accroître les ressources en eau, jusque là limitées, de l'agglomération sise au sud-est de Berne, et d'autre part à fournir aux communes embarrassées à cet égard les bases leur permettant d'utiliser de nouvelles ressources en eau souterraine.

Les résultats de l'étude peuvent être résumés comme suit:

- Ce sont les bassins, pour l'essentiel indépendants du point de vue hydraulique, de Worb, Deisswil, Gümliigen, Ostermundigen et Vielbringen qui présentent les ressources en eau souterraine les plus importantes; leur bassin versant comprend 81 km².
- Ces nappes d'eaux souterraines offrent, en situation d'étiage, une capacité au champ globale de 24'200 l/min, dont moins de la moitié est actuellement utilisée; cela signifie que 11'300 l/min sont encore à disposition, dont 8'100 l/min ent tant qu'eau potable.
- La qualité de l'eau souterraine est généralement celle d'une eau potable. Toutefois, en raison d'une surfertilisation permanente, la teneur en nitrate que présentent de nombreuses sources, notamment dans le bassin de Worb, est proche de la valeur limite de 40 mg/l ou lui est même supérieure. Il apparaîtrait cependant que, si la concentration a rapidement augmenté entre 1985 et 1988, la teneur en nitrate a notablement décru au cours des deux dernières années dans la région de Worb, pour atteindre des valeurs inférieures à la limite. Il n'est pas exclu que les efforts intenses visant à ce que le sol soit utilisé de manière plus respectueuse de l'environnement commencent à porter leurs fruits.
- Des points de vue qualitatif et quantitatif, seuls trois secteurs se prêtent à de nouveaux captages publics d'eau souterraine: Steinacher - Vielbringenmoos, Stettlenmoos et Tiefenmösli près de Dennikofen.

1. EINLEITUNG

1.1 Aufgabe und Zielsetzung

Da im Kanton Bern der Staat das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer besitzt, ist er von Gesetzes wegen verpflichtet, das Wasser güte- und mengenmässig zu schützen. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, müssen die Wasservorkommen möglichst gründlich erforscht sein. Erst die genaue Kenntnis der hydrologischen und hydraulischen Zusammenhänge erlaubt es, die Wasserressourcen zweckmässig zu bewirtschaften. Dies ist besonders beim Grundwasser der Fall, das grösstenteils die Trinkwasserversorgung sicherstellt.

Anlass für die hydrogeologischen Untersuchungen im Worblental waren ernsthafte Wasserversorgungsprobleme, vor allem gütemässiger Art. Seit Jahren hatte besonders die Gemeinde Worb Schwierigkeiten mit dem zu hohen Nitratgehalt im Trinkwasser, was u.a. zu parlamentarischen Vorstössen und juristischen Verfahren bis vor das Bundesgericht führte. Auch die Gemeinden Ostermundigen und Allmendingen hielten aus verschiedenen Gründen nach weiteren, einwandfreien Wasserbezugsmöglichkeiten Ausschau.

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchungen war somit, den bedrängten Gemeinden die Grundlagen für die Nutzung von alternativen Grundwasservorkommen zu liefern. Andererseits ging es aber vor allem um die endgültige Erforschung der knappen Grundwasserressourcen in der südöstlichen Agglomeration Berns, um diese möglichst optimal zu nutzen und vor weiteren Beeinträchtigungen zu bewahren.

1.2 Kredite und Untersuchungsphasen

Aehnlich wie das Worblental steht auch die Region Kiesental vor ernsthaften Wasserversorgungsproblemen. Es lag deshalb auf der Hand, diese beiden hydrologisch stark ineinandergreifenden Gebiete gemeinsam zu untersuchen.

Als Grundlage für die Arbeiten diente das Untersuchungsprogramm vom 17. Dezember 1980. Dieses sah einen zweiteiligen Arbeitsablauf vor: Grobabklärungen in einer 1. Arbeitsphase und siedlungswasserwirtschaftliche Ermittlungen mit abschliessendem Bericht in einer 2. Arbeitsphase. Nachdem das Bundesamt für Umweltschutz am 3. April 1982 eine Subventionierung der 1. Phase zugesichert hatte, bewilligte am 9. Juni 1980 der Grosse Rat des Kantons Bern den für die 1. Untersuchungsphase notwendigen Kredit von Fr. 1'029'780.-.

Ende 1985 fand die 1. Phase ihren Abschluss. Gegenüber dem ursprünglichen Programm hatten sich indessen grössere Änderungen ergeben. Da die Arbeiten sehr praxisbezogen durchgeführt und so weit als möglich den dringenden lokalen Wasserproblemen angepasst wurden, war dies keineswegs erstaunlich. So wurde in Anbetracht der gefährdeten und angespannten Wasserversorgungslage einiger Gemeinden die genauere Erforschung neuer Grundwasservorkommen – die ursprünglich erst in der zweiten Arbeitsphase vorgesehen war – teilweise vorgezogen. Ins-

besondere für die Verbesserung von gutemässig stark beeinträchtigten Wasserversorgungen im Worblental wurden grosse Anstrengungen unternommen. Dank dieser Arbeitsverlagerung - die teils auf Kosten des Kiesentals vorgenommen wurde - lagen bereits nach der 1. Arbeitsphase die Grundlagen für die Siedlungswasserwirtschaftliche Planung im Worblental weitgehend vor. Dies hatte eine Programmänderung zur Folge (revidiertes Programm vom 12. November 1985), indem das Worblental unabhängig vom Kiesental im Rahmen einer reduzierten 2. Arbeitsphase zum Abschluss gebracht wurde. Der Grosse Rat bewilligte am 11. Dezember 1985 einen subventionierten Kredit von Fr. 253'500.-.

Dem Parlament, dem Regierungsrat, besonders den Vorstehern der Direktion für Verkehr, Energie und Wasserwirtschaft, den Herren Regierungsräten H. SOMMER und R. BAERTSCHI sowie Herrn dipl. Ing. R. MERKI, Oberingenieur des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes, sei für ihre Unterstützung und ihr Vertrauen bestens gedankt. Den Mitarbeitern des Bundesamtes für Umweltschutz, insbesondere Herrn Alt-Direktor Dr. R. PEDROLI sowie Herrn Dr. C.R. NIGGLI gebührt Dank für ihr Interesse und ihre Mithilfe.

1.3 Bearbeiter

Die Arbeiten standen unter der Leitung des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes. Zuständig für die Betreuung war bis zu seiner Pensionierung Ende 1986 Herr Dr. R.A. GEES, anschliessend übernahm Herr Dr. G. DELLA VALLE als nachfolgender Kreisgeologe Oberland diese Aufgabe.

Mit den Untersuchungen wurde das Geologiebüro Dres. P. KELLERHALS und CH. HAEFELI betraut. Folgende Mitarbeiter der verantwortlichen Geologen waren vor allem an den Untersuchungen beteiligt: Die Herren Dr. U. GRUNER, Dr. A. ISLER, Dr. J. WANNER und Dr. H.-J. ZIEGLER sowie Frau V. MESSERLI und die Herren D. BACCALA, R. HORISBERGER, M. MAURER und H. WANNER.

Ein Teil der hydrometrischen Stationen wurde direkt durch das WEA betreut (Herr dipl. Ing. M. RIHA, Herr A. ROLLI).

Die zahlreichen chemischen Wasseranalysen wurden durch das Laboratorium des Kantonschemikers durchgeführt.

Die geophysikalischen Untersuchungen wurden vor allem durch Dr. I. Müller der Universität Neuenburg durchgeführt. Für Bohr- und Rammarbeiten sowie für Pumpversuche wurden mehrere spezialisierte Unternehmungen beigezogen.

1.4 Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet der untersuchten Grundwasservorkommen umfasst 81 km². Im SW grenzt es zwischen Gysenstein und Ostermundigen an den früheren Untersuchungs-

perimeter des Aaretals (WEA-Bericht 1981). Im Westen folgt die Grenze einer Linie, die meist mit der nicht sehr ausgeprägten Wasserscheide zusammenfällt, d.h. von Saali über Schosshalde - Schärmenwald - Ittigen - Manneberg zum Grauholz. Im NE ist das Gebiet durch die Hügelzüge Bantiger - Aebnit - Dieboldshusenegg und Aetzrüti klar definiert, während im E die Begrenzung gegenüber dem Kiesentalperimeter über den Lüscherberg - Worbbberg - Aenggist - Hürnberg nach Gysenstein verläuft.

Das Untersuchungsgebiet beinhaltet somit folgende Gemeinden:

Amt Bern:	Bern	Amt Konolfingen:	Konolfingen
	Bolligen		Rubigen
	Ittigen		Schlosswil
	Muri		Worb
	Ostermundigen		
	Stettlen		
	Vechigen		

1.5 Unterlagen

Der nun vorliegende Schlussbericht stellt eine Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse dar, die einzeln aufgeführt den üblichen Rahmen sprengen würden. Die folgenden Zwischenberichte enthalten Detailresultate, darunter alle Bohrprofile: Hydrogeologie Kiesen - Worblental 1983, 1984/85, 1986.

So weit als möglich wurden alle bisher im Untersuchungsgebiet durchgeführten Sondierungen, geologische und geotechnische Gutachten, hydrometrische Messungen etc. gesammelt und nach erfolgter Auswertung gemäss den Auflagen des WEA registriert und in der WEA-Grundlagenkarte verarbeitet. Detailinformationen und greifbare Dokumente sind in der geologischen Dokumentation des WEA gespeichert oder abgelegt.

Das Auffinden und Sammeln einer derart grossen Anzahl von geologischen Dokumenten war nur dank dem Entgegenkommen und der Mitarbeit zahlreicher Privatpersonen, Gemeindeverwaltungen, Geologie- und Ingenieurbüros sowie Bohrfirmen möglich. Allen denen, welche in uneigennützigter Art Informationen und Dokumente zur Verfügung stellten, sei herzlich gedankt. Leider ist ihre namentliche Auflistung der grossen Zahl wegen nicht möglich.

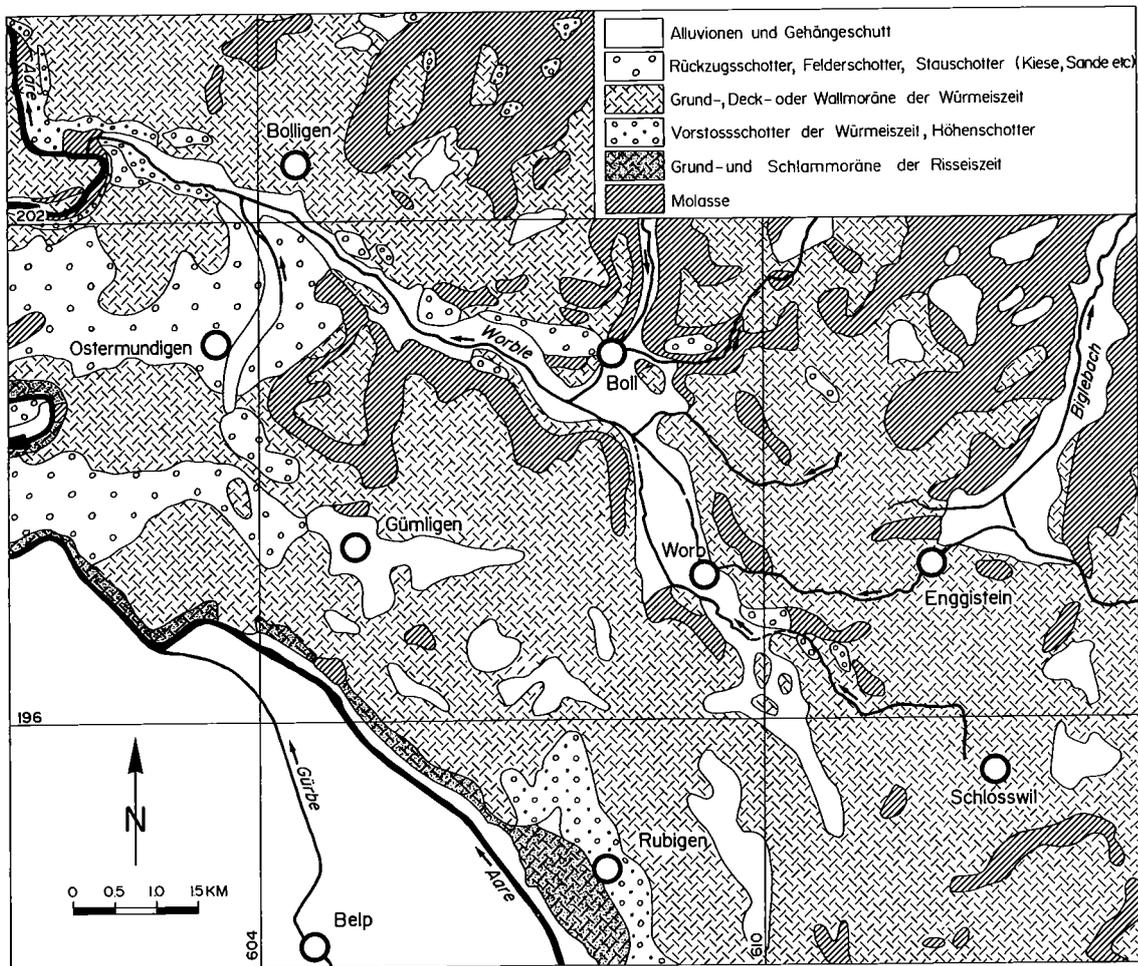
Abgesehen von einigen geologischen Dokumenten, die durch Eigentümer- oder Inhaberrechte für die öffentliche Einsichtnahme gesperrt sind, können die Unterlagen beim WEA eingesehen werden. Einige besonders wichtige Titel wurden im Bericht hervorgehoben.

2. GEOLOGISCHE SITUATION

2.1 Allgemeiner Ueberblick (vgl. Fig. 2.1: Geologische Uebersicht)

Das Untersuchungsgebiet ist stark geprägt durch die Erosionsformen und Ablagerungen aus dem jüngsten Quartär. Während der letzten Eiszeiten erodierten die Gletscher z.T. tiefe Tröge in die darunterliegende Molasse und füllten sie mit ihrem Schutt teilweise wieder auf. Das Festgestein besteht aus Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse (Aquitanien) und der Oberen Meeresmolasse (Burdigalien und "Helvétien"); die Molasseschichten weisen eine schwache Neigung nach SE auf.

Fig. 2.1: Geologische Uebersicht



Auf der Nordostseite des Aaretals haben Nebenarme des Aaregletschers breite und z.T. tiefe Glazialtröge ausgehobelt (vgl. Fig. 2.2). Einer dieser Nebentröge, der sog. Gümligentrog, führt von Rubigen über das Vielbringermoos und Gümligen in das Becken von Ostermundigen, von wo auch zwei oder drei schmale Rinnen aus dem Haupttrog des Aaretals im SW einmünden. Nach N ist eine Fortsetzung des Troges über Ittigen bis in das Grauholz feststellbar. Ein kleiner Nebengletscher führte von Ittigen nach SE und bildete bis nach Boll einen kleinen Nebentrog (Becken von Deisswil).

Während für den Aarealtrog eine vorrisseseiszeitliche Trogbildung als gesichert scheint (WEA 1981, KELLERHALS & ISLER 1983), wird für den Gümligentrog sowie für das Becken von Deisswil eine risseseiszeitliche Bildung angenommen. Infolge der starken Vergletscherung der letzten Eiszeit, der Würmeiszeit, können von früheren Vergletscherungen nur noch wenig gesicherte Spuren nachgewiesen werden. Ob auch das obere Worblental mit dem Worber Becken risseseiszeitlich angelegt worden ist, bleibt unklar. Allfällige Ablagerungen dürften bei den würmeiszeitlichen Gletschervorstössen wieder ausgeräumt worden sein.

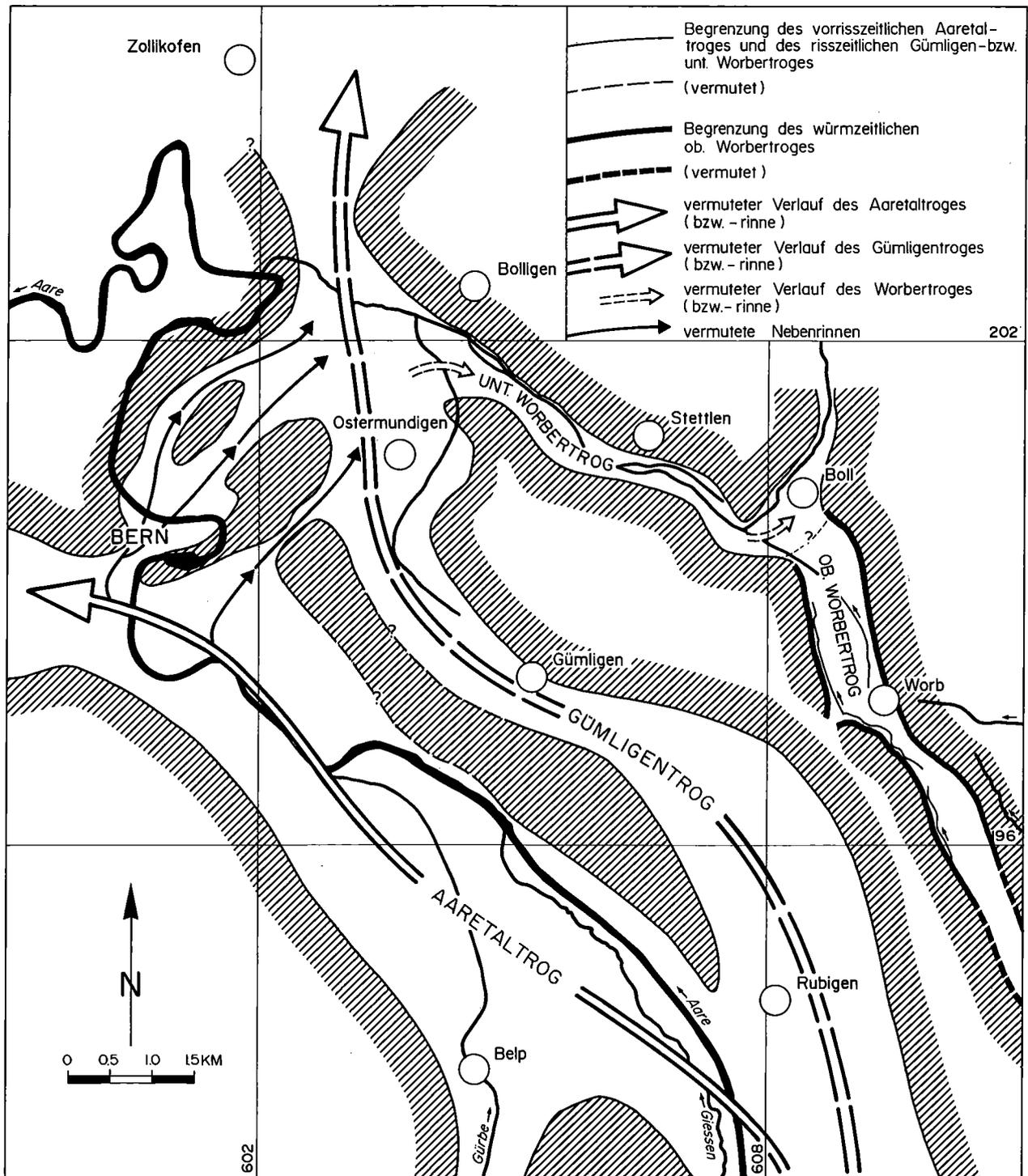
Die jüngste Quartärgeschichte dürfte sich etwa wie folgt abgespielt haben:

Gegen Ende der vorletzten Eiszeit stiess der Aaregletscher mit verschiedenen Nebenarmen bis in die Gegend von Bern vor. Die feinkörnigen Ablagerungen mit gekritzten Geröllen im Liegenden der Würmmoräne und von älteren, frühwürmeiszeitlichen Schottern werden als Ablagerungen einer Rissmoräne interpretiert, da sie mit risseseiszeitlich datierten Schichten im Aaretal genetisch und lithostratigraphisch korreliert werden können (vgl. WEA 1981).

Die letzte Eiszeit, die Würmeiszeit, wird im Untersuchungsgebiet durch zwei markante Vorstösse des Aaregletschers geprägt. Während der erste Vorstoss bis in das mittlere Aaretal, sicher jedoch nicht über Bern hinaus gelangte (SCHLUECHTER 1976), stiess der Gletscher beim zweiten Vorstoss über das Grauholz bis in die Gegend von Burgdorf. Die mit diesem Vorstoss verbundenen Schotter werden als Münsingen-Schotter bezeichnet (SCHLUECHTER 1976). Der träger reagierende Rhonegletscher stiess erst später in die Gegend von Bern vor und drängte dabei den Aaregletscher ab, worauf der letztere das untere Worblental hinauf bis in die Gegend von Boll floss (WAGNER 1986).

Der Aaregletscher zog sich darauf in mehreren Etappen zurück. Endmoränen und verschiedene zusammenhängende Moränenzüge an den Talflanken sind heute noch gut zu erkennen. In den einzelnen Rückzugsphasen wurden die verschiedenen Becken mit Rückzugssedimenten aufgefüllt und weite Ebenen aufgeschottert (sog. Felderschotter).

Fig. 2.2: Alte Trogformen



2.2 Tertiär

2.2.1 Molassestufen

Im Untersuchungsgebiet sind Ablagerungen aus vier Stufen der flachliegenden mittelländischen Molasse zu finden. Vom Liegenden zum Hangenden sind folgende Einheiten unterschieden worden:

Das Aquitani (oberer Teil der Unteren Süßwassermolasse) ist nur im nordwestlichsten Teil des Untersuchungsgebietes, im tiefen Einschnitt der Worble bei Worblaufen, zu finden. Es besteht aus einer Wechsellagerung von weichen, knauerigen Sandsteinen mit bunten, häufig roten Mergeln.

Darüber folgt der untere Teil der Oberen Meeresmolasse, das Burdigalien. Dieses tritt im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes und im Worblental in den untersten steilen Talflanken bis in die Gegend von Worb auf. Die Schichten bestehen vorwiegend aus mittelkörnigen, z.T. sehr homogenen Sandsteinen mit vereinzelt Nagelfluhbänken und Geröllschnüren.

Der obere Teil der Oberen Meeresmolasse, das "Helvétien", steht vor allem in den höherliegenden Bereichen der Talflanke im mittleren und nördlichen Teil sowie im SE des Untersuchungsgebietes an. Es besteht unten aus einer zyklischen Abfolge von Sandsteinen (sog. "Bausandsteine"), in die sich vor allem in der Region östlich von Boll vermehrt Nagelfluhorizonte einschalten. Im jüngeren Teil des "Helvétien" tritt eine Wechsellagerung von weichen Feinsandsteinen mit z.T. schrägschichteten Nagelfluhkomplexen auf.

Von dem über dem "Helvétien" liegenden "Tortonien" (Obere Süßwassermolasse) reichen nur die untersten Schichten (Sandsteine, Mergel, Nagelfluh) am Lüseberg und am Hürnberg in das Untersuchungsgebiet.

2.2.2 Molasseoberfläche

Die Kenntnisse der ursprünglichen Erosionsformen in den einzelnen Trögen und Becken der Molasse konnten mittels einer Vielzahl von Bohrungen, durch Detailkartierungen und durch geophysikalische Untersuchungen bedeutend verfeinert werden.

Zwischen Kleinhöchstetten und Muri trennt ein gut bekannter und belegter Molasserücken den Aaretaltrog von den östlich anschliessenden Nebentrögen (WEA 1981). Der bedeutendste Nebentrog wird im folgenden als Gümligentrog bezeichnet (vgl. Fig. 2.2). Er wird als östliche Fortsetzung des Aaretaltroges betrachtet; er zieht von Rubigen über die Becken von Vielbringen und Gümligen nach Ostermundigen.

Eine verschiedentlich vermutete Fortsetzung des Aaretal- bzw. des Gümligentroges nach NW in das Worblental konnte nicht bestätigt werden. Aufgrund einer detaillierten Feldaufnahme und einer grossen Anzahl von Bohrungen (vor allem

Spülbohrungen der Societé des Pétroles d'Aquitaine, SPA) konnte die Nordbegrenzung des Gümligentrogos gut definiert werden. Der Molasserücken zieht vom Ostermundigenberg über Dentenberg, Wislen, Station Worb bis zum Horn westlich von Trimstein.

Im Gebiet von Vielbringen weist der Trog eine Breite von ca. 1,5 km auf. In einer Tiefe von ca. 30 m konnte eine vermutlich trogparallel verlaufende Schwelle festgestellt werden. Nördlich dieser Schwelle, d.h. im Gebiet des Hüenliwaldes, liegt die Molasseoberfläche in einer Tiefe von ca. 140 m, d.h. auf Kote 427, wie seismische Daten aus einer 56 m tiefen WEA-Bohrung (607.196/6) gezeigt haben. Die Fortsetzung des Troges Richtung Rubigen wird über das Schattholz angenommen, wo eine 48 m tiefe Bohrung (608.194/4) die Molasse nicht erreichte.

Gegen NW verengt sich der Trog in der Gegend von Gümligen auf wenige hundert Meter mit einer vermutlich tiefen Rinne. Die in einzelnen Bohrungen auf ca. 40 m Tiefe erreichte Felsoberfläche stellt kaum die Sohle der Rinnenachse dar.

Vom Teilbecken von Wittigkofen ist eine (evtl. rinnenartige) Verbindung des Gümligentrogos mit dem Aaretaltrog denkbar, jedoch nicht nachgewiesen: Die Molasseschwelle, welche das Becken von Gümligen vom Aaretal abtrennt, verläuft vom Grossen Hüenliwald Richtung NW nach Muri. In der weiteren Fortsetzung ist die Ausbildung der Schwelle nicht mehr bekannt. Im oberen Murifeld liegt die Molasseoberfläche gemäss verschiedenen Bohrungen etwa auf Kote 500.

Die nördliche Fortsetzung des Troges führt in das breite Becken von Ostermundigen, wo auf der Ostseite der Ostermundigenberg und der Hätteberg die seitliche Begrenzung bilden. In Richtung Westen wird ein flach ausgehobelltes, aber tiefes Becken angenommen, dessen Sohle mindestens auf Kote ~ 505 (Bohrung 602.200/39), teilweise aber noch tiefer liegen dürfte.

Eine weitere Fortsetzung nach Norden in Richtung Papiermühle und Grauholz ist nachgewiesen. In Ittigen z.B. wurde der Felsuntergrund bei Kote 481 nicht erreicht (Bohrung 603.202/22). Eine ca. 50 m tiefe Bohrung in der Mulde von Grauholz nördlich des Forsthauses (Koord. 603.760/205.138) erreichte die Molasse auf Kote 506 ebenfalls nicht.

Der unterste Teil des Worblentals zwischen Ittigen und Worblaufen stellt vermutlich eine schmale Entwässerungsrinne während der letzten Eiszeit dar. Bei der Autobahnbrücke Worblaufen liegt die Felsoberfläche etwa auf Kote 505.

Der zweite bedeutende Glazialtrog im Untersuchungsgebiet ist der sog. Worbertrog zwischen Trimstein und Deisswil. Er verläuft im wesentlichen in der Richtung der heutigen Talung. Die Molasseoberfläche in diesem Trog wurde durch eine komplexe Quartärgeschichte beeinflusst. Aufgrund der regionalen Zusammenhänge wird angenommen, dass der Trog des Worblentales zwischen Boll und Wegmühle (Bolligen) bereits risseiszeitlich angelegt worden ist (vgl. Kap. 2.1). Dabei wurde der Aaregletscher im Gebiet von Ostermundigen durch den Rhonegletscher nach SE abgedrängt und floss von Westen her das Worblental hinauf bis nach Boll. Durch eine vermutlich schmale tiefe Molasserinne erfolgte die Entwässerung durch das Lindental nach Norden. Ein ähnlicher Gletscherverlauf wurde für die Würmeiszeit von WAGNER (1986) nachgewiesen.

Der Worbetrog wird praktisch durchgehend und beidseitig durch steile Felsflanken eingeengt. Im Becken von Deisswil beträgt die Trogbreite meist 400 - 700 m. Für dieses Gebiet wird eine ausgeprägte Rinnenstruktur mit einer starken Uebertiefung angenommen. Der genaue Verlauf der Rinnenachse in diesem Abschnitt ist nicht bekannt. Verschiedene Bohrungen in der Talebene erreichten zwar die Molasseoberfläche, doch wurde dabei vermutlich nicht die Sohle der Rinne erbohrt. Der tiefste Punkt des Troges wurde in einer Bohrung SE Stettlen (607.200/10) auf Kote 502.5 festgestellt.

Der Glazialtrog im oberen Worblental zwischen Trimstein und Boll dürfte zur Hauptsache während der Würmeiszeit angelegt worden sein. Zwischen Trimstein und Schluchbüel weist die Molasse eine Quartärüberdeckung von ca. 10 - 25 m auf, was durch eine grössere Anzahl von Bohrungen gut dokumentiert ist. Mit einem Gefälle von durchschnittlich 15 ‰ verläuft der Molassetrog nach Worb. Die Uebertiefung beträgt bei einer relativ schmalen Trogform von knapp 500 m Breite ca. 20 - 25 m.

Im eigentlichen Becken von Worb, d.h. im Worboden, erreicht die Quartärüberdeckung mindestens 50 m, d.h. die Molasseoberfläche liegt tiefer als Kote 515. Da in keiner der Bohrungen der Fels erreicht wurde, können über die genaue Trogform und allfällige Rinnenstrukturen keine genaueren Angaben gemacht werden.

2.3 Quartär

2.3.1 Gliederung der quartären Ablagerungen

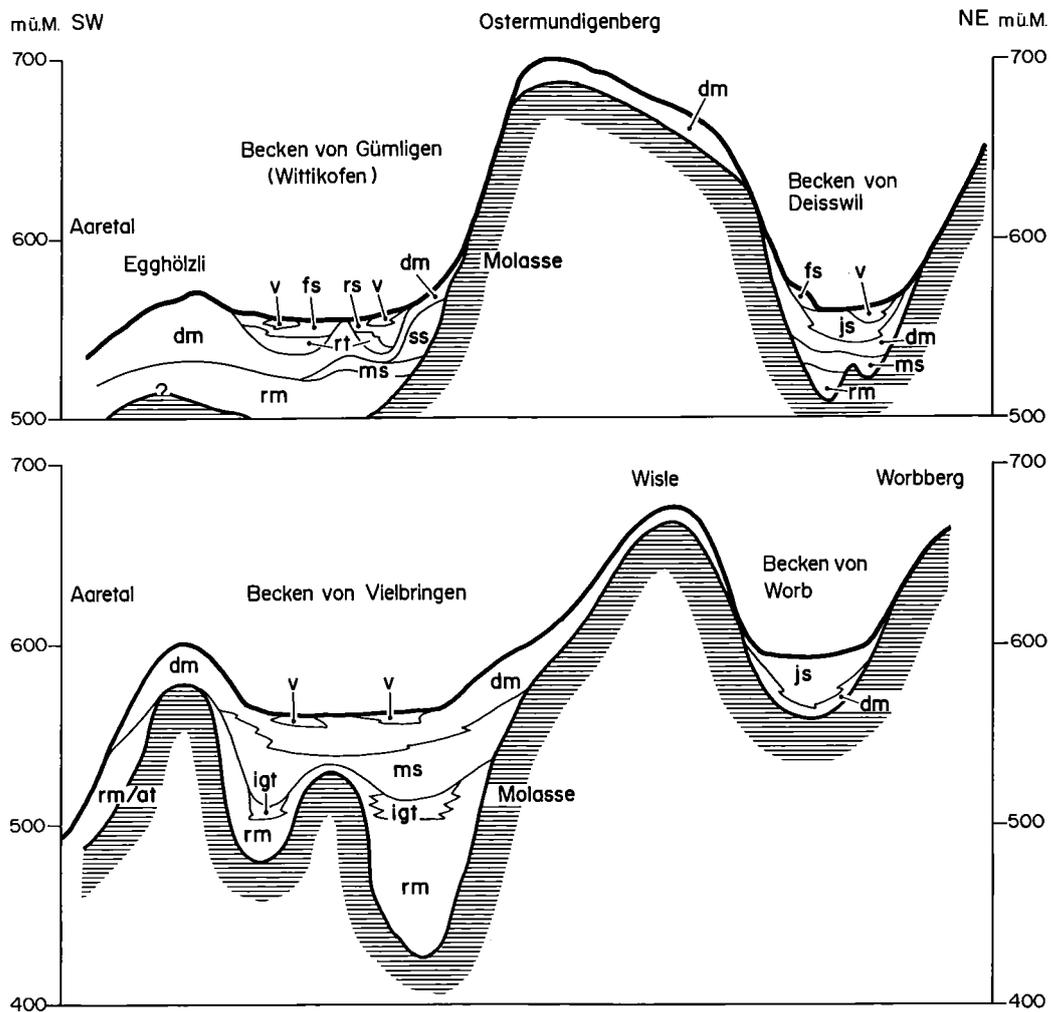
Bei der Gliederung der quartären Ablagerungen konnte nur beschränkt auf frühere Arbeiten zurückgegriffen werden (GERBER 1927, GERBER 1955, WAGNER 1986). Es wurde deshalb in erster Linie eine Korrelation mit den gut dokumentierten Arbeiten aus dem Aaretal (SCHLUECHTER 1976, WEA 1981) vorgenommen. Die für den vorliegenden Bericht ausgeführten Untersuchungen lieferten dazu die notwendigen Unterlagen.

Die im Untersuchungsgebiet in den beiden Trögen auftretenden Quartärbildungen sind in zwei schematischen Querprofilen dargestellt (Fig. 2.3). Die dazugehörige Legende gibt einen Ueberblick über die hydrogeologische Funktion der einzelnen Ablagerungen.

Wie im Kapitel 2.1 bereits ausgeführt, wurde das Untersuchungsgebiet würmeiszeitlich stark geprägt, doch wurden weite Teile der beiden Tröge bereits während der Risseiszeit angelegt.

Feinkörnige Ablagerungen mit einzelnen Blöcken im Liegenden von Münsigen-Schottern und z.T. von Seetonen im Gümligentrog werden als Rissmoräne (rm) eingestuft. Für eine solche Zuweisung spricht eine Datierung aus einer Bohrung im Schattholz südlich von Vielbringen, wo die direkt unter Münsigen-Schottern liegenden Seetone ein interglaziales, eemzeitliches oder älteres Pollenspek-

Fig. 2.3: Geologisches Sammelprofil



Bezeichnung Lockergestein		Geologische Einheit	Lithologie	Hydrogeologische Funktion
Holocaen	v	Verlandungsbildungen	Sand, Lehm, Torf	Deckschichten
	js	junge Schotterablagerungen der Flüsse	sauberer Kies, z.T. siltig-sandig	Hauptgrundwasserleiter
	fs/rs	Felderschotter (Rückzugsschotter)	sandige Kiese mit Siltlinsen	Hauptgrundwasserleiter
Pleistocaen	rt	Rückstausedimente (Rückzug des Würmgletschers)	siltiger Sand tonig-sandige Silte, Tone	Stauer
	dm	Deckmoräne (incl. Wallmoräne)	tonig-siltig-sandiger Kies mit Blöcken	Deckschichten z.T. Stauer
	ss	Stauschotter	sandiger Kies, z.T. siltig, Sande	lokal Grundwasserleiter
	ms	Münsingen - Schotter (obere und untere)	z.T. siltig-sandiger z.T. sauberer Kies, oft verkittet	Stauer
	igt	Seetone (interglazial)	sandige Silttone	Stauer
	rm	alte Moräne (Riss?), Schlammmoräne	tonige Silte mit Blöcken	Stauer
	at	alte Seetone (Aaretal)	geschichtete, tonig-sandige Silte	Stauer

trum aufweisen (WEA 1981). Die Seetone können zudem mit einer analogen Abfolge im Aaretal bei Thungschneit (SCHLUECHTER 1976), die ebenfalls eemzeitlich datiert werden konnte, korreliert werden. Aus Analogiegründen werden sowohl die gleichartigen Ablagerungen im Becken von Ostermundigen als auch im unteren Worblental als Moräne der Risseiszeit bezeichnet. Immerhin wäre beispielsweise bei der Moräne im unteren Worblental eine Zuweisung zu einer Würm-I-Ablagerung des Rhonegletschers denkbar.

Als interglaziale Seetone (igt) wurden sandige Silttone bezeichnet, wie sie z.B. in den tieferen Bohrungen im Hünenliwald NW Vielbringen unter den Münsingen-Schottern angetroffen wurden.

Als Münsingen-Schotter (ms) werden generell die zwischen Würm-II-Moränen und den als interglazial bzw. risseiszeitlich eingestuft Sedimenten abgelagerten Vorstossschotter verstanden. Im vorliegenden Untersuchungsgebiet handelt es sich um den zweiten, bedeutenden Vorstoss des Aaregletschers. Die z.T. siltig-sandigen Schotter weisen eine Mächtigkeit von bis zu 30 m auf und sind häufig verkittet. In der Gegend zwischen Ostermundigen und Worblaufen, wo sich einst der Aare- und der Rhonegletscher vereinten, werden analoge Schottervorkommen als Vorstossschotter des Rhonegletschers, d.h. als Karlsruhe- bzw. Grauholz-Schotter (ks bzw. gs), bezeichnet.

Die Deckmoräne (dm) des Würmgletschers bedeckt mehr oder weniger die ganzen Talflanken. Bei seinem Rückzug lagerte der Aaregletscher eine Staffel von Moränenwällen in verschiedenen Höhenlagen ab. In den Trögen wurden die Moränenablagerungen teilweise erodiert und häufig durch jüngere Ablagerungen wieder überdeckt.

Die Stauschotter (ss) von Ostermundigen wurden in einem Stadium des Gletscherstandes abgelagert, als sich zwischen der rechten Flanke des Aaregletschers und dem Ostermundigenberg ein eisfreier Trog bildete, der in der Folge vollständig mit sandigem und z.T. siltigem Kies aufgefüllt wurde.

Beim Rückzug des Aaregletschers wurden, ausserhalb des jeweiligen Würm-II-Endmoränenstandes, einerseits weiträumige Schotterfelder aufgebaut, die sog. Felderschotter (fs). Andererseits sind auch feinkörnige, z.T. tonige Sedimente, die über der Deckmoräne liegen, als Rückstausedimente (rt, Stillwasserablagerungen) des Aaregletschers während seines Rückzugs zu betrachten.

Aus der jüngsten erdgeschichtlichen Zeit, dem Holocaen, finden sich in erster Linie junge alluviale Schotter (js), welche durch Erosion teilweise tief in älteren Ablagerungen abgelagert wurden. Sie bilden den hauptsächlichen Grundwasserleiter vor allem im Worblental. Verschiedenenorts werden diese Schotter (z.T. auch die Deckmoränen) von ausgedehnten Verlandungsbildungen (v) überlagert.

2.3.2 Aufbau der einzelnen Gebiete

Die lokalen Verhältnisse der in Kapitel 2.3.1 erwähnten Lockergesteinsschichten können aus den in Beilage 2 dargestellten Profilserien entnommen werden. Die einzelnen Gebiete unterscheiden sich, bedingt durch ihre Quartärgeschichte, z.T. ausserordentlich stark. Die folgende Beschreibung erfolgt deshalb in den einzelnen, hydrogeologisch unterscheidbaren Becken.

Das Becken von Vielbringen

Die Lage der Felsoberfläche ist durch die Bohrungen 607.195/10 und 607.196/9 sowie durch seismische Erkundungen in der Bohrung 607.196/6 dokumentiert. Auffallend ist eine kleinere Schwelle im Vielbringermoos, welche das Becken zweiteilt. Die tiefere Auffüllung der beiden Teiltröge wird durch datierte interglaziale Seetone (igt) und wahrscheinlich durch mächtige Ablagerungen von Rissmoränen (rm) gebildet. Die darüber folgenden Münsingen-Schotter weisen eine Mächtigkeit von bis zu 25 m auf. Durch Oszillation des Gletschervorstosses hat sich im Bereich des Hüenliwaldes eine geringmächtige Moränenablagerung zwischen die Schotter eingeschaltet. Ueberdeckt werden die Münsingen-Schotter durch eine z.T. 25 m dicke Deckmoräne sowie durch ausgedehnte Verlandungsbildungen (Vielbringermoos, Schormoos).

Das Becken von Gümligen (Profile X - XII)

Die Trogfüllung, welche verschiedenenorts in ihrem oberen Abschnitt erbohrt wurde, besteht aus einer alten Moräne, welche mit der Rissmoräne im Vielbringer Becken korreliert werden kann. Im Gebiet von Gümligen werden diese Schichten von einer unterschiedlich mächtigen Abfolge von Münsingen-Schottern überlagert. Da im Querschnitt Saali - Tiefenmösli diese Schotterablagerungen grösstenteils fehlen, nehmen wir an, dass sie durch den Gletschervorstoss des Würmgletschers wieder erodiert worden sind. Die Moränenablagerungen dieses Gletschers (Deckmoräne, dm) bilden einen durchgehenden Horizont zwischen Ostermundigenberg und Aaretal und tragen damit wesentlich zum Stockwerkbau im Gümliger Becken bei. Die Schotter, welche sich unter geringer Moränenüberdeckung in der Terrasse von Dennigkofen befinden, werden als Stauschotter (ss) interpretiert, welche im eisfreien Gebiet auf der rechten Seite der flachen Endzunge des Aaregletschers zwischen Rütibüel und Oberfels SE Ostermundigen abgelagert worden sind.

Oszillationen des Aaregletschers und der anschliessende endgültige Rückzug führten zu Ablagerungen von Schwemmlandebenen (sog. Sander) im Gümligenfeld, zu feinkörnigen Rückstausedimenten (rs) und schliesslich zu weitverbreiteten Ablagerungen von Felderschottern (fs) oder Rückzugsschottern (rs). Zu diesem Zeitpunkt wurde das Becken von Gümligen durch eine Mittelmoräne teilweise in zwei Teilbecken gegliedert. Der Abfluss der Schmelzwasser erfolgte möglicherweise Richtung Westen (Kirchenfeld), sicher jedoch durch eine schmale Rinne zwischen Schosshalde und Ostermundigenberg (Profil XIV) nach N in das Becken von Ostermundigen. Ausgedehnte Verlandungsbildungen (v) sind im Gümligenmoos und im Gebiet des Siloah östlich von Gümligen bekannt.

Das Becken von Ostermundigen (Profile XII und XIII)

Die Trogform im breiten Becken von Ostermundigen ist im Detail nicht bekannt. Gemäss einer Spülbohrung nordöstlich des Gässli (604.201/61) liegt die Molasse dort etwa auf Kote 515. Westlich des SBB-Bahnhofes Ostermundigen wurde der Fels auf Kote 505 erbohrt (602.200/39). Als Trogfüllung dürften auch in diesem Becken Ablagerungen einer alten Moräne auftreten. Aus Analogiegründen zum Becken von Gümligen werden sie ebenfalls dem Riss zugeordnet. Die darüberliegenden Sande, welche ihrerseits von einer Würm-Deckmoräne überlagert werden, sind möglicherweise als zeitliche Aequivalente der Münsingen-Schotter zu betrachten: Während einer stationären Phase des Würmvorstosses hat sich vor der Stirn des Aaregletschers eine Schwemmlandebene aufgebaut.

Die am nordwestlichen Abhang des Ostermundigenbergs (Schiessplatz Oberfeld) und fast rund um den Hätteberg abgelagerten hochgelegenen Schotter werden, wie die entsprechenden Schichten bei Dennigkofen, als Stauschotter betrachtet (vgl. auch GERBER 1955 und WAGNER 1986).

Nach dem Rückzug des Gletschers wurde das Ostermundiger Becken zur Hauptsache mit Felderschottern (fs) aufgefüllt. Vereinzelt feinkörnigere Ablagerungen (rt) deuten auf lokale Rückstauverhältnisse während des Rückzugs hin.

Das Becken von Worb (Profile I - III)

Im Becken von Worb können keine Ablagerungen der vorletzten Eiszeit nachgewiesen werden.

Im Abschnitt zwischen Trimstein und Worb liegt eine z.T. nur geringmächtige Würm-Grundmoräne direkt auf der Molasseoberfläche. Nach dem Rückzug des Gletschers wurde der Trog mit jungen Schottern (js) aufgefüllt. Im unteren Abschnitt, d.h. im Worboden zwischen Worb und Boll, wurde der Trog in erster Linie mit jungen Schottern aufgefüllt. Die mächtigen, meist feinkörnigen Ablagerungen mit Steinen, welche in der Bohrung 608.198/21 zwischen 32 und 49,5 m im Liegenden der Schotter erbohrt wurden, werden als Würmmoräne interpretiert.

Das Becken von Deisswil (Profile V - VII)

Der relativ schmale Trog zwischen Rörswil und Boll weist z.T. tiefe, in die Molasse eingeschnittene Rinnen auf. Als jüngste Ablagerungen treten Verlandungsbildungen, feinkörnige Alluvionen und junge Schotterablagerungen der Worble auf. Letztere wurden teilweise tief in die darunterliegende Würm-Deckmoräne einrodiert. Unter der unterschiedlich dicken, bis 20 m mächtigen Deckmoräne wurden in einzelnen Bohrungen (z.B. 604.201/1/3/12 und 606.200/4/5) ältere Schotter festgestellt, die als Vorstossschotter (Aequivalente der Münsingen-Schotter) des von Westen nach Boll eindringenden Aaregletschers interpretiert werden können. Die alte Moräne im Liegenden der Schotter könnte, wie im Becken von Ostermundigen, eine Ablagerung des risseiszeitlichen Aaregletschers sein, der - nachdem er vom Rhonegletscher abgedrängt wurde - ebenfalls Worblental-aufwärts floss. Die Entwässerung der beiden Gletscher erfolgte jeweils durch das Lindental, das stark übertieft ist. Eine Bohrung bei Boll (608.200/2) erreichte den Felsuntergrund in einer Tiefe von ca. 39 m wahrscheinlich nicht.

Die auf den Terrassen beidseits des Beckens auftretenden Schotterfelder (rs) wurden während einzelnen Rückzugsphasen des Worblentalappens des Aaregletschers abgelagert.

Gebiet zwischen Rörswil und Worblauen (Profile VII - IX)

Zwischen Rörswil und Ittigen reicht das Worblental ins Nordende des Ostermündigen-Beckens. Eine Fortsetzung dieses Troges direkt nach N bzw. NE ist undenkbar, da die Talflanke zwischen Hüenerbüel und Ittigen aus Molasse mit darüberliegender Moräne besteht. Im Bereich der Papiermühle ist jedoch eine Fortsetzung des Troges in Richtung Grauholz wahrscheinlich. Die Talfüllung ist hier mindestens 43 m mächtig (Bohrung 603.202/22) und besteht aus einer mächtigen Würm-Moräne des grössten Aaregletschervorstosses, welcher ältere Ablagerungen möglicherweise vollständig erodiert hat, sowie aus jungen fluviatilen Schottern und Verlandungsbildungen.

Der schmale Trog zwischen Papiermühle und der Einmündung der Worble in die Aare bei Worblauen stellt eine alte, in die Molasse eingeschnittene Schmelzwasserrinne dar, welche nach dem Rückzug des Gletschers mit jungen alluvialen Ablagerungen aufgefüllt worden ist. Die Talflanken bestehen hier beidseits aus alten, z.T. stark verkitteten Schottern, welche als Vorstossschotter entweder des Rhonegletschers (Karlsruhe- bzw. Grauholz-Schotter) oder des Aaregletschers (Münsingen-Schotter) betrachtet werden.

3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN

3.1 Allgemeines

Da das vorliegende Untersuchungsgebiet nicht nur das Worblental betrifft, sondern auch zahlreiche Randgebiete einschliesst, die nicht in die Worble entwässern, stellt es in keiner Weise ein hydrologisch geschlossenes System dar. Es bestand deshalb nicht die Absicht, eine hydrologische Gesamtbilanz zu erstellen. Im Vordergrund stand vielmehr die Ermittlung der Feldeergiebigkeit der verschiedenen Grundwasserbecken, d.h. die Grundwasserbilanzierung, wozu die hydrologischen Daten Grenz- und Richtwerte lieferten. Man beschränkte sich deshalb auf die Erhebung der wichtigsten Basisdaten sowie auf gezielte Messungen zur Erfassung der hydraulischen Wechselwirkung zwischen Grund- und Oberflächenwasser.

Ursprünglich war vorgesehen, dass gleichzeitig mit den hydrogeologischen Untersuchungen im Worblental ein sogenanntes "Naturlabor" geschaffen würde: In einem ca. 2 km² grossen Gebiet bei Gysenstein - Herolfingen sollte der Stickstoffhaushalt überprüft werden, um die Beziehung zwischen landwirtschaftlicher Düngung und dem Nitratgehalt im Quell- und Grundwasser zu ermitteln. Da dies nur sinnvoll mittels einer hydrologischen Bilanz möglich war, wurde das Testgebiet mit Niederschlags-, Temperatur- und Abflussmessgeräten ausgerüstet. In der Folge musste jedoch das Vorhaben teils wegen Finanzierungsschwierigkeiten, teils weil ähnliche Untersuchungen in anderen Kantonen angelaufen waren, aufgegeben werden. Während mehr als einem Jahr fielen jedoch hydrologische Daten an, die in diesem Bericht verarbeitet werden konnten.

Das gesamte Grundwassermessstellennetz im Worblental umfasste 3 Limnigraphen, 18 Filterbrunnen und Grundwasserschächte, 41 Bohrungen mit Piezometern, 47 gerammte Piezometer sowie eine variable Anzahl von Beobachtungsrohren, die vorübergehend zur Abklärung spezieller Probleme verwendet wurden. Die Wasserspiegellage der Oberflächengewässer wurde mittels 2 Limnigraphen (Tab. 3.1), wovon einer vorübergehend eingesetzt wurde, sowie 18 Pegel- und Abstichpunkten erfasst.

Die Beobachtungsdauer betrug im allgemeinen 3 Jahre (1983 - 1985), wobei zu Vergleichszwecken einzelne Messungen ausserhalb dieser Periode berücksichtigt wurden.

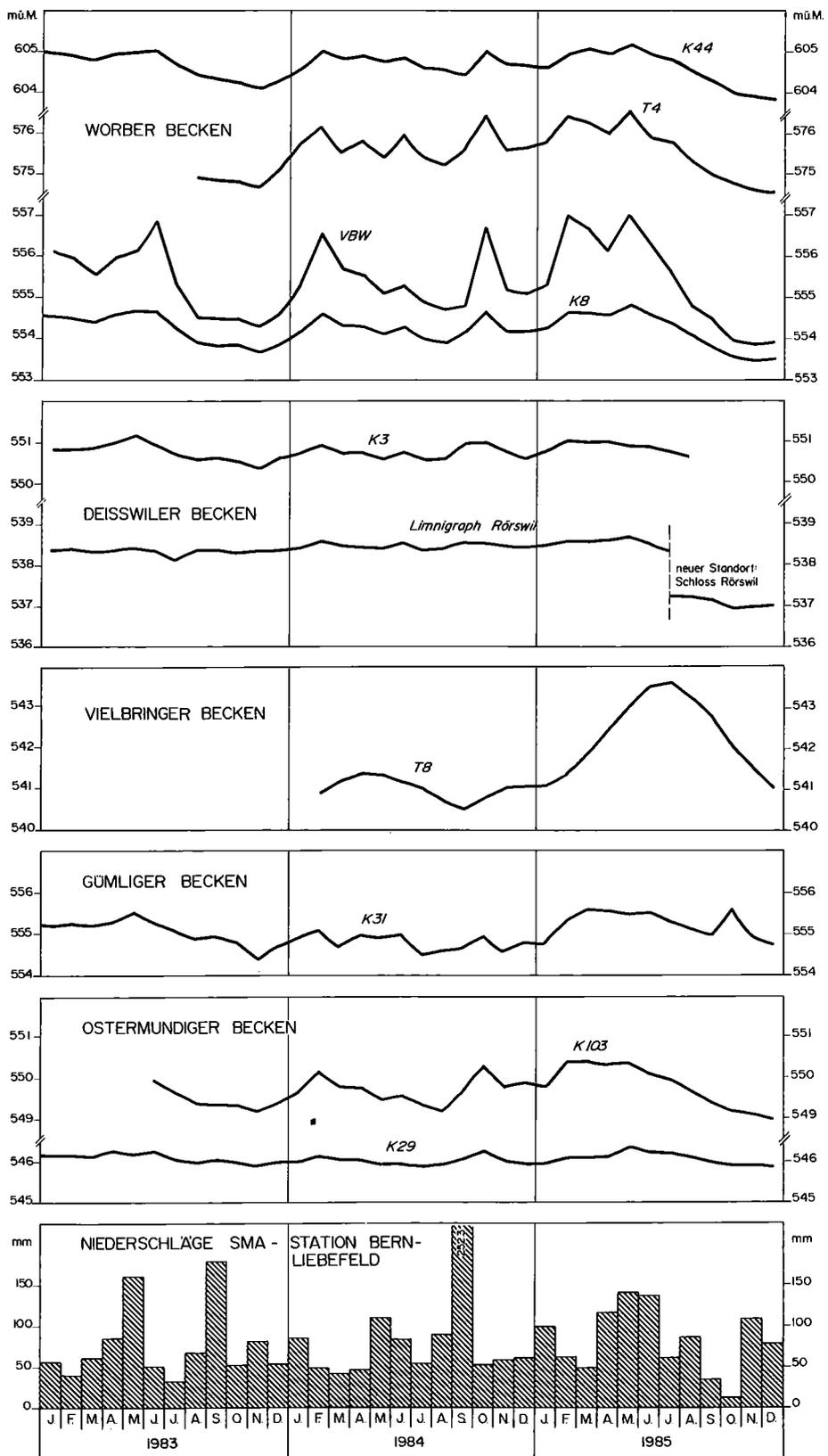
Einen ersten Ueberblick zum Verhalten des Grundwasserspiegels während der gesamten Beobachtungsdauer bezüglich der Niederschläge und des Worbleabflusses vermittelt Figur 3.1.

Tab. 3.1: Monatliche Niederschläge der SMA-Stationen Bern-Liebefeld und Grosshöchstetten sowie der WEA-Station Münsingen

	m.ü.M.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1983:														
Bern-Liebefeld	570	55	41	62	85	161	52	35	69	180	53	84	54	931
Grosshöchstetten	755	68	54	59	118	227	82	88	85	149	70	74	62	1136
Münsingen	542	58	38	52	86	154	56	40	80	135	47	58	42	846
1984:														
Bern-Liebefeld		86	49	41	46	110	85	53	90	252	53	60	61	986
Grosshöchstetten		108	65	41	69	183	118	104	124	245	51	70	82	1260
Münsingen		102	51	39	44	103	77	109	85	202	42	59	58	971
1985:														
Bern-Liebefeld		100	63	49	117	141	137	57	87	36	13	110	79	989
Grosshöchstetten		111	96	63	122	211	175	96	149	39	15	117	76	1270
Münsingen		84	64	45	90	188	134	75	104	28	8	107	69	996
Mittelwerte:														
1983 - 85		86	58	50	86	164	102	73	97	141	39	82	65	1043
1983 - 85 *)		88	61	53	93	172	108	72	101	150	43	86	69	1096
1901 - 60 *)		60	57	68	82	107	134	130	129	101	77	71	67	1083
Mittelwert in % *)														
1901 - 60		147	107	78	113	161	81	55	78	149	56	121	103	101

*) ohne Station Münsingen, da diese erst ab 1978 in Betrieb

Fig. 3.1: Ausgewählte Ganglinien (Monatsmittel)



3.2 Niederschlag

Abgesehen von der vorübergehend installierten Niederschlagsmessstation in Gysenstein besteht keine im Untersuchungsgebiet. Etwa zu gleichen Teilen repräsentative Werte dürften die Stationen Bern-Liebefeld und Grosshöchstetten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) sowie diejenige des WEA in Münsingen liefern. Die bei diesen Stationen gemessenen monatlichen Niederschläge und das arithmetische Mittel davon sind in der Tabelle 3.1 aufgeführt. In Anbetracht dessen, dass keine klassische hydrologische Bilanz auszuarbeiten war, wurde bewusst auf eine genaue Mittelbildung (Thiessen-, Isohyetenmethode) verzichtet.

Wie die nachstehenden Niederschlagshöhen der Stationen Bern-Liebefeld und Grosshöchstetten zeigen, waren die Jahressummen der Niederschläge während der Beobachtungsperiode 1983 - 1985 nicht stark verschieden von den langjährigen Mittelwerten:

Station SMA	Mittelwert 1901 - 1960	1983		1984		1985	
	mm = 100 %	mm	%	mm	%	mm	%
Bern-Liebefeld	1000	931	93.1	986	98.6	989	98.9
Grosshöchstetten	1165	1136	97.5	1260	108.1	1270	109.0

Dagegen war die Niederschlagsverteilung übers Jahr ausserordentlich wechselhaft und häufig atypisch. Erwähnenswert sind vor allem die niederschlagsreichen Monate Mai 1983 und 1985 sowie September 1984 (!) und die Trockenzeit im September und Oktober 1985 (!) (Tab. 3.1). Der stetige Wechsel im Niederschlagsgeschehen kommt auch beim Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten deutlich zum Ausdruck, obwohl sich die einzelnen Monate z.T. stark kompensierten (September 1984 und 1985).

In der Regel fallen 60 - 65 % der Niederschläge im Sommerhalbjahr (April - September), während die restlichen Niederschläge ziemlich gleichmässig auf die übrigen Monate verteilt sind (Minimum im Januar und Februar).

3.3 Abfluss

3.3.1 Worble

Vom 81 km² grossen Untersuchungsgebiet entfallen 72 km² auf das Einzugsgebiet der Worble (bis Aaremündung). Da stromabwärts von Stettlen die Worble grösstenteils kanalisiert ist und durch überbautes Gebiet fliesst, wurde eine Abflussmessstelle auf der Höhe von Sinneringen bei einem Brückenübergang errich-

tet (607.200/14). Unterhalb dieser Stelle besteht, wenn überhaupt, nur noch eine geringe hydraulische Wechselbeziehung zwischen Fluss- und Grundwasser; zudem mündet nur noch der Lütschenbach als einziges Gewässer bis zur Aaremündung in die Worble. Der Fluss besitzt zwischen Vechigen und Deisswil kein grosses Gefälle, was stellenweise zu Auflandungen führt, wovon auch die Messstelle, die über keine Sohlenbefestigung verfügte, nicht verschont blieb. Trotz sehr zahlreicher Abflussmessungen war nicht immer eine einwandfreie P/Q-Beziehung gewährleistet, d.h. die Eichkurve musste wiederholt angepasst werden. Zudem verursachte ein starker Algen- und Pflanzenwuchs (nährstoffreiches Wasser!) während der Sommermonate dauernd Schwierigkeiten. Dementsprechend müssen die erhaltenen Abflussdaten als nicht sehr genau bezeichnet werden.

Bis zum Abfluss-Limnigraphen Sinneringen beträgt das Einzugsgebiet 41 km². Die Worble entspringt im Aenggisteinmoos. Durch ein Schleusensystem zwischen Metzgerhüsi und Wikertswilmoos wird ihr jedoch im Quellgebiet noch Wasser vom Biglenbach zugeführt. Diese Zuleitung aus einem anderen Einzugsgebiet wurde durch die Abflussmessstelle (Enggistein 611.920/197.755) der Landeshydrologie bis Ende 1987 erfasst. Unterhalb Enggistein wird ein Teil der Worble über ein Kanalsystem dem Hang entlang zum Schloss Worb geführt. Diese Wasserkraft wurde früher in verschiedenen Betrieben genutzt. Das restliche Wasser fliesst im ursprünglichen Bachbett, dem Richtigengraben. Beide Wasserläufe sind in Worb eingedohlt. Oberhalb der VBW-Werkstätte treten sie vereinigt wieder an die Oberfläche.

Das regulierte Abflussregime der Worble ist namentlich abhängig von folgenden Faktoren:

- Niederschlag, Verdunstung
- Zuleitung Biglenbach
- Zuflüsse, Seitenbäche
- Grundwasser-In- und Exfiltrationen (beeinflusst durch Grundwasserentnahmen)
- Kanalisierungen

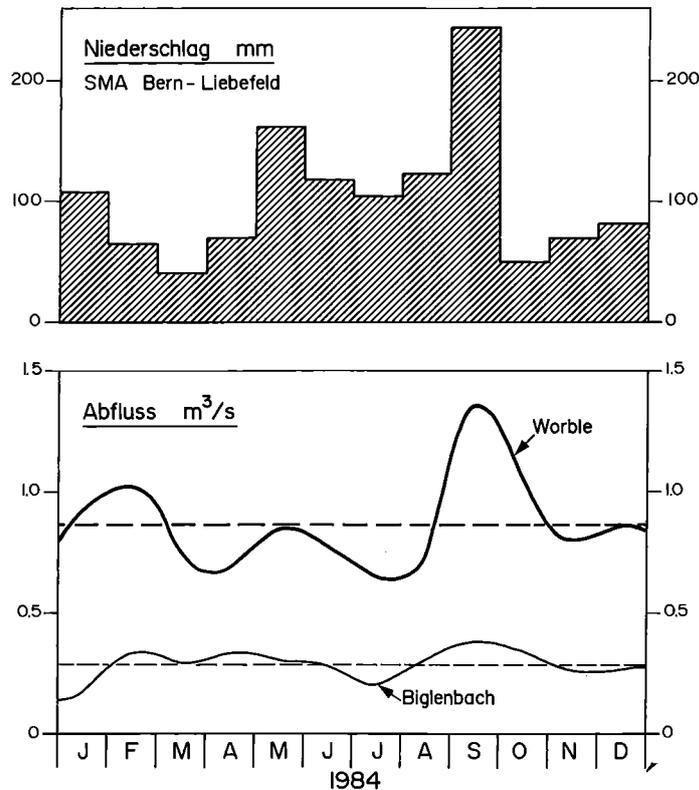
Diese verschiedenen Einflüsse prägen das Abflussregime der Worble sehr unterschiedlich. Am 20.6.1984 nach einer 12-tägigen niederschlagsfreien Periode wurden bei einem Niederwasserstand folgende Mengen gemessen (vgl. Fig. 3.2):

Zuleitung Biglenbach		+ 0.23 m ³ /s
Bachzuflüsse	*) oberhalb Worb	+ 0.14 m ³ /s
Bachzuflüsse	*) unterhalb Worb	+ 0.25 m ³ /s
Grundwasserexfiltration	**)	+ 0.12 m ³ /s
Total (Abfluss Station Sinneringen)		0.74 m ³ /s
		=====

*) inkl. Drainagen und Quellen

***) indirekt bestimmt

Fig. 3.2: Abflussregime der Worble bei Sinneringen und des Biglenbaches bei Enggistein (Monatsmittel)



Das monatliche Abflussregime ist aus Figur 3.2 ersichtlich. Die Darstellung wurde auf die Periode mit den zuverlässigsten Abflussdaten beschränkt, d.h. auf das Jahr 1984. Das Abflussverhalten wird vor allem durch die Niederschläge und die Zuleitung aus dem Biglenbach geprägt. Die mittlere Abflussmenge betrug für das Jahr 1984 etwa 0.87 m³/s. Bei einem Einzugsgebiet von 39.5 km² (ab Station Enggistein bis Station Sinneringen) ergibt dies, ohne den Zufluss des Biglenbachs von 0.29 m³/s, eine Abflussspende von ca. 15 l/s km², was sehr wenig ist und nicht durch unterdurchschnittliche Niederschläge begründet werden kann (Tab. 3.1). Abflussspenden von der gleichen Größenordnung besitzen noch einige kleinere Flüsse des Mittellandes, so die Aach bei Salmsach (18.6), die Langeten beim Häbererenbad (18.1) und die Mentue bei Yvonand (14.5).

Zwischen Worb und Ittigen besitzt die Worble ein durchschnittliches Gefälle von nur 5 - 6 ‰, das zwischen Sinneringen und Deisswil sogar auf 4 - 5 ‰ absinkt. Als Folge davon sind namentlich auf letzterem Abschnitt die Ablagerungen von Sand- und Schlamm-bänken häufig, was einen wechselnden Flussbettquerschnitt zur Folge hat (Abflussmessstation Sinneringen!). Hochwasser vermögen das Flussbett nicht tiefgründig zu säubern, so dass es ziemlich stark kolmatiert bleibt, was die hydraulische Wechselwirkung mit dem Grundwasser beeinträchtigt.

3.3.2 Seitenbäche

Die Abflüsse der wichtigsten Seitenbäche bei Nieder- und Mittelwasser können aus der Tabelle 3.2 entnommen werden. Mit Ausnahme des Lutschenbaches, der in seinem Unterlauf Grundwasser aufnimmt, werden sämtliche Bäche praktisch ausschliesslich durch Niederschläge, Quellen und Hangwasser angespiesen.

Tab. 3.2: Oberflächenabflüsse bei Nieder- und Mittelwasserstand in l/s

Abflussmessstelle	Koordinaten	Abflüsse	
		13.7.82	1./2.11.82
Worble, Sinneringen	607.320/200.020	554	1102
Bächu, Schluchbühl	610.150/196.020	-	77
" , Wislenboden	609.000/197.590	36	115
" , Brüelmoos	608.525/198.920	40	127
Richigenbach, Eichmatt	610.460/197.090	39	101
Vechigenbach, Nesselbank	608.440/199.385	26	40
Stämpach, Boll	608.500/200.410	-	187
Lindentalbach, Worble	607.780/199.870	95	258
Lutschenbach	603.775/202.130	-	65

Der bei Gysenstein - Herolfingen entspringende Bächu wird in diesem Gebiet durch zahlreiche Quellen und Drainagen sowie durch den Ueberlauf der Quellwasserfassung der WV Trimstein angespiesen. Bei Herolfingen wurde eine temporäre Abflussmessstelle (611 605/194 270) errichtet, die ein Einzugsgebiet von 1.77 km² kontrolliert. Für diesen ursprünglich als Testgebiet vorgesehenen Perimeter (Kap. 6) wurden folgende Abflusskennwerte ermittelt (vermindert um den Wasserverbrauch der WV Trimstein von durchschnittlich etwa 2 - 4 l/s und das Abwasser):

Q min.	ca. 14 l/s
Q Mittel	ca. 23 l/s
Q max.	ca. 240 l/s
Q Spende	ca. 15 l/s km ²

Der Bächu besitzt somit in seinem obersten Einzugsgebiet verhältnismässig etwa den gleichen Abflusscharakter wie die Worble bei der Station Sinneringen.

Als einziger Seitenbach der Worble durchfliesst der Bächu die Talebene über mehrere Kilometer. Wie jedoch Abflussmessungen gezeigt haben, ist das Bachbett praktisch vollständig kolmatiert, so dass keine Infiltration ins tieferliegende Grundwasser stattfindet.

Der Richigenbach besteht aus zwei Aesten, dem zwischen Richigen und Trimstein entspringenden Bachlauf sowie dem Bach im Richigengraben. Letzterer entspringt unmittelbar unterhalb Enggistein, nur wenige Meter vom Worble- bzw. Biglen-

bachkanal entfernt. Bevor der Bach in die Talebene tritt, verläuft er bis zu seiner Einmündung in die Worble über mehr als einen Kilometer in einem unterirdischen Kanal, der jeglichen Wasseraustausch verunmöglicht.

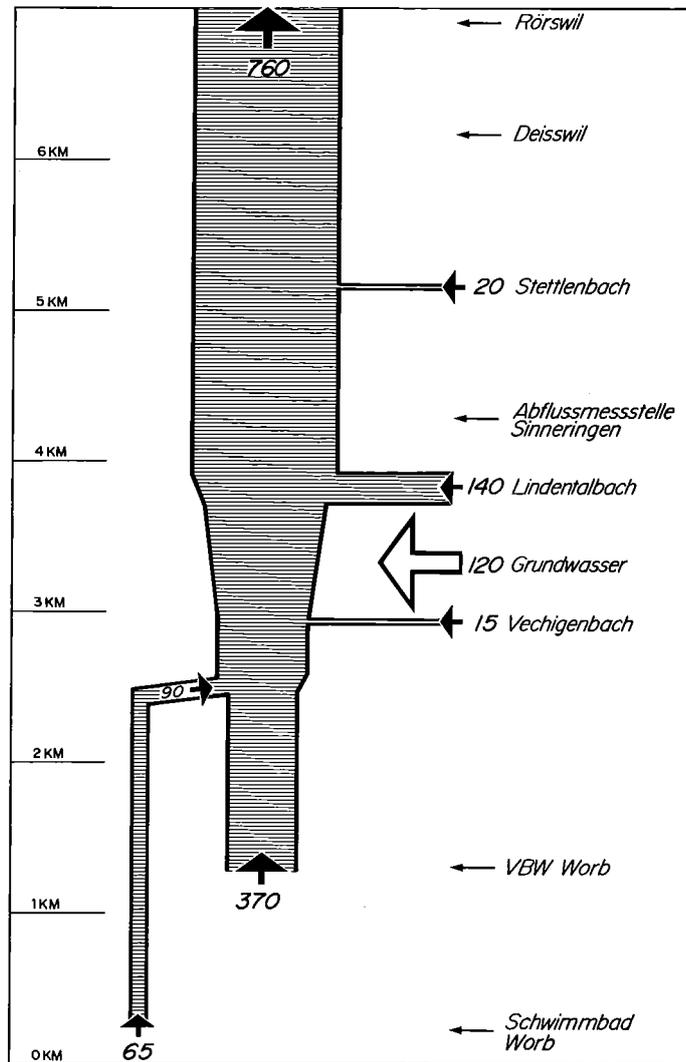
Durch das Lindental zieht ein schmaler Grundwasserleiter, der teilweise durch den Lindentalbach alimentiert wird. Sein Einzugsgebiet reicht bis unmittelbar nördlich Lindental, wo sich die Talwasserscheide befindet. Bei Boll mündet der wegen seiner Ueberschwemmungen satzsam bekannte Stämpach in den Lindentalbach. Diese Ueberschwemmungen sind nicht so sehr auf unverhältnismässig grosse Hochwasser zurückzuführen, als vielmehr auf Murgänge, Rutschungen, unterdimensionierte Verbauungen und Kanalsituationen.

Der in Gümligen entspringende Lutschenbach ist praktisch auf seiner ganzen Länge kanalisiert und wird im Bereich von Ostermundigen unterirdisch geführt. Wie Abflussmessungen gezeigt haben, ist das Bachbett weitgehend kolmatiert. Zwischen Rothus und der Einmündung in die Worble besitzt er dank dem tiefen Geländeerschnitt eine drainierende Wirkung auf das Grundwasser.

3.4 Verdunstung

Da die Ermittlung der Verdunstung im vorliegenden Untersuchungsgebiet sehr aufwendig gewesen wäre, wurde von vornherein auf entsprechende Messungen und Berechnungen verzichtet. Der sehr heterogen aufgebaute, teils stark überbaute Perimeter mit seinen zahlreichen Becken, Hügelzonen und Seitentälern schliesst ohne unverhältnismässig grossen Aufwand eine hydrologische Bilanzierung aus. In Anbetracht der geringen Abflussspende (Kap. 3.3.1) muss angenommen werden, dass die Verdunstungsrate im Vergleich zu ähnlichen Gebieten relativ hoch ist und durchschnittlich 500 - 600 mm/Jahr erreichen dürfte.

Fig. 3.3: Zuflüsse der Worble bei Niederwasser (20.6.1984)



4. EIGENSCHAFTEN DER GRUNDWASSERLEITER

4.1 Allgemeines

Wie schon aus Kapitel 2.3.2 hervorgeht, können im Untersuchungsgebiet fünf Becken unterschieden werden, die teilweise untereinander hydraulisch verbunden sind: das Worber, Deisswiler, Vielbringer, Gümliger und Ostermundiger Becken. Dem sedimentologischen Auffüllvorgang entsprechend weisen sie eine ziemlich unterschiedliche Schichtabfolge auf (Beilage 1 und 2, Fig. 2.3). Besonders augenfällig ist dies zwischen den Becken von Worb und Vielbringen der Fall, die auch eine sehr unterschiedliche Entstehungsgeschichte haben. Gemeinsam besitzen alle Becken als unterste Füllung mehr oder weniger lückenlose Moränenablagerungen, die meist als Grundwasserstauer fungieren. Grundwasserstockwerkbau konnte nur teilweise im Becken von Gümligen nachgewiesen werden.

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 Bodenkörper, denen infolge ihrer Ausdehnung oder Durchlässigkeit wirtschaftlich kein Grundwasser entzogen werden kann. Da im vorliegenden Untersuchungsgebiet in jedem Grundwasserbecken die Möglichkeit besteht, Grundwasser aus Zonen mit einer Durchlässigkeit von $> 2 \cdot 10^{-4}$ m/s zu beziehen, wird im allgemeinen kein Grundwasser in schlechter durchlässigen Zonen genutzt. Das heisst, die in der Beilage 1 gelb und rot ausgeschiedenen Gebiete sind hier für die Grundwassernutzung kaum von Bedeutung.

Die Ausdehnung der Grundwasserleiter ist aus den Beilagen 1 und 3 ersichtlich. Als Ausgangslage für die horizontale Begrenzung wurde ein mittlerer Grundwasserstand angenommen, wobei die Schnittlinie zwischen Grundwasserspiegel und randlichem Stauer die Begrenzung ergab.

Als Stauer wurden die Molassesedimente und die unverschwemmten Moränenablagerungen aus der Risseiszeit angenommen. Dagegen wurden die Deckmoränen der letzten Eiszeit als potentielle Grundwasserleiter betrachtet (Kap. 2).

Dank den zahlreichen Sondierungen, vor allem jedoch wegen dem sehr dichten geophysikalischen Messstellennetz (Fig. 4.2), ist die Mächtigkeit und der Aufbau der Grundwasserleiter recht gut belegt. Vor allem die über 2'000 elektromagnetischen Messungen gestatteten eine beinahe lückenlose Interpolation. Trotzdem blieben hinsichtlich der Abgrenzung der Grundwasserleiter einige Fragen offen. Da dies ausschliesslich Randgebiete betraf, wurde jedoch zur Verifizierung auf kostspielige Sondierbohrungen verzichtet.

4.2 Worber Becken

Der Grundwasserleiter des Worblentals beginnt im Gebiet von Trimstein und endet bei Worblaufen. Es handelt sich im Grunde genommen um einen zusammenhängenden Aquifer. Aus hydrogeologischen Gründen drängt sich jedoch eine Unter-

Fig. 4.1: Abgrenzung der Grundwasserbecken

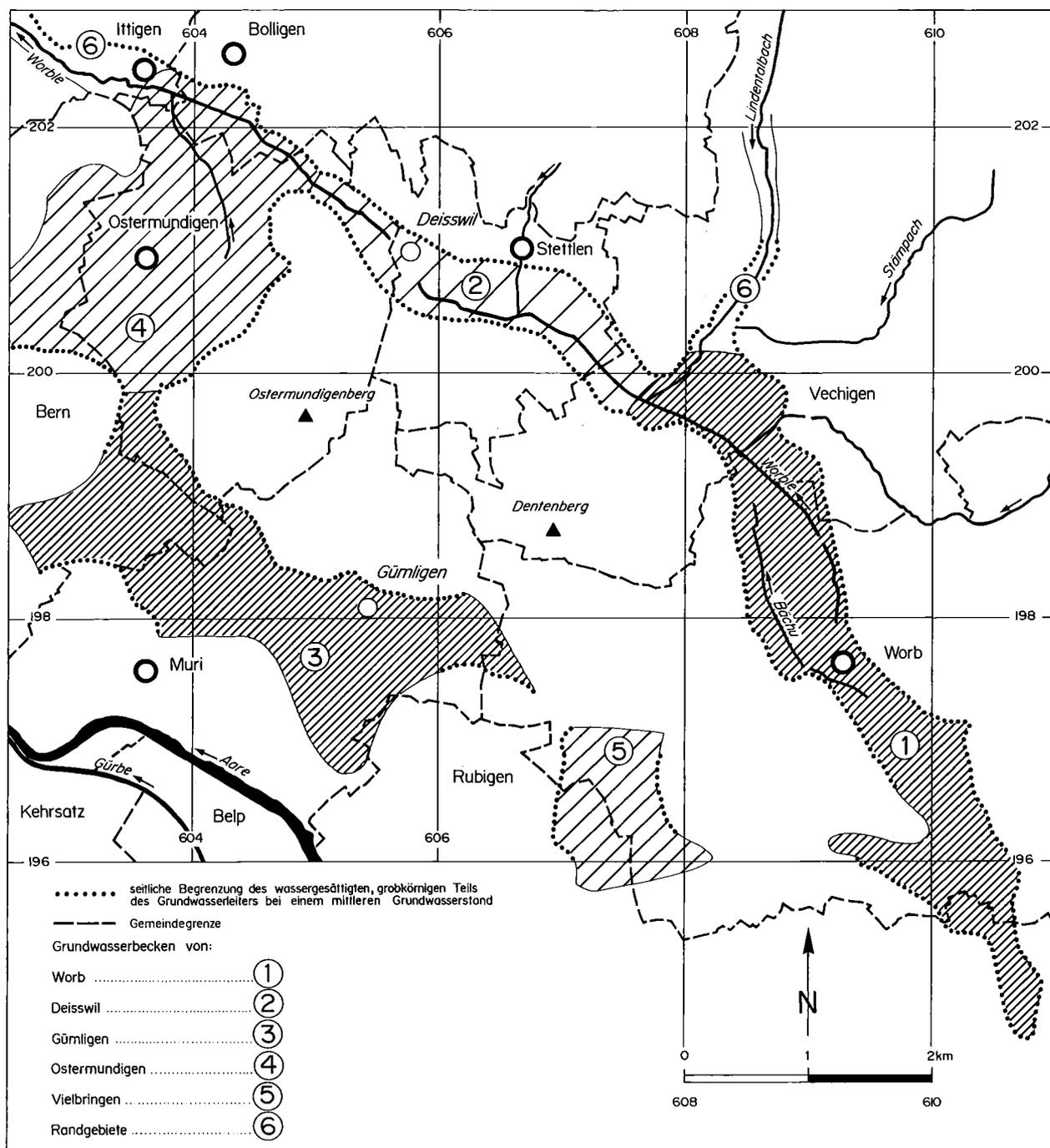
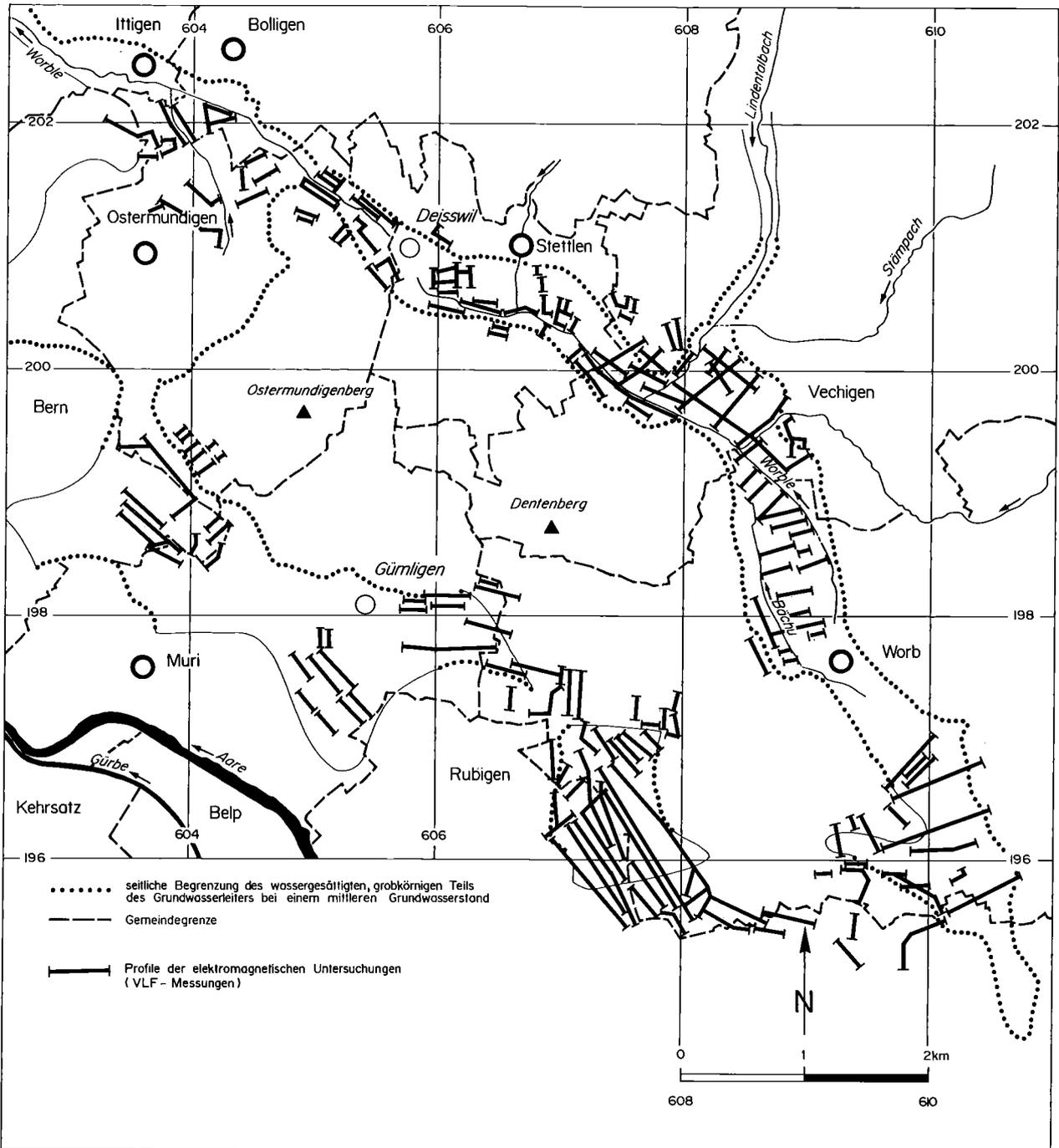


Fig. 4.2: Situation der elektromagnetischen Profile



teilung in drei Abschnitte auf: Worber Becken, Deisswiler Becken, Rinne Rörswil - Ittigen. Obschon keine Anzeichen bestehen, dass der Molasseuntergrund im Gebiet von Boll - Sinneringen eine Schwelle bildet, wurde an dieser Stelle eine Trennung vorgenommen. Dafür sprachen vor allem hydraulische und hydrochemische Gründe. Infolge der starken Durchlässigkeitsabnahme exfiltriert auf der Höhe von Nesselbank der überwiegende Teil des Grundwassers, d.h. mehr als 90 % in die Worble. Wahrscheinlich ist diese Durchlässigkeitsherabsetzung durch siltige Einschwemmungen aus dem Stämpachgebiet verursacht worden. Dadurch entstanden zwei Grundwasserbecken, die trotz ihres morphologischen Zusammenhanges weitgehend hydraulisch isoliert sind.

Der Grundwasserleiter flacht im Gebiet von Trimstein aus. Richtung Süden ist einerseits ein Anstieg der Molasseoberfläche zu verzeichnen, andererseits nehmen die Moränenablagerungen überhand und behindern eine freie Grundwasserzirkulation. Da auch wenige Aufschlüsse vorhanden sind, ist die Grundwasserleiterbegrenzung in diesem Gebiet nur schlecht definiert. Abgesehen von relativ sauberen Schotterablagerungen entlang einer Zone bei Schluchbühl und der Station Worb sind im südlichen Teil des Worber Beckens vor allem schlecht durchlässige, d.h. stark siltige Kiese und Sande anzutreffen.

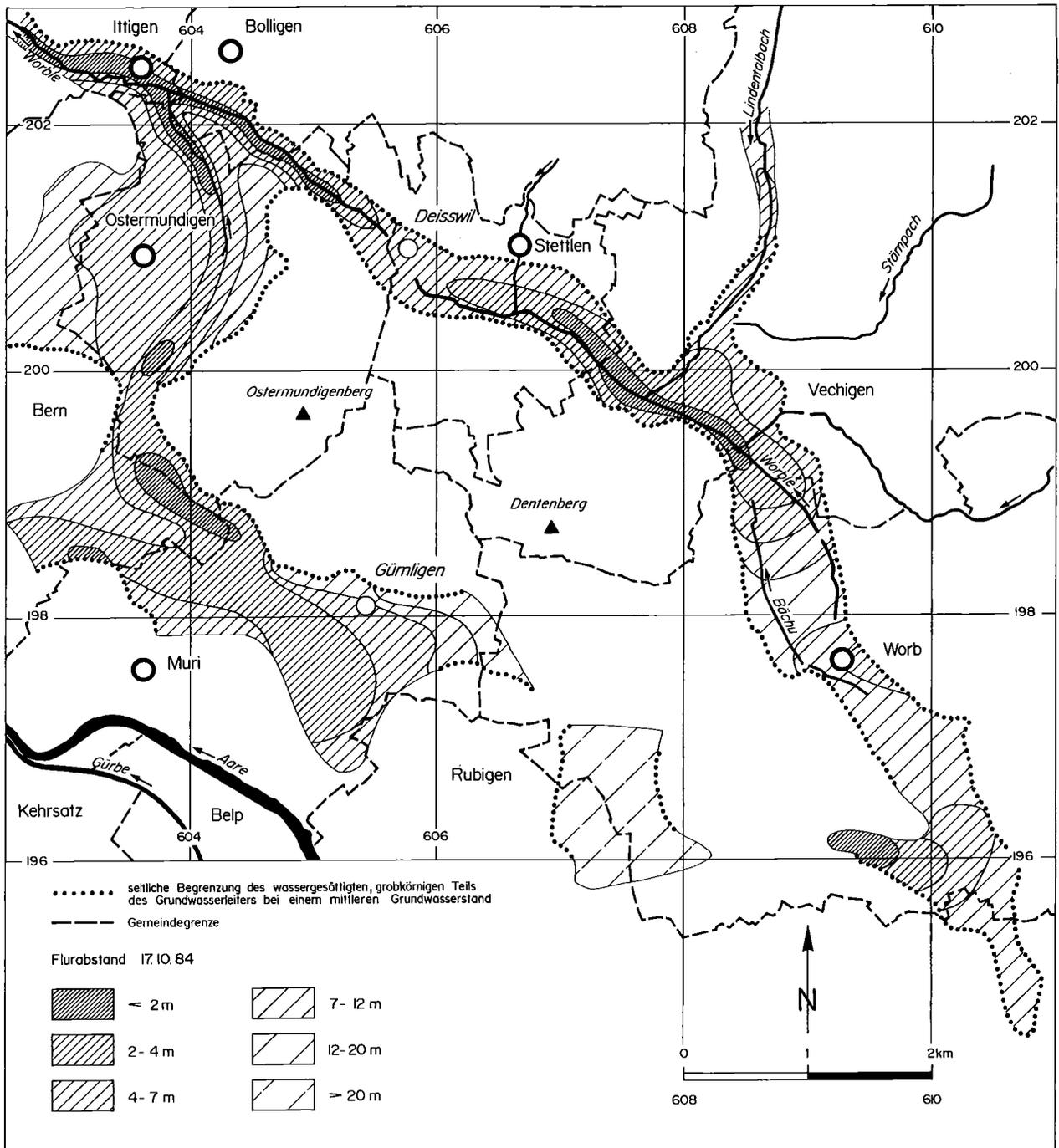
Richtung Worblaufen nimmt die Uebertiefung des Beckens allmählich zu; der gesättigte Grundwasserleiter erreicht eine Mächtigkeit von über 40 m. Die gutdurchlässigen Schotterschichten sind jedoch nur in den oberen 10 - 20 m anzutreffen. Diese für eine Grundwassernutzung geeigneten Ablagerungen erstrecken sich über eine Länge von ca. 3.5 km und einer Breite von 250 - 500 m. Leider fehlen tiefere Bohrungen, die genauere Auskunft über die Trogtiefe geben könnten. Da indessen die untere Trogfüllung vorwiegend aus Moränenablagerungen besteht, ist dieser Umstand für die Grundwasserbewirtschaftung von untergeordneter Bedeutung.

Auch das untere Ende des Worber Beckens ist nicht klar definiert. Das Ueberhandnehmen von siltigen Einschwemmungen ergibt eine zunehmende Riegelbildung und eine Abgrenzung auf der Höhe von Sinneringen. Sowohl die hydraulischen (Kap. 5) wie die qualitativen Daten (Kap. 6) untermauern diese Zäsur im Worber Trog.

Der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert (k) der Schotterablagerungen, der sogenannte Profil- k -Wert, liegt meist bei $1 \text{ bis } 4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Bei der Grundwasserfassung Worboden der WV Worb (608.196/2) wurde mittels eines Grosspumpversuchs ein Gebiets- k -Wert, d.h. ein mittlerer k -Wert im Bereich des Absenkungstrichters von $3.4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ermittelt. Bei einer wassergesättigten Mächtigkeit von 20 m resultiert daraus eine Transmissibilität (T) von ansehnlichen $6.8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Die generelle Ausbildung der Deckschichten kann aus der Beilage 1 entnommen werden. Bei Worb und im Worboden, d.h. im Gebiet mit dem durchlässigsten Grundwasserleiter, sind die Deckschichten häufig siltig ausgebildet oder weisen mindestens einen feinkörnigen Horizont auf, so dass beim vorherrschenden Flurabstand von 5 - 10 m (Fig. 4.3) das Grundwasser relativ gut gegen einsickernde Verunreinigungen geschützt ist.

Innerhalb des Schotterkörpers variiert jedoch die Durchlässigkeit zwischen den einzelnen Schichten beträchtlich, wobei die bestdurchlässigen Ablagerungen einen k -Wert $> 1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ aufweisen dürften. Dementsprechend schwankt auch die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers (Kap. 5).

Fig. 4.3: Flurabstand bei mittlerem Wasserstand



4.3 Deisswiler Becken

Das Becken von Deisswil reicht von Sinneringen bis Rörswil, wo es ans Ostermundiger Becken stösst. Es handelt sich eher um eine 200 - 500 m breite, bis etwa 50 m tiefe Rinne, die besonders in den oberen 25 m Schotterzüge führt. Entsprechend den wenigen Bohraufschlüssen ist der unterste Teil der Rinne vermutlich mit sehr schlecht durchlässigem Moränenmaterial aus der Risseiszeit aufgefüllt, das eingangs (Kap. 4.1) als Stauer definiert wurde.

Zwischen Stettlen und Deisswil bestehen die Schotter aus recht sauberen Kiesen, die Durchlässigkeitsbeiwerte bis zu $1 \cdot 10^{-2}$ m/s aufweisen. In der Regel liegt jedoch der k-Wert dieser Ablagerungen um $1 - 4 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die neue Fassung Stettlenmoos (606.200/2) der Karton- und Papierfabrik Deisswil AG weist mit einer Transmissibilität von $1 \cdot 10^{-1}$ m²/s ($m = 12,5$ m, $k = 8.0$ m/s) einen der besten hydraulischen Werte im gesamten Untersuchungsgebiet auf. In Anbetracht dieses vorzüglichen Grundwasserleiters sind die übrigen Talfüllungen, d.h. die Moränenablagerungen mit Durchlässigkeiten $< 2 \cdot 10^{-4}$ m/s für die Grundwassernutzung unbedeutend.

Oestlich von Deisswil, d.h. im Bereich der meisten Grundwasserfassungen, sind die Deckschichten meist siltig, stellenweise sandig und torfig ausgebildet und stellen daher einen recht guten Grundwasserschutz dar. Nordwestlich von Deisswil überwiegen dagegen die sandig-kiesigen Ablagerungen in der wasserungesättigten Zone. Der Flurabstand beträgt meist 2 - 6 m, lokal, wie z.B. im Schuttfächer von Stettlen, kann er aber deutlich höher liegen. In der Talachse bei Sinneringen und entlang der Worble bei Rörswil reduziert sich die Mächtigkeit der Deckschichten auf < 2 m.

4.4 Gümliger Becken

Morphologisch kommt das Gümliger Becken eher schlecht zur Geltung, auch hydrologisch ist es nicht genau definierbar. Vor allem ist seine obere Abgrenzung Richtung Rüfenacht nicht offensichtlich. Aufgrund der geophysikalischen Untersuchungen kommen zwischen Hofacker und dem Hüenliwald teilweise recht gut durchlässige Ablagerungen vor. Da indessen ein allfälliger Grundwasserspiegel bis zu 30 m unter der Terrainoberfläche liegen dürfte, ist es ohne Sondierbohrungen schwierig zu entscheiden, ob Schutttablagerungen noch in den Bereich der gesättigten Zone reichen (vgl. z.B. Profil X, Beilage 2). Aufgrund der geophysikalischen Ergebnisse darf angenommen werden, dass in diesem Gebiet der gesättigte Grundwasserleiter vorwiegend aus schlecht durchlässigem Material besteht und bestenfalls einige Schottereinschaltungen enthält. Letztere nehmen jedoch Richtung Gümligen zu und bauen dort die beiden Grundwasserstockwerke auf (siehe unten).

Das Becken besitzt drei Ausgänge, beim Gümligenfeld, beim Oberen Murifeld (Saali) sowie zwischen der Schosshalde und dem Ostermundigenberg. Wie schon erwähnt (Kap. 2.3.2), wird der untere Teil des Gümliger Beckens durch eine zwischen Melchenbühl und Wittigkofen verlaufende Rippe, bestehend aus Erosionsrelikten von Rückstausedimenten und einer Wallmoräne, unterteilt, so dass

das Gebiet Tiefenmösli zwischen Dennigkofen und Wittigkofen ebenso gut zum Ostermundiger Becken gezählt werden könnte. Dies wäre vor allem hydraulisch vertretbar. Hydrogeologisch scheint jedoch eine untere Abgrenzung durch das Engnis zwischen Ostermundigenberg und Schosshalde logischer zu sein. Aufgrund seines komplizierten geologischen Aufbaus könnte das Gümliger Becken in mindestens fünf Zonen aufgeteilt werden: Gümligen, Siloah - Rufenacht, Gümligenfeld, Melchenbühl - Murifeld, Tiefenmösli.

Als einzige Stelle im Untersuchungsgebiet sind in Gümligen teilweise zwei Grundwasserstockwerke ausgebildet. Diese sind jedoch meist untereinander hydraulisch verbunden und weisen deshalb ähnliche Grundwasserspiegellagen auf. Zwischen der Worbstrassenunterführung bei der Firma HACO und dem Bahnhof Gümligen scheint das untere Stockwerk ziemlich stark vom oberen isoliert zu sein, liegt doch sein Wasserspiegel mehrere Meter tiefer als im höheren Grundwasserleiter. Wahrscheinlich ist dies jedoch auch auf die starke Nutzung des unteren Grundwasserstockwerks zurückzuführen (Kap. 8). Die abtrennende Stauerschicht (Rückstausedimente) wird meist durch siltige Feinsande gebildet, die eine Mächtigkeit von 20 m erreichen können. Richtung Hofacker und Siloah wechselt die in diesem Gebiet vorherrschende komplizierte Quartärgeologie sehr rasch und es resultiert nur noch ein Grundwasserleiter. Die Mächtigkeit der beiden Stockwerke beträgt meist je 3 - 7 m, wobei das untere stellenweise 10 m übersteigen kann. Im allgemeinen bestehen sie aus verschiedenalterigen Schotterablagerungen.

Im Gümligenfeld herrscht eine Abfolge von zumeist mehr oder weniger stark siltigen Schotterablagerungen und verschwemmter Moräne vor. Die Mächtigkeit des nutzbaren Grundwasserleiters erreicht selten 15 m, 3 - 8 m dürften die Regel sein. Bewusst wurde die Berandung des Grundwasserleiters in südlicher und westlicher Richtung nicht eingezeichnet, da sie durch zuwenig Aufschlüsse belegt ist. Aufgrund der vorhandenen Unterlagen muss angenommen werden, dass die gut durchlässigen Schichten wahrscheinlich langsam auskeilen, sei es durch das Auftauchen des Stauers (Hünenliwald) oder das Ueberhandnehmen von feinkörnigen Schichten (Richtung Muri).

Zwischen Schürmatt und Egghölzli übersteigt die Mächtigkeit des Grundwasserleiters selten 3 m, dies ist auch für das Gebiet westlich Melchenbühl der Fall. Erst Richtung Oberes Murifeld und in diesem Quartier selbst nimmt die Aquifermächtigkeit allmählich zu und erreicht stellenweise über 12 m. Dank einem dichten Netz von Sondierbohrungen sind die hydrogeologischen Verhältnisse und der Rand des Grundwasserleiters in diesem Gebiet recht gut belegt.

Dank den geophysikalischen Untersuchungen, die im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgten, wurde eine ausgeprägte Grundwasserrinne im Tiefenmösli gefunden. Weitere Explorationen für die Gemeinde Ostermundigen ergaben einen günstigen Fassungsstandort (Kap. 8). Es handelt sich hier um einen 200 - 400 m breiten Grundwasserleiter, der namentlich auf seiner Ostseite stark übertieft ist und dort eine Mächtigkeit von gegen 20 m erreicht. Die Schotterablagerungen bestehen aus einer Abfolge von sauberen bis siltigen Kiesschichten mit Einschaltungen von Sandlagen.

Da im Gümliger Becken nicht in allen Teilgebieten genügend Schotterablagerungen vorkommen, die eine wirtschaftliche Grundwasserentnahme erlauben, fördern einige Fassungen auch das in verschwemmten Moränenablagerungen zirkulierende

Grundwasser (Kap. 8). Die Durchlässigkeit der genutzten Grundwasserleiter ist deshalb sehr unterschiedlich. Folgende Bereichs-k-Werte wurden ermittelt:

- Gümligen:	0.1 - 3	· 10 ⁻³ m/s
- Gümligenfeld:	0.1 - 0.2	· 10 ⁻³ m/s
- Oberes Murifeld, Saali:	0.1 - 20	· 10 ⁻³ m/s
- Tiefenmösli:	2 - 3	· 10 ⁻³ m/s

Die besten Transmissibilitätswerte wurden im Tiefenmösli-Kleinfilterbrunnen (Sondierbohrung der WV Ostermundigen) mit $5.1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ und 602.198/110 ermittelt.

Die Deckschichten sind meist feinförmig ausgebildet und stellen deshalb einen guten Schutz für das Grundwasser dar. Bis unter die Humusdecke reichende kiesig-sandige Ablagerungen sind im südlichen Tiefenmösli-Teilbecken und vorwiegend im Gebiet Melchenbühl - Schürmatt - Saali anzutreffen. Wie aus der Figur 4.3 hervorgeht, reicht der Flurabstand von $< 2 \text{ m}$ (Tiefenmösli) bis gegen 20 m (Rüfenacht), was die Schutzfunktion entsprechend beeinflusst.

4.5 Ostermundiger Becken

Während das Ostermundiger Becken gegen Süden und Osten durch die Schosshalde sowie den Ostermundigen- und Hättenberg gut begrenzt ist, befindet sich auf seiner Westseite keine klare hydrogeologische Abtrennung. Da es sich jedoch zentral nach Norden entwässert, kann es trotzdem als Becken bezeichnet werden. Als Nordgrenze wird die nördliche Grundwasserleiterbegrenzung im Worblental zwischen Rörswil und Bolligen angesehen.

Die Molasseoberfläche ist nur peripher an einigen Stellen bekannt. Von besonderem Interesse sind ihre tiefsten Punkte. Nachdem nördlich der VBW-Station Ittigen die Molasseoberfläche auf Kote 481 m (603.202/22) noch nicht angetroffen wurde und sie im Unteren Galgenfeld auf Kote 505 m zum Vorschein kam (602.200/39), liegt die Vermutung nahe, dass wenigstens eine übertiefte Molasserinne das Becken queren könnte (Achse des Gümligentrogs, Fig. 2.2). Der effektive Grundwasserstauer wird jedoch in der Regel durch schwerdurchlässige Moränenablagerungen gebildet, wobei diese, wie aus Profil XIV (Beilage 2) hervorgeht, unter Umständen auch Stockwerkbau bilden könnten. Es scheint jedoch, dass diese Abtrennungen zu lokal sind oder eine zu grosse Durchlässigkeit aufweisen (z.B. 604.200/13), so dass bisher keine tieferen hydraulisch isolierten Grundwasserleiter beobachtet werden konnten. Die recht zahlreichen Bohrungen trafen meist nach 10 bis 15 m Tiefe auf einen Stauerhorizont.

Der Aquifer im Ostermundiger Becken besteht meist aus einer Abfolge von mehr oder weniger sauberen Sandschichten, die gesamthaft eine Mächtigkeit von über 12 m annehmen können, und eher seltener von geringmächtigen Kieshorizonten. Stellenweise können siltige Einschaltungen vorkommen. Die Abgrenzung zum Stauer ist nicht immer scharf, vielmehr ist häufig ein allmählicher Uebergang feststellbar, indem sandige Schichten immer feinkörniger und siltiger werden.

Die besten Profil-k-Werte erreichen selten mehr als $3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Bei den nachstehenden Fassungsanlagen wurden aufgrund von Pumpversuchen folgende Werte bestimmt:

- 603.200/1	Bachstrasse (WV Ostermundigen)	$1.3 \cdot 10^{-3}$ m/s
- 604.201/19	Rörswil (WV Ostermundigen)	$3.0 \cdot 10^{-3}$ m/s
- 603.200/54	Park Mitteldorfstrasse, Ostermundigen	$1.2 \cdot 10^{-3}$ m/s
- 603.201/47	Lindendorf, Ostermundigen	$2.8 \cdot 10^{-3}$ m/s
- 603.200/31	Schermenweg, Ostermundigen	$1.4 \cdot 10^{-4}$ m/s

Wie aus der Grundkarte (Beilage 1) hervorgeht, muss im allgemeinen mit k-Werten um $0.1 - 1.0 \cdot 10^{-3}$ m/s gerechnet werden.

Die Deckschichten sind sehr unterschiedlich ausgebildet. Von einem beinahe undurchlässigen siltig-tonigen Deckel, der das Grundwasser optimal vor Verunreinigungen schützt (Umgebung Bachstrasse), bis zu recht gut durchlässigen, bis unter die Vegetationsschicht reichenden Kiessanden kommen alle Abstufungen vor. Erwähnenswert sind die ausgedehnten künstlichen Auffüllungen zwischen Rothus und Rörswil.

Wie aus der Figur 4.3 entnommen werden kann, beträgt der Flurabstand meist mehr als 4 m. Mit ansteigender Topographie kann dieser östlich und westlich leicht 10 m übersteigen.

4.6 Vielbringer Becken

Aufgrund von systematischen geophysikalischen Untersuchungen (Elektromagnetik und Seismik) und anschliessenden Sondierbohrungen wurde ein neues, ausgedehntes Grundwasservorkommen im postulierten Gümligentrog (Fig. 2.2) gefunden. Es stellt wahrscheinlich die Fortsetzung des nordwestlich von Rubigen erbohrten Aquifers dar (WEA, 1981). Infolge der 25 - 40 m grossen Flurabstände und der wenigen Bohraufschlüsse ist es schwierig, den Grundwasserleiter abzugrenzen. Obwohl der Molassetrog Richtung Rüfenacht weiter verläuft, dürfte aufgrund der Grundwasserspiegellagen zwischen dem Vielbringer und Gümliger Becken keine hydraulische Verbindung bestehen. Wahrscheinlich bilden Moränenablagerungen, wie dies durch die geophysikalischen Resultate angedeutet wird, eine Schwelle.

Die erbohrten Münsingen-Schotter zeichnen sich überall durch eine hohe Durchlässigkeit aus. Kleinpumpversuche ergaben k-Werte von $2.5 - 7.0 \cdot 10^{-3}$ m/s. Da die Mächtigkeit des erbohrten Grundwasserleiters zudem > 12 m beträgt, ergeben sich daraus überdurchschnittlich hohe Transmissibilitätswerte von $0.4 - 1.1 \cdot 10^{-1}$ m/s.

In Anbetracht des sehr grossen Flurabstandes und der vorwiegend schwerdurchlässigen Ueberdeckung durch Moränenmaterial ist das Grundwasservorkommen vor Verunreinigungen ausserordentlich gut geschützt.

4.7 Randgebiete

Als grundwasserführende Randgebiete gelten vor allem das Lindental bei Boll und das unterste Tal der Worble zwischen Ittigen und ihrer Mündung in die Aare.

Eine wahrscheinlich um mehr als 40 m übertiefte Molasserinne entwässerte ursprünglich das Lindental nach Norden (Kap. 2.2). Diese wurde im Gebiet von Boll mit Schotterablagerungen und verschwemmtem Moränenmaterial aufgefüllt. Die gutdurchlässigen, siltarmen Sedimente scheinen jedoch eine beschränkte Ausdehnung zu besitzen, so dass nur innerhalb eines kleinen Gebietes bei Boll der Bau einer grösseren Grundwasserfassung (WAVEST) möglich war. Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit der Einmündung des Stämpachs. Die lokale mittlere Durchlässigkeit wurde beim obigen Brunnen mit 2.7 - 10⁻³ m/s bestimmt. Im Mündungsgebiet zum Worblental sind siltige Sedimente vorherrschend, die nur selten saubere Kies- und Sandeinschaltungen enthalten dürften.

Der unterste Teil des Worblentals zwischen Ittigen und Worblaufen ist vorwiegend durch schwerdurchlässige, siltige Sedimente aufgefüllt, die sich für die Grundwassernutzung schlecht eignen. Allerdings können wasserführende sandige und kiesige Einschaltungen bis in grössere Tiefen vorkommen, wie dies z.B. bei der Sondierbohrung 603.202/22 der Fall war (vgl. auch Profil VIII, Beilage 2). Unter diesen Bedingungen ist der Wasserspiegel gespannt und reicht meist bis wenige Meter unter die Talsohle. Die Molasseoberfläche wurde nur nördlich der VBW-Linie in Ittigen erbohrt. Dabei handelte es sich jedoch um die nördliche Talflanke (tiefste Kote 499 m, 603.202/5), da die früher erwähnte Bohrung Nr. 22 bei einer Kote von 481 m die Trogsohle noch nicht erreicht hatte.

5. GRUNDWASSERSTROEMUNG

5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse

Je nachdem, wie der Grundwasserleiter ausgebildet, begrenzt und angespiesen wird, ergeben sich sehr unterschiedliche Grundwasserströmungen, was im Isohypsenbild des Grundwasserspiegels (Beilage 3) zum Ausdruck kommt. Naturgemäss bildet sich bei grossem Durchflussquerschnitt (z.B. Vielbringer Becken, Schluchbühl, Worboden) beinahe ein Grundwassersee, während bei Engpässen ein grosses Gefälle vorherrscht (z.B. Worb). An einigen Stellen wird die Konfiguration des Grundwasserspiegels durch die mehr oder weniger dauernde Entnahme von Grundwasser beeinflusst. Dies ist vor allem bei Deisswil ersichtlich, wo eine deutliche Absenkellipse durch die beiden Fassungen ($Q < 5'000 \text{ l/min}$) der Kartonfabrik (Kap. 8.2) resultiert. Weniger deutlich ist dies bei der Fassung Worboden (608.198/21) und der Fassung Bachstrasse, Ostermundigen (603.200/1) der Fall, da diese durchschnittlich bedeutend weniger Grundwasser fördern.

In der Regel entspricht die Hauptströmungsrichtung der Tal- oder Beckenachse. Stellenweise können jedoch starke Querströmungen auftreten, die sich durch spezielle Anspeisungs- oder Abflussverhältnisse ergeben. So sind z.B. die Exfiltration bei Nesselbank (Kap. 5.2) oder die vorherrschende Anspeisungstendenz von Hangwasser entlang der Grundwasserleitergrenze klar ersichtlich.

Der hydraulische Stockwerkbau bei Gümligen hat auf die Lage des Grundwasserspiegels keinen allzu grossen Einfluss. Sobald sich der Grundwasserspiegel des unteren Stockwerks entspannen kann, liegen die Wasserspiegel der beiden Stockwerke nicht weit auseinander (Kap. 4.4). Auf eine separate Darstellung der beiden Grundwasserstände konnte deshalb verzichtet werden.

Entsprechend der stark wechselnden Ausbildung des Grundwasserleiters variiert die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers beträchtlich. Diese verhält sich proportional zum k -Wert und hydraulischen Gefälle und ist zudem von der Porosität (p) abhängig ($v \cdot k \cdot i / p$). Nachstehend sind einige durchschnittliche, grössenordnungsmässige Fliessgeschwindigkeiten aufgeführt:

- | | |
|--|---------------|
| - Vielbringer Becken | 5 - 8 m/Tag |
| - Ostermundigen zwischen Waldheim- und Bernstrasse | 2 - 6 m/Tag |
| - Worb Zentrum | 10 - 40 m/Tag |

Die minimalen und maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in einzelnen Schichten können jedoch bedeutend weiter auseinander liegen als die obigen Werte und Grössen von < 0.1 bis $> 100 \text{ m/Tag}$ annehmen.

5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Worble und Grundwasser

Oberflächengewässer können je nach Wasserspiegelstand Grundwasser anspeisen oder als Vorfluter für das Grundwasser dienen, vorausgesetzt, dass das Bachbett nicht stark abgedichtet ist. Sofern der Grundwasserspiegel beträchtlich

unter dem Bachbett liegt, ist nur eine perkolative Infiltration von Bachwasser möglich. Da die Oberflächengewässer im allgemeinen weniger stark mineralisiert sind als das Grundwasser, ist eine allfällige Infiltration nicht nur aus quantitativer, sondern auch aus qualitativer Sicht für den Grundwasserstrom erwünscht.

Infolge des grossen Flurabstandes ist stromaufwärts vom Brüelmoos (Worbboden) nur eine perkolative Infiltration möglich. Weiter stromabwärts ist mit Ausnahme eines Abschnittes zwischen Stettlen und Deisswil grundsätzlich ein beidseitig gerichteter Wasseraustausch denkbar. Um das Ausmass der In- und Exfiltration zu erfassen, wurden insgesamt sechs Abflussmesskampagnen mit dem Tauchstab in der Worble und ihren Seitenbächen durchgeführt. Da aus Genauigkeitsgründen bei dieser Messmethode eine gewisse Wassertiefe im Bach nicht überschritten werden sollte, wurden sämtliche Wassermessungen bei Niederwasser vorgenommen. Nachstehend sind die Ergebnisse der Messungen vom 13.7.82, 1.11.82, 14.6.84, 20.6.84, 2.10.85 und 21.10.85 zusammenfassend erläutert.

Das Bachbett des Bächu scheint zwischen Schluchbüel und seiner Einmündung in die Worble bei Brüelmoos kolmatiert zu sein, jedenfalls waren keine Wasserverluste festzustellen. Das schliesst jedoch eine Infiltration bei höherem Wasserstand nicht gänzlich aus. Bis Brüelmoos sind bei der Worble ebenfalls keine Wasserverluste zu verzeichnen. Anschliessend findet jedoch auf einer ca. 600 m langen Bachstrecke bis auf die Höhe von Nesselbank eine kräftige Exfiltration statt, indem sich am Ende des Worber Beckens etwa 120 l/s Grundwasser in die Worble ergiessen, was etwa der Feldergiebigkeit dieses Grundwasserleiters entspricht (vgl. Fig 7.1). Auf Figur 5.2 ist die Exfiltration bei Nesselbank dem Abfluss der Worble bzw. der Grundwasserspiegellage beim Piezometer K 8 (608.109/29) gegenübergestellt. Abgesehen von der Messung am 1.11.82 ergibt sich eine recht gute Beziehung zwischen diesen Parametern. Insbesondere die Relation zwischen Grundwasserspiegellage und Exfiltration kommt deutlich zum Ausdruck.

Die übrigen Abflussmessungen bis Rörswil deckten keine hydraulischen Wechselbeziehungen zwischen Grundwasser und Worble mehr auf. Weiter stromabwärts ist das Worblebett meist stark kanalisiert, so dass auf weitere Messungen verzichtet wurde. Zudem nimmt der Grundwasserabfluss dermassen ab, dass jede In- oder Exfiltration innerhalb des Messfehlers liegt. Wie aus Beilage 3 ersichtlich ist, dient jedoch die Worble ab Rörswil als Vorfluter, wobei sie vor allem das Grundwasser des Ostermundiger Beckens und zahlreiche Quellen am nördlichen Hangfluss aufnimmt.

Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass die obigen Ausführungen nur für Verhältnisse bei Niederwasserstand gelten. Bei Mittel- und Hochwasserstand muss mit folgenden Veränderungen gerechnet werden:

- Beschränkte perkolative Infiltration des Bächu und der Worble stromaufwärts Worbboden wahrscheinlich
- stark zunehmende Exfiltration bei Nesselbank
- Infiltration der Worble zwischen Sinneringen und Deisswil möglich
- stromabwärts von Deisswil hydraulische Wechselwirkung zwischen Worble und Grundwasser in beschränktem Ausmass möglich, permanente Exfiltration jedoch vorherrschend

Fig. 5.1: Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels

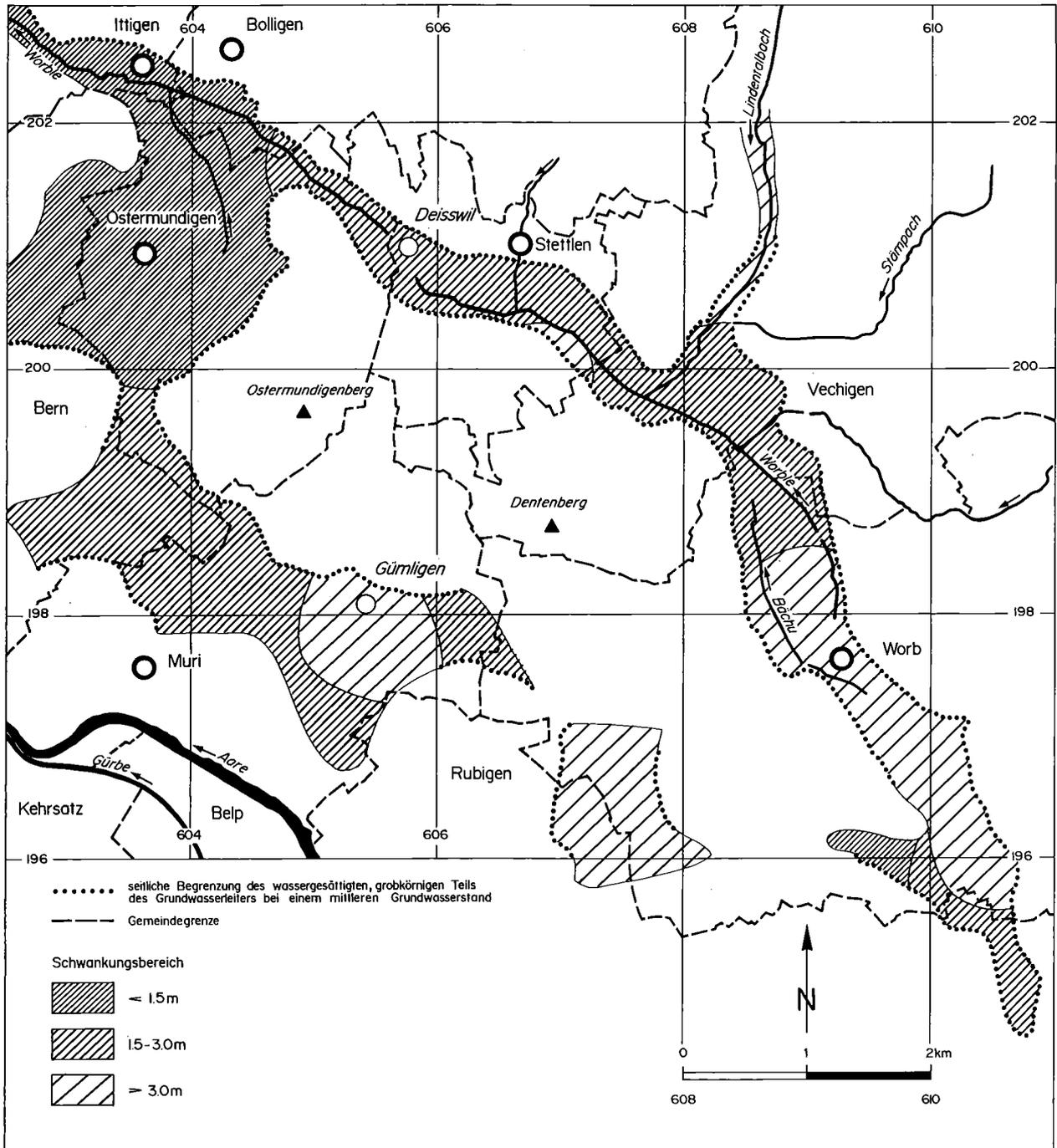
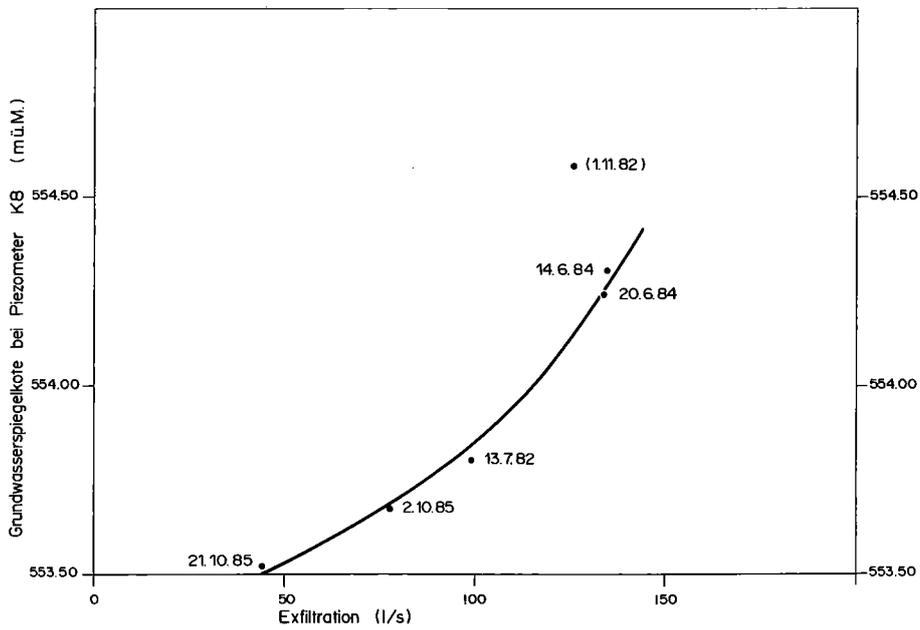
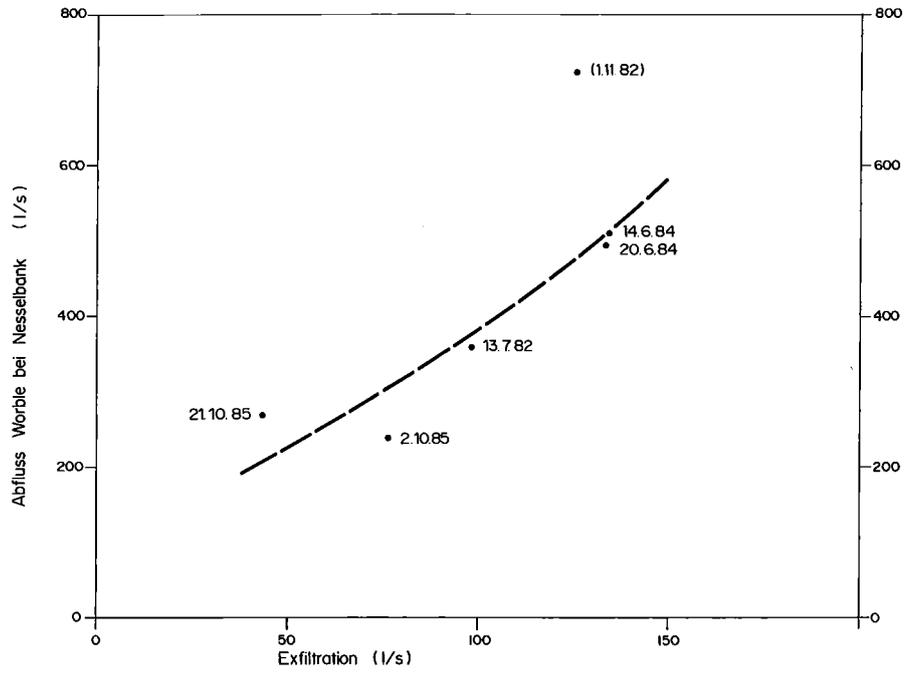


Fig. 5.2: Exfiltration bei Nesselbank in Beziehung zur Abflussmenge der Worble und des Grundwassers



5.3 Grundwasserspiegelschwankungen

Der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels der Jahre 1983 - 1985 kann aus der Figur 5.1 entnommen werden. Er liegt im Rahmen der Grundwasserspiegelschwankungen, wie sie im Mittelland häufig beobachtet werden können. Der grösste Schwankungsbereich wurde mit 4,14 m beim Limnigraphen VBW Worb (609.198/10) festgestellt. Die Schwankungen hängen in erster Linie von der Porosität des Bodens und der Grundwasseranspeisung ab. Daneben besitzen noch weitere Faktoren einen Einfluss, wie z.B. die hydraulische Verbindung zu Oberflächengewässern, der Flurabstand, künstliche Entwässerungen oder Grundwasserentnahmen.

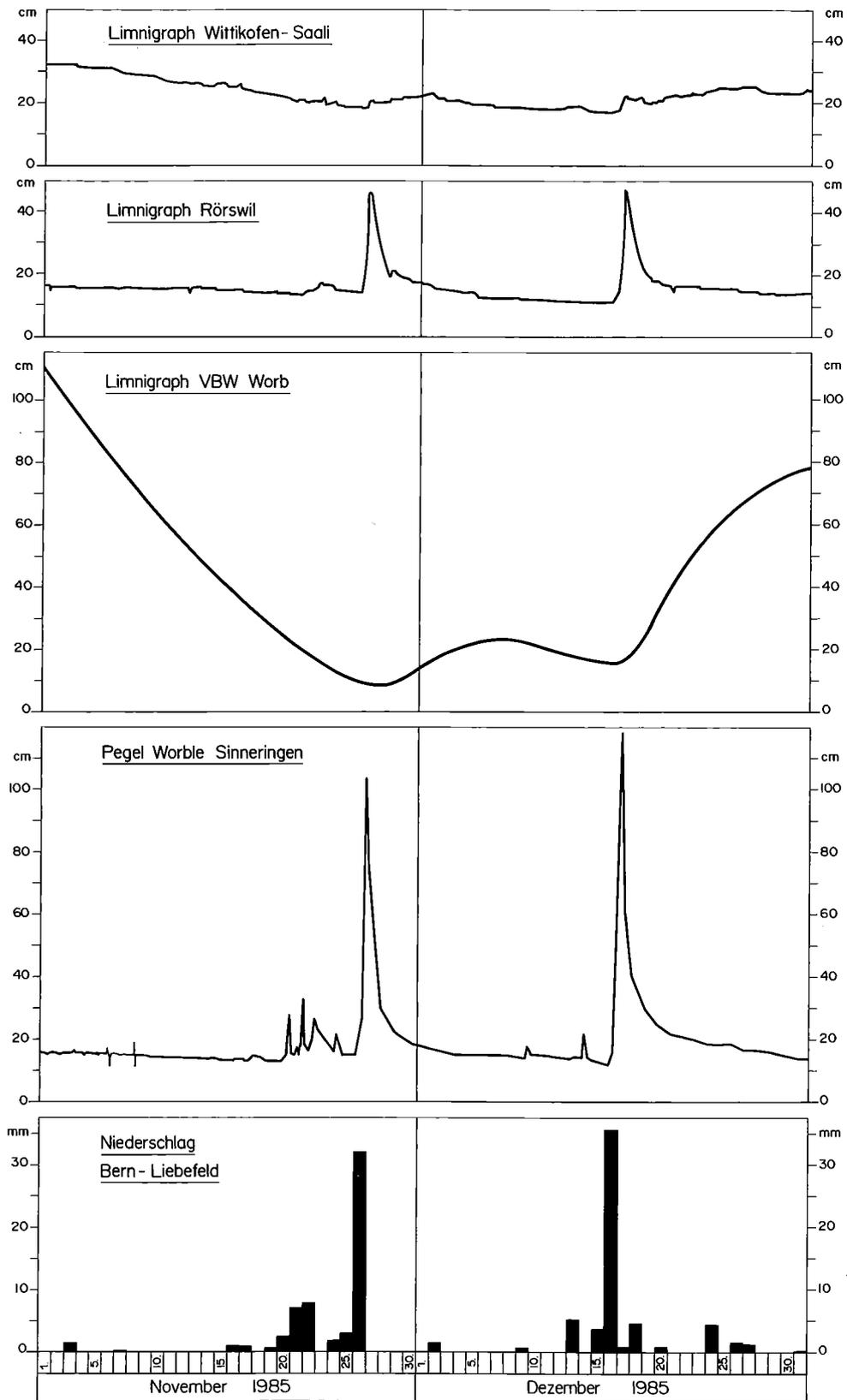
Wie der Grundwasserspiegel auf Niederschläge bzw. auf Hochwasser der Worble reagieren kann, ist aus der Figur 5.3 ersichtlich. Auf die ausgeprägten Starkniederschläge im November und Oktober 1985 nach vorangehender andauernder Trockenheit reagierten die drei installierten Limnigraphen sehr unterschiedlich.

Obwohl die jährlichen Extremstände des Limnigraphen Wittigkofen - Saali mehr als 1,0 m auseinanderliegen können, war praktisch keine Grundwasserspiegelreaktion auf die Niederschläge zu verzeichnen. Dies ist jedoch vor allem auf die Wasserhaltungsmassnahme einer Grossbaustelle in der Nähe zurückzuführen, die möglichst jeden Grundwasserspiegelanstieg unterband.

Der nur ca. 15 m neben der Worble liegende Limnigraph Rörswil wird vor allem durch den Wasserstand des Flusses beeinflusst. Die Druckwelle des Hochwassers pflanzte sich rasch im Grundwasser fort, jedoch mit starker Amplitudendämpfung. Da der dortige Grundwasserleiter nur wenig mächtig ist (kleines Retentionsvolumen), erfolgte die anschliessende Exfiltration etwa ebenso rasch wie die vorübergehende Infiltration. Da zudem der Flurabstand < 2 m ist, dringen die Niederschläge sehr schnell ins Grundwasser ein. Aufgrund des Ganglinienverlaufs kann es sich nur um eine Verzögerung von Stunden handeln.

Völlig anders verhält sich der Grundwasserspiegel auf Niederschläge und Hochwasser im Worboden. Der Limnigraph VBW Worb befindet sich etwa 60 m von der Worble entfernt. Der Flurabstand beträgt an dieser Stelle 15 - 20 m und der Grundwasserleiter erreicht eine Mächtigkeit von ca. 20 m. Abflussmessungen haben gezeigt, dass der Fluss bei Niederwasser in diesem Gebiet nicht infiltriert. Aufgrund des Ganglinienverlaufs des Grundwasserspiegels muss angenommen werden, dass offenbar nur bei einem grösseren Hochwasser eine Infiltration von Flusswasser erfolgt. So scheint das Ereignis vom 26. November keine Auswirkungen gehabt zu haben, dagegen ist eine Reaktion auf das Hochwasser vom 16. Dezember unverkennbar. Wird für den im Schwankungsbereich liegenden Grundwasserleiter eine effektive Porosität von 10 - 15 % angenommen, so würde z.B. eine infiltrierende Niederschlagshöhe von 10 mm einen Grundwasserspiegelanstieg von ca. 70 - 100 mm verursachen. Nach dem ersten Niederschlagsereignis (34 mm) war ein Anstieg von etwa 150 mm, nach dem zweiten (41 mm) ein solcher von etwa 660 mm zu verzeichnen. Da der Grundwasserspiegel auf einen Starkniederschlag reagieren muss (undurchlässige Deckschichten fehlen), ist es naheliegend, dass die erste Anstiegswelle wahrscheinlich grösstenteils auf die einsickernden Niederschläge zurückzuführen ist, während die zweite Anstiegswelle wahrscheinlich viel zu gross ist, als dass sie nur von den Niederschlägen provoziert werden könnte (eine Infiltration von 50 % der Niederschläge würde einen Anstieg von maximal 200 mm verursachen).

Fig. 5.3: Verhalten des Grundwasserspiegels bei Starkniederschlag



Grössere Hochwasser der Worble können somit das Grundwasser sehr nachhaltig anspeisen. Bei beträchtlichem Flurabstand findet jede Anspeisung mit einer grossen zeitlichen Verzögerung und Dämpfung statt, wobei die eigentliche Versickerungsdauer, d.h. der Stofftransport durch die ungesättigte Zone, Monate oder sogar Jahre dauern kann. Die aus der Ganglinie des Limnigraphen VBW Worb (Fig. 5.3) ersichtliche Verzögerung entspricht somit nicht der Verweildauer des Infiltrats im Boden. Vielmehr wird dieses durch Neuanspeisungen schubweise und durch eingeschlossene Bodenluft isoliert nach unten verfrachtet, bis zuletzt der gesättigte Grundwasserleiter erreicht wird. Diese verzögerte Anspeisung hat nachhaltige Konsequenzen auf die Grundwasserqualität, indem sich z.B. eine eingeschränkte landwirtschaftliche Düngung im Worboden unter Umständen erst nach Jahren im Nitratgehalt des Grundwassers bemerkbar macht (Kap. 6.3.2).

6. WASSERQUALITAET

6.1 Allgemeines

Insgesamt wurden fünf grössere Probenerhebungskampagnen bei verschiedenen Wasserständen und zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt:

26.10. - 03.11.1982:	21 Proben
07.04. - 08.04.1983:	30 Proben
16.07. - 20.07.1984:	31 Proben
18.01. - 23.01.1985:	36 Proben
08.10. - 24.10.1985:	36 Proben

Davon entfielen 86 Proben auf das Grundwasser und 68 auf Oberflächenwasser.

Im August und September 1986 (12.8., 13.8., 18.8., 20.8. und 23.9.) wurden insgesamt 38 Quellen beprobt.

Zwischen dem 12.11.1982 und 6.1.1986, also über mehr als drei Jahre, erfolgte eine wöchentliche Probeentnahme in der Grundwasserfassung Worbboden (608.198/21), der Worble bei den VBW-Werkstätten (Koord. 609.190/198.050) und dem Bächu bei Herolfingen (Koord. 611.630/194.190). Gesamthaft wurden dabei 620 Wasserproben untersucht.

Für verschiedene Detailuntersuchungen wurden daneben etliche kleinere Kampagnen ausgeführt. Zudem erfolgte bei jeder Sondierbohrung, die im Rahmen der vorliegenden Studie ausgeführt wurde, mindestens eine zusätzliche Probeentnahme.

Aus früher ausgeführten Sondierbohrungen, privaten und öffentlichen Fassungen standen weitere Analysen zur Verfügung, die in die Auswertung integriert werden konnten.

Die Laboruntersuchungen wurden praktisch ausschliesslich und in sehr zuvorkommender Weise durch das Kantonale Labor (Kantonschemiker) vorgenommen.

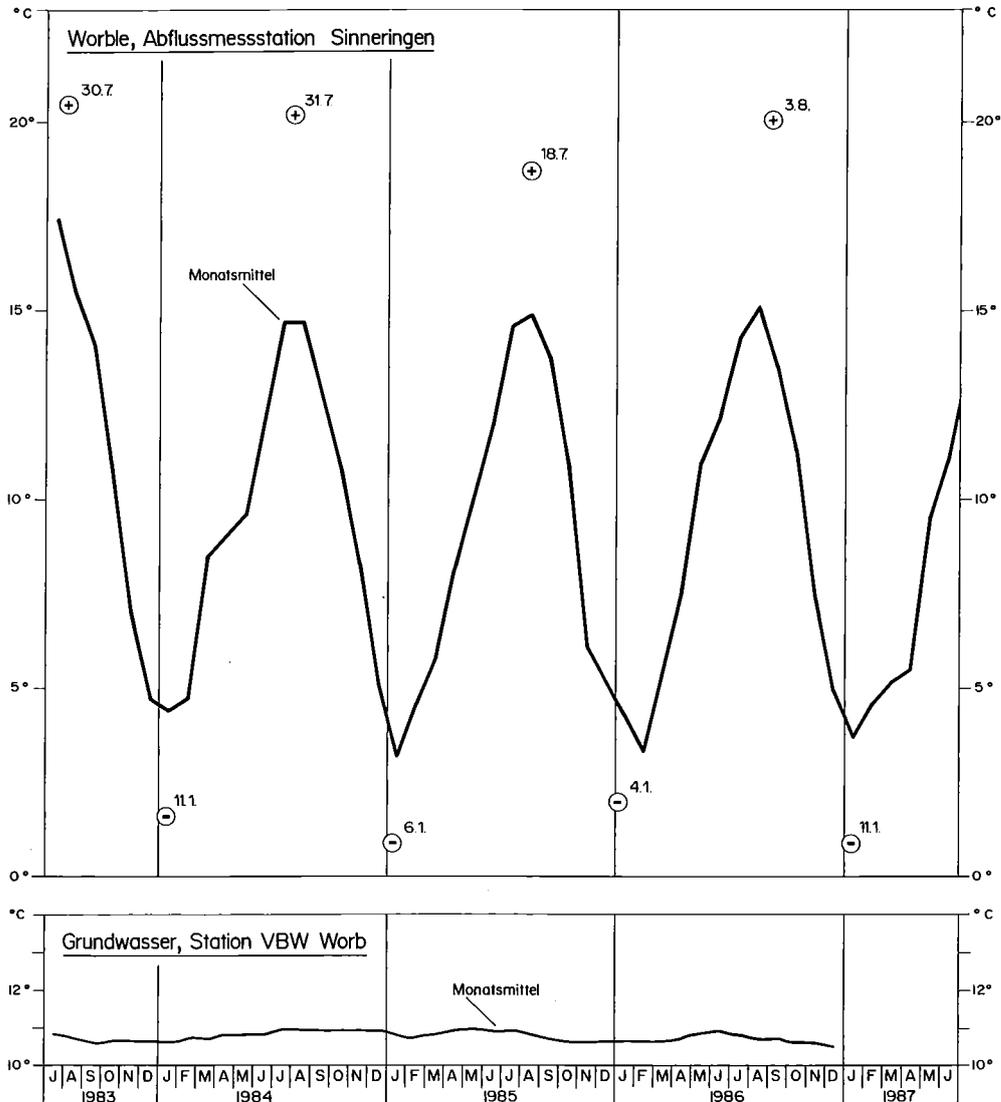
6.2 Physikalische Eigenschaften

6.2.1 Oberflächengewässer

Temperatur:

Der Verlauf der Wassertemperatur der Worble wurde durch den bei der Abflussmessstation Sinneringen installierten Thermolimnigraphen lückenlos registriert. Figur 6.1 vermittelt die Monatsmittel und Extremwerte über vier Jahre. Erwartungsgemäss sind die Maxima mit bis zu 21°C jeweils im Juli und

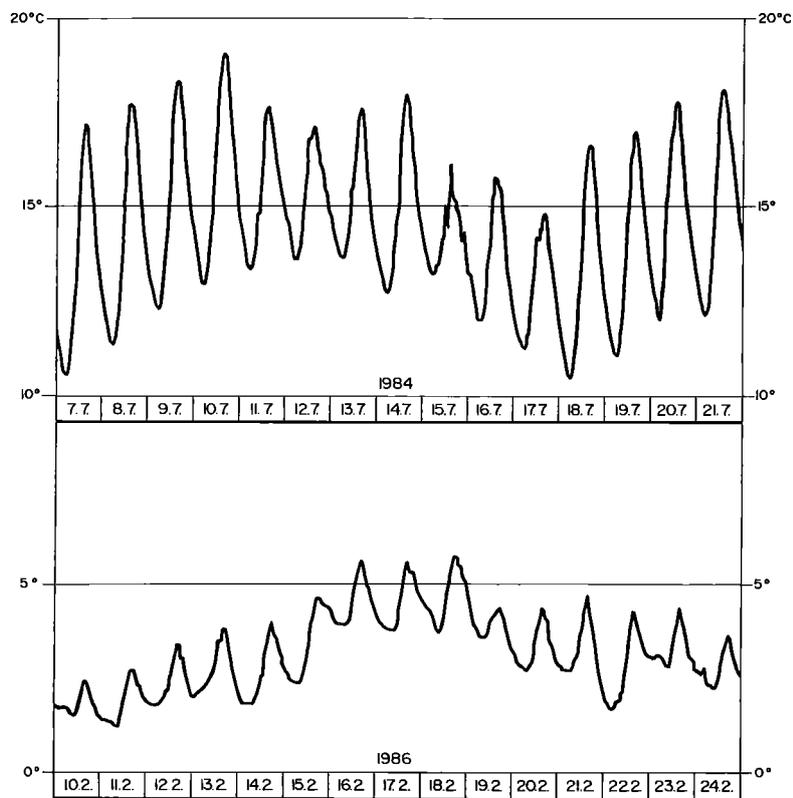
Fig. 6.1: Temperaturganglinien (Monatsmittel) der Worble und des Grundwassers bei Worb



August zu verzeichnen, während die Minima von 1 - 2°C im Januar oder Februar auftreten.

Die Tagesschwankungen wurden durch zwei Beispiele (Fig. 6.2) während niederschlagsarmen Perioden dargestellt. Während im Sommer die Temperaturschwankungen bis zu 6°C betragen, erreichen sie im Winter etwa noch 2°C. Gegenüber der Tageszeit beträgt die zeitliche Verzögerung der Extremwerte etwa 3 - 4 Stunden.

Fig. 6.2: Tagesschwankungen der Worble



Da die Grundwasserexfiltration im unteren Teil des Worber Beckens, am Abfluss der Worble gemessen, im allgemeinen nur gering ist, hat sie keinen grossen dämpfenden Einfluss auf die Flusswassertemperatur. Der Temperaturverlauf wird somit fast ausschliesslich durch die atmosphärische Einstrahlung bestimmt.

Spezifische Leitfähigkeit:

Um die Gesamtmineralisation des Wassers auszudrücken, kann die spezifische Leitfähigkeit verwendet werden. In der Regel wird sie in Mikrosiemens pro Zentimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ausgedrückt.

Die spezifische Leitfähigkeit ist stark von der Abflussmenge abhängig. Obwohl Niederschläge grossflächige Abschwemmungen von Mineralsalzen an der Landoberfläche bewirken können, verursachen sie meist eine "Verdünnung" des Flusswassers.

Die Worble wurde bei der VBW-Werkstätte Worb (609.190/198.050) und bei der Abflussmessstelle Sinneringen beprobt. Zu 90 % der Zeit (Abfluss $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$) beträgt die spezifische Leitfähigkeit des Worblewassers bei Sinneringen 490 - 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bei der VBW-Werkstätte liegt sie durchschnittlich 20 - 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$

tiefer. Dieser Unterschied dürfte grösstenteils auf die Grundwasserexfiltration bei Nesselbank zurückzuführen sein, die den "Verdünnungseffekt" des Lindentalbaches überkompensiert. Bei einem Abfluss von 2.0 - 2.5 m³/s (10.9.84) betrug die spezifische Leitfähigkeit nur noch 270 μ S/cm (VBW Worb).

Der Bächu mit dem bedeutend kleineren Einzugsgebiet als die Worble ist wesentlich stärker mineralisiert. Die spezifische Leitfähigkeit beträgt zu 90 % der Zeit bei der Probeentnahmestelle Worb (609.630/197.090) 610 - 690 μ S/cm. Merkwürdigerweise ist jedoch das Wasser schon im Quellgebiet, also bei Herolfingen (611.630/194.190), mit 580 - 670 μ S/cm ähnlich stark belastet. Die Ursache dafür ist ohne Zweifel in der landwirtschaftlichen Überdüngung zu suchen.

Anlässlich der Erhebungskampagne vom 11.10.1985 (Trockenperiode) wiesen die Oberflächengewässer des Untersuchungsperimeters folgende spezifische Leitfähigkeiten in μ S/cm auf:

Worble	Enggistein	A	27	490
"	VBW Worb	A	20	485
"	Nesselbank	A	22	505
"	Sinneringen	A	42	495
"	Deisswil	A	39	500
"	Rörswil	A	40	535
Bächu	Herolfingen	C	27	620
"	Worb	C	3	610
"	Wislenboden	A	19	635
"	Brüelmoos	A	21	650
Richigenbach	Eichmatt	A	18	570
Vechigenbach	Einmündung Worble	A	23	575
Lindentalbach	Einmündung Worble	A	24	460
Lutschenbach	Dennigkofen	K	102	580
"	Einmündung Worble	K	91	620

Auffallend ist wiederum die grosse Belastung aller Gewässer. Sogar der Lindentalbach, dessen Einzugsgebiet zum grossen Teil steil und bewaldet ist, weist schon einen Wert von 460 μ S/cm auf. Bei der Worble in Enggistein unmittelbar ausgang des Quellgebietes kann die relativ hohe Mineralisation nicht auf die teilweise Einleitung des Biglenbaches zurückgeführt werden (Kap. 3.3), wies dieser doch am gleichen Datum beim Metzgerhüsi einen Wert von 470 μ S/cm auf.

Verglichen mit anderen Gebieten, z.B. mit dem benachbarten Kiesental, dem Aaretal, dem Emmental und dem Oberaargau, wo die Oberflächengewässer in der Regel eine spezifische Leitfähigkeit von < 500 μ S/cm aufweisen, liegt sie im Worblental meist darüber. Dies kann nicht mit dem unterschiedlichen geologischen Aufbau erklärt werden, vielmehr wird in der Gegend des Worblentals reichlicher gedüngt als in den angrenzenden Gebieten, was offenbar nicht erst seit den letzten Jahren der Fall ist, sondern Tradition hat, wie die Grundwasseranalysen zeigen (z.B. Worboden, Kap. 6.3.2).

6.2.2 Grundwasser

Temperatur:

Die direkte Einstrahlung aus der Atmosphäre bestimmt in erster Linie die Grundwassertemperatur. Im Vergleich dazu ist der Wärmefluss aus dem Erdinnern für un tiefe Grundwasservorkommen (< 30 m) von untergeordneter Bedeutung. In etwa 10 m Tiefe machen sich jahreszeitliche Temperaturschwankungen kaum mehr bemerkbar, und die dort vorherrschende Temperatur liegt an der Oberfläche etwa 2°C über dem Jahresmittel, das in Bern 8.3°C beträgt.

Im Untersuchungsgebiet wurde die Grundwassertemperatur mittels Thermolimniographen an drei Stellen kontinuierlich registriert:

-	Piezometer VBW Worb	609.130/198.085
-	" Lindendorf Ostermundigen	603.805/201.065
-	" Wittigkofen Saali	603.130/200.020

Bei einem mittleren Flurabstand von ca. 16 m schwankte die Grundwassertemperatur beim Piezometer VBW Worb nur um 0.3°C von 10.6 - 10.9°C (Fig. 6.1), wobei keine Periodizität festgestellt werden konnte. Die im Pumpwerk Worbboden gemessenen Temperaturen liegen durchschnittlich bei ca. 11°C. Beim Piezometer Lindendorf Ostermundigen lag der Schwankungsbereich bei einem mittleren Flurabstand von ca. 5 m bei 11.8 - 12.6°C, mit den tiefsten Werten im Sommer und den höchsten im Winter (Phasenverschiebung um 5 - 6 Monate). Der Piezometer Wittigkofen - Saali mit einem mittleren Flurabstand von etwa 3 m wies eine Temperaturschwankung von 10.9 - 12.0°C auf. Infolge Wasserhaltungsarbeiten in der Umgebung war jedoch die Grundwasserströmung während längerer Zeit gestört, so dass keine jahreszeitliche Tendenz zum Vorschein kam. Der bei den drei unterschiedlichen Messstellen registrierte Temperaturverlauf lässt folgende Feststellungen zu:

- eine Abnahme der Temperaturamplitude mit zunehmendem Flurabstand
- die relativ hohen Grundwassertemperaturen, insbesondere beim Piezometer Lindendorf Ostermundigen
- die geringe Abhängigkeit von der jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankung

Da die drei Piezometer einen Durchmesser von > 4" aufweisen, findet im Rohr eine Konvektionsströmung statt, was die Interpretation der Resultate etwas einschränkt. Es ist jedoch offensichtlich, dass mit Ausnahme der Station VBW-Worb eindeutig zu hohe Temperaturen gemessen wurden: die Abwärme der stromaufwärts liegenden Siedlungsgebiete macht sich eindeutig bemerkbar. Sie dürfte bei der Station Wittigkofen - Saali für eine Temperaturerhöhung von ca. 1.5°C und bei der Station Lindendorf Ostermundigen für eine solche von mindestens 2°C verantwortlich sein.

Das verfügbare Wärmepotential in diesen Gebieten ist somit bedeutend höher, als dies normalerweise der Fall ist. Dies trifft zu einem verminderten Grad auch für das Grundwasservorkommen bei Worb zu, das ziemlich tief liegt und nicht durch infiltrierende Oberflächengewässer im Winter abgekühlt wird. Für den Betrieb von Wärmepumpenanlagen stehen somit anstatt der üblichen 3 - 5°C mindestens folgende nutzbaren Temperaturgefälle zur Verfügung:

- Oberer Worboden ca. 5 - 6°C
- Ostermundigen Nord ca. 7 - 8°C
- Wittigkofen - Saali ca. 6 - 7°C

Spezifische Leitfähigkeit:

Mit wenigen Ausnahmen liegt die spezifische Leitfähigkeit im Grundwasser des Untersuchungsgebietes ständig über 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In einzelnen Fällen übersteigt sie sogar 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dies ist weiter nicht verwunderlich, liegen die Werte in den Oberflächengewässern schon meist über 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ oder sogar über 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Kap. 6.2.1).

Zwischen den einzelnen Grundwasserbecken können keine grösseren Unterschiede festgestellt werden. Merkwürdigerweise ist häufig auch keine signifikante Mineralisationszunahme in Strömungsrichtung feststellbar. Dies kommt besonders im Worber Becken zum Ausdruck: Zwischen Schluchbühl und Worb schwanken die Werte zwischen 630 und 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, während sie unterhalb Worb bis Vechigen 630 - 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erreichen.

Extremwerte wurden bei folgenden Stellen gemessen:

Limnigraph Wittigkofen - Saali	603.198/101	810 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Alte Fassung Gümligenfeld	605.197/11	820 "
Limnigraph Rörswil	604.201/22	540 "
Sodbrunnen Ostermundigen	604.200/8	580 "

Die höchsten Werte fallen eindeutig mit den extrem hohen Chloridkonzentrationen entlang der Autobahn zusammen, während die tiefsten wahrscheinlich durch infiltrierendes Oberflächenwasser verursacht werden (Worble bei Rörswil, Lutschenschbach beim Sod der Metzgerei Haldimann, Ostermundigen). Generell wieder spiegeln jedoch die hohen Werte im gesamten Untersuchungsgebiet die durchwegs grosse Grundwasserhärte.

6.3 Chemische Eigenschaften

6.3.1 Oberflächengewässer

Die Gewässer des Worblentals werden je nach Lage des Einzugsgebiets und der Jahreszeit durch qualitativ unterschiedliches Wasser angespiesen. Dies kommt vor allem bei den Anionen und pauschal durch die spezifische Leitfähigkeit zum Ausdruck (Fig. 6.3). Verglichen mit den übrigen Bächen weist die Worble eine leicht geringere Mineralisation auf, die jedoch ziemlich grossen Schwankungen unterworfen ist. Wie Figur 6.4 zeigt, sind diese jedoch nicht eindeutig saisonbedingt. Immerhin scheinen die höchsten Nitratwerte meist ausgangs Winter aufzutreten, was mit Abschwemmungen auf der Landoberfläche ausserhalb der Vegetationszeit erklärt werden kann.

Fig. 6.3: Chemismus der Oberflächengewässer

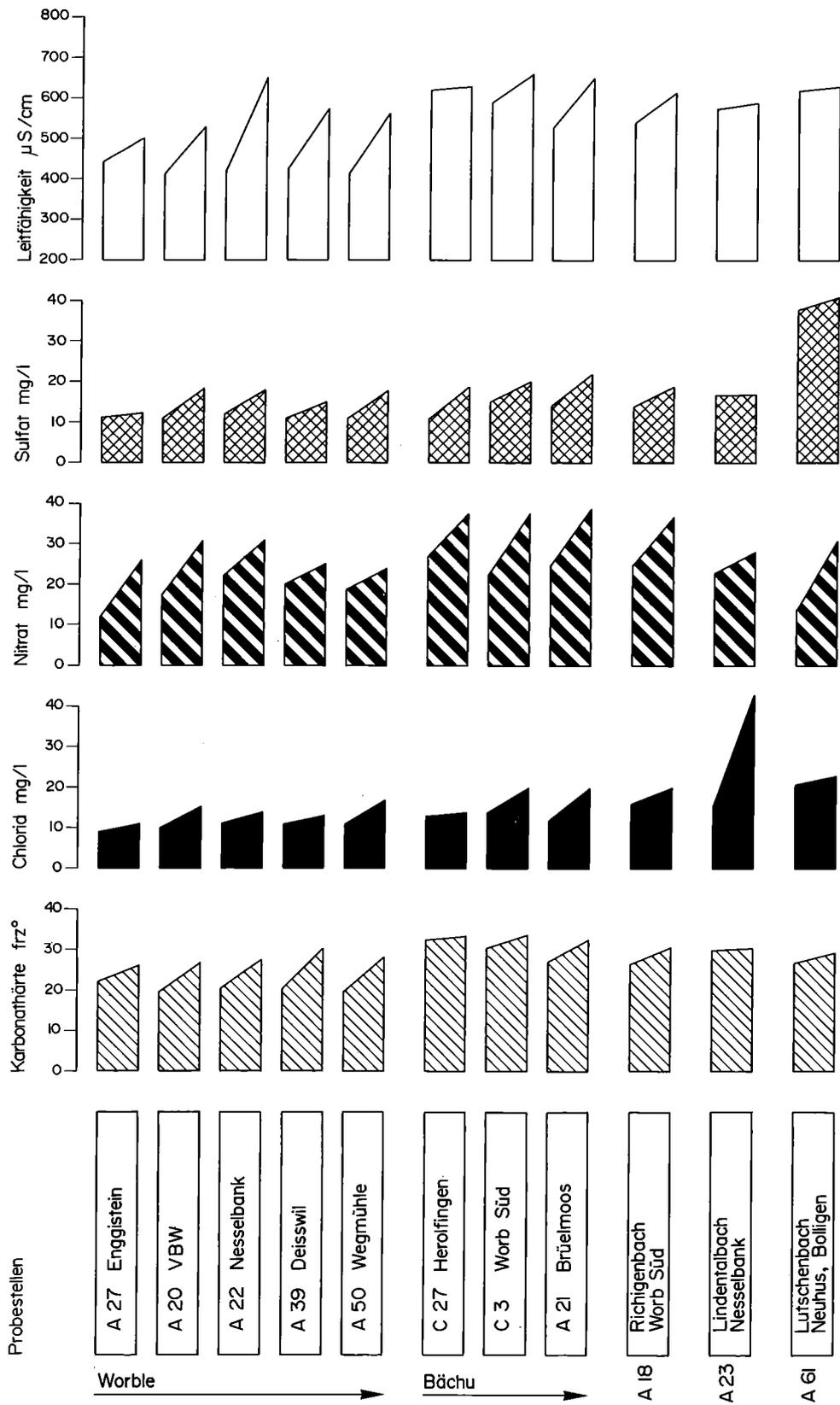
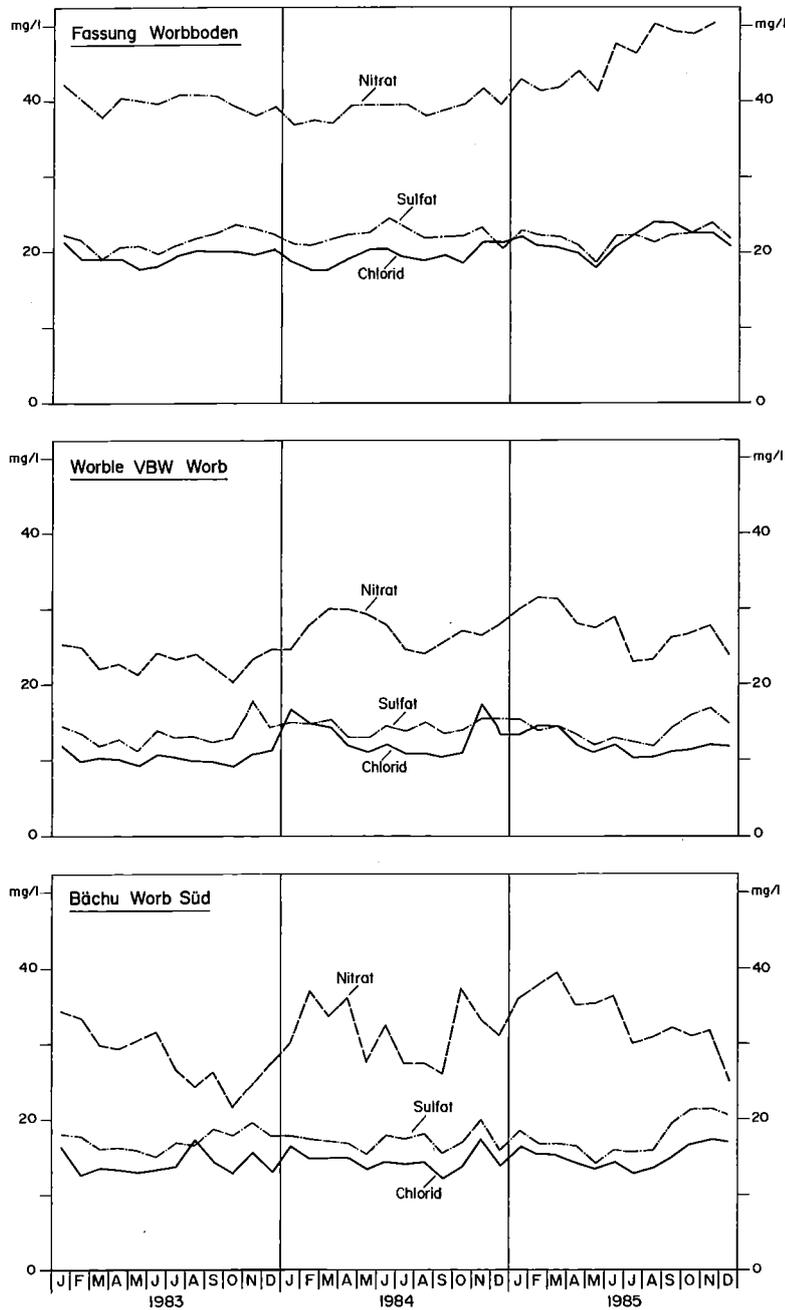


Fig. 6.4: Ganglinien der Nitrat-, Sulfat- und Chloridkonzentrationen (Monatswerte) im Grundwasser der Fassung Worbboden, in der Worble und im Bächu



Stromabwärts ist weder bei der Worble noch beim Bächu eine eindeutig zunehmende Mineralisation erkennbar. Offenbar findet mit zunehmendem Eintrag von gelösten Salzen auch eine entsprechende Verdünnung durch Meteorwasser statt. Eindeutig kommt damit die gesonderte Ableitung der Siedlungsabwässer zum Ausdruck.

Auffallend ist die grosse Karbonathärte und insbesondere der hohe Nitratgehalt des Bächu, dies schon ab seinem Ursprungsort bei Herolfingen. Es scheint, dass in seinem Einzugsgebiet besonders ausgiebig gedüngt wird, reicht doch der Nitratgehalt zeitweise bis knapp an die 40 mg/l-Grenze.

Besonders bemerkenswert sind die zeitweiligen hohen Chloridwerte im Lindentalbach, die wahrscheinlich auf die Strassensalzung zurückzuführen sind, und der hohe Sulfatgehalt im Lutschenbach, der vermutlich geologisch bedingt sein dürfte (Kap. 6.3.2).

Häufig werden Grundwasserfassungen in der Nähe von infiltrierenden Oberflächengewässern erstellt, mit dem Ziel, einen möglichst gesicherten Nachschub und eine annehmbare Grundwasserqualität zu gewährleisten. Ein solches Vorgehen wäre im Worblentalgebiet nur bedingt von Vorteil, besitzen doch die Wasserläufe meist eine ähnlich hohe Mineralisation wie das benachbarte Grundwasser (Nitrat!). Eine Ausnahme bildet das Gebiet Worbboden, wo das Grundwasser deutlich höher mineralisiert ist als die Worble, die jedoch auf diesem Abschnitt bei Niederwasser nicht infiltriert. Dagegen kommt das Wasser des Bächu schon nahe an die chemische Zusammensetzung des dortigen Grundwassers heran. Dieser Umstand deutet wiederum auf eine viel zu intensive landwirtschaftliche Düngung hin. Der teilweise schwerdurchlässige Untergrund (Moränenablagerungen) und ein ausgeprägtes Oberflächenrelief begünstigen eine Abschwemmung der Düngemittel, die wahrscheinlich z.T. ohne Bodenpassage direkt in die Vorfluter gelangen. Im benachbarten Kiesental (WEA-Bericht in Vorbereitung) sind die Grund- und Oberflächengewässer bedeutend weniger stark belastet, was vermutlich mit einer etwas extensiveren Bodennutzung (zunehmende Hangneigung erlaubt teilweise nur Graswirtschaft und Weide) im Zusammenhang stehen könnte. Dies kann jedoch nicht der alleinige Grund sein. Betrachtet man z.B. die Mineralisation der Zuflüsse der Aare zwischen Spiez und Bern (WEA 1981), so besass nur die Chesselau-Giesse bei Münsingen einen Nitratgehalt von > 20 mg/l, und die Gürbe erreichte z.B. nur einen Wert von 12 mg/l. Auch im Gebiet von Herzogenbuchsee (WEA-Bericht im Druck) sind die Oberflächengewässer eindeutig geringer mineralisiert als im vorliegenden Untersuchungsperimeter, womit als Hauptursache für die grosse chemische Belastung der Gewässer im Worblentalgebiet eindeutig eine massive Ueberdüngung feststehen dürfte.

6.3.2 Grundwasser

Ueberblick

Das Grundwasser wird durch Niederschläge, Hang- und Quellwasser sowie infiltrierendes Oberflächenwasser angespiesen. Davon ist nur das Niederschlagswasser weitgehend von der Umwelt unbelastet. Wie das vorangehende Kapitel zeigt, sind die Oberflächengewässer mehrheitlich schon sehr stark mineralisiert, was in noch vermehrtem Mass für das Quellwasser zutrifft (Kap. 6.3.3). Die Voraussetzungen für eine gute chemische Grundwasserqualität sind somit schlecht.

Glücklicherweise entfallen die Grundwasservorkommen im Untersuchungsgebiet auf mehrere, hydraulisch ziemlich unabhängige Becken. Damit wird eine stromabwärts ständig zunehmende Belastung eingeschränkt. Dies kommt besonders deutlich zwischen dem Worber und Deisswiler Becken zum Ausdruck. Dank der weitgehenden Exfiltration auf der Höhe von Nesselbank - Vechigen beginnt unmittelbar stromabwärts davon ein Grundwasserstrom mit neuen gütemässigen Voraussetzungen. Grosse Waldflächen und steile Hänge im Einzugsgebiet, die eine intensive Landwirtschaft verunmöglichen, scheinen die Grundwasserqualität günstig zu beeinflussen (Dentenbergr, Ostermundigenbergr, teilweise Bantiger und Lindental).

Infolge der teilweise recht günstigen Deckschichtenbeschaffenheit und den rigorosen Abwasservorschriften wird das Grundwasser in stark überbauten Gebieten, wie im Gümliger und Ostermundiger Becken, nicht stark mineralisiert. In diesen Gebieten herrscht aber vermehrt die Gefahr des Eintrags von industriell verwendeten Schadstoffen, wie z.B. organischen Lösungsmitteln.

Erfahrungsgemäss werden während der vegetationsarmen Zeit, d.h. im Winterhalbjahr, am meisten Mineralsalze in den Boden und damit ins Grundwasser geschwemmt. Obwohl zu verschiedenen Jahreszeiten Proben erhoben wurden (Kap. 6.1), kommt dies im Grundwasserchemismus selten zum Ausdruck. Da die Infiltration durch die Bodenschichten der ungesättigten Zone im allgemeinen nur schubweise bei grösseren Niederschlägen erfolgt, kann es Monate, wenn nicht Jahre dauern, bis die Wassertropfen den Grundwasserspiegel erreicht haben. Dies ist natürlich vor allem bei grossem Flurabstand der Fall, wie z.B. im Worbboden (Figur 4.3). Betrachtet man die Nitrat-, Sulfat- und Chloridganglinien in Figur 6.4, so kann deshalb in der Fassung Worbboden trotz monatlicher Probeerhebung kein jahreszeitlicher Trend festgestellt werden (beim Bächu und der Worble wird ein allfälliger Trend durch die Abflussmenge überlagert).

In der Regel weist das Grundwasser im Untersuchungsgebiet Trinkwasserqualität gemäss schweizerischem Lebensmittelbuch 1972 auf. Es kommt jedoch vor, dass bei schwerdurchlässigen Deckschichten und relativ hohem Grundwasserspiegel ein Sauerstoffdefizit infolge fehlender Grundluftzone eintritt, wie z.B. im Gümliger Becken (Beilage 4). Die damit verbundenen Reduktionsbedingungen haben meist erhöhte Eisen- und Mangangehalte zur Folge. Infolge lokaler, meist vorübergehender Verunreinigungsherde (z.B. Jaucheeintrag, Herbizidanwendungen) kann die Grundwasserqualität zeitweise beeinträchtigt werden, wie dies etwa beim Versuchsbrunnen Tiefenmösli (WV Ostermundigen) durch Unkrautvernichtungsmittel der SBB der Fall war. Eine permanente Qualitätsbeeinträchtigung kann jedoch bei einer dauernden Ueberdüngung erreicht werden, seit Jahrzehnten kann dies im Worbboden beobachtet werden (folgender Abschnitt).

Nebst der Beilage 4 vermittelt die Tabelle 6.1 einen Ueberblick zum Grundwasserchemismus. Die aufgeführten Analysenwerte der beprobten Fassungen entsprechen mit Ausnahme von zwei Werten den Trinkwasserkriterien. Der in drei Proben festgestellte zu geringe Sauerstoffgehalt (Richtwert 60 % Sauerstoffsättigung) ist hygienisch unbedenklich. Wie schon erwähnt (Kap. 6.2.2), zeichnet sich das Grundwasser durchwegs durch eine ziemlich hohe Härte aus, was regional einen hohen Verbrauch an Waschmitteln zur Folge hat.

Einzelne Komponenten (Beilage 4):

a) Karbonathärte

Durch die grösste Karbonathärte zeichnet sich der zentrale Teil des oberen Deisswiler Beckens aus. Die Ursache dazu ist möglicherweise im zeitweise leicht versumpften Gebiet zu suchen, das einen grossen Kohlensäureeintrag begünstigt. Allerdings weisen die meisten Quellen des Einzugsgebietes auch schon eine Karbonathärte von $> 30^{\circ}\text{frz}$ auf. Offenbar muss in diesem Gebiet der Untergrund, namentlich die Vegetationsschicht und die unmittelbar darunterliegende Zone, recht kalkhaltig sein. Durch das weitgehende Ausbleiben von Oberflächenwasserinfiltrationen findet im Untersuchungsperimeter praktisch keine Verminderung der Grundwasserhärte statt. Mit Ausnahme von relativ kleinen Gebieten liegt daher die Karbonathärte in der Regel über $> 30^{\circ}\text{frz}$.

Folgende Extremwerte wurden analysiert:

T 15 (607.199/9) Neuhüsli, Sinneringen	36,9°frz
Limnigraph Rörswil (604.201/49)	26,1°frz

(1°frz = 10 mg/l CaCO₃)

b) Chloride

Im Gegensatz zur Karbonathärte, die grösstenteils naturbedingt ist, muss der Chloridgehalt im Grundwasser vorwiegend auf zivilisatorische Einflüsse zurückgeführt werden, wobei die Strassensalzung und die Düngung am meisten dafür verantwortlich sein dürften. Bezeichnenderweise wurden die höchsten Chloridkonzentrationen entlang der Autobahn festgestellt, wobei beim Limnigraphen Saali die Extremwerte zwischen 59 und 90 mg/l liegen. Obwohl nur während einer relativ kurzen Zeit im Winter Salz gestreut wird, macht sich dies nachhaltig über das ganze Jahr im Grundwasser bemerkbar. So wurde der obige Spitzenwert im Oktober gemessen. Offenbar handelte es sich um eine Konzentrationswelle aus dem vorangehenden Winter, die diese Stelle jedoch erst im Herbst passierte.

Die tiefsten Chloridwerte (12 mg/l) konnten an verschiedenen Stellen beobachtet werden. So in der Fassung der Worbla AG (Papiermühle) oder in der WAVEST-Fassung in Boll. Diese Werte sind jedoch nur relativ tief. Im Grundwasserleiter des Aaretals würden sie z.B. zu den mittleren und im Raume Interlaken zu den höchsten Konzentrationen zählen (WEA-Berichte 1981 und 1985). Dieser

Nummer (Tabelle)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Datum	10.10.85	10.10.85	10.10.85	10.10.85	10.10.85	21.10.85	10.10.85	18.12.86	15.10.85	15.10.85	9.6.83
Karbonathärte frz.	32	33	35	33	33	28	33	30,2	31	31	29
Chlorid ng Cl/l	25	15	14	19	14	12	22	17	27	66	16
Nitrat ng NO ₃ /l	<u>50</u>	25	23	32	29	18	15	15	37	33	20
Sulfat ng SO ₄ /l	25	23	26	30	28	27	49	49	30	29	26
KMNO ₄ -Verbrauch mg/l	2.4	1.7	2.2	2.5	2.2	1.4	2.5	2.5	1.4	1.6	1.9
Nitrit ng NO ₂ /l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ammonium ng NH ₄ /l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Eisen ng Fe/l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<u>0.15</u>	<
Mangan ng Mn/l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Sauerstoffsättigung ‰	76	84	68	69	56	41	32	16	73	61	83
Leitfähigkeit µS/cm (20 C)	700	660	635	680	630	545	580	617	700	820	582
pH-Wert	7.10	7.15	7.20	7.15	7.15	7.35	7.10	7.00	7.20	7.15	7.20

- 1: Worboden (WV Gemeinde Worb)
- 2: Boll (WAVEST)
- 3: Stettlenmoos (Kartonfabrik Deisswil)
- 4: Station Deisswil (Kartonfabrik Deisswil)
- 5: Rörswil (WV Ostermundigen)
- 6: Papiermühle (Worbla AG)
- 7: Bachstrasse (WV Ostermundigen)
- 8: Tiefenmösli (Versuchsbrunnen WV Ostermundigen)
- 9: Gümligen (HACO)
- 10: Gümligenfeld, F 37 (WV Muri)
- 11: Vielbringen, T 8 (Versuchsbrunnen Steinacher)

Unterschied ist einerseits auf die oben erwähnte fehlende Infiltration aus Oberflächengewässern zurückzuführen, andererseits aber wahrscheinlich auch auf die zu grosszügige Anwendung von chloridhaltigen Salzen.

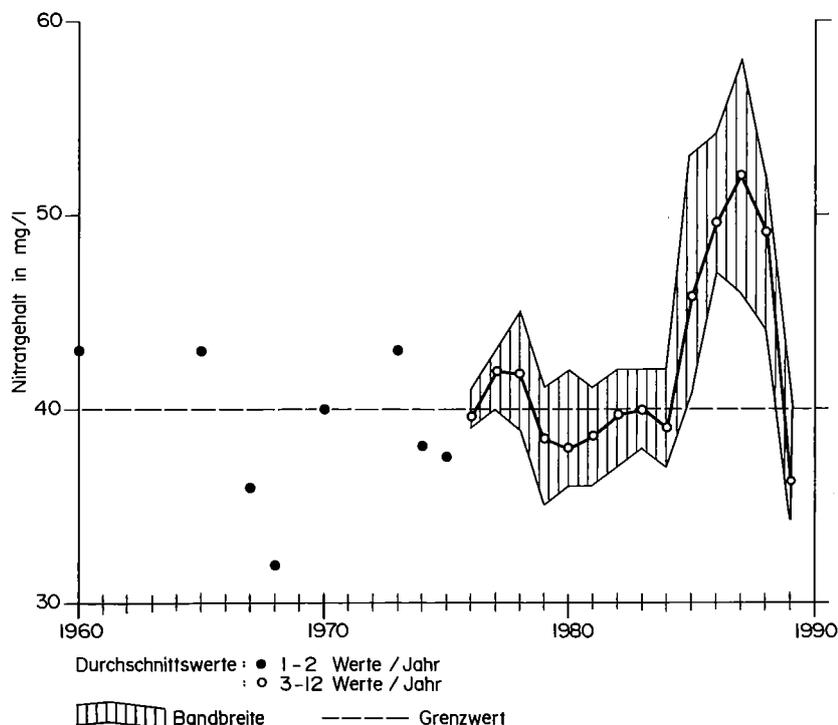
c) Nitrate

Der Nitratgehalt des Grundwassers schwankt im Untersuchungsgebiet ausserordentlich stark. Im Worber Becken sind Konzentrationen über 40 mg/l (was dem Grenzwert entspricht) an der Tagesordnung, während im Raum Saali - Wittigkofen der nachweisbare Nitratgehalt unter 1 mg/l liegt. Zum Vergleich liegen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser des schweizerischen Mittellandes häufig zwischen 15 und 30 mg/l, im Bereich von infiltrierenden Oberflächengewässern meist unter und in Gebieten von Intensivkulturen im allgemeinen über dieser Bandbreite. Ohne menschliche Einflüsse befindet sich der Nitratgehalt normalerweise nicht wesentlich über 12 mg/l.

Die sehr tiefen Nitratwerte im Gebiet Saali - Wittigkofen sind auf natürliche Reduktionsbedingungen zurückzuführen. Bezeichnenderweise fällt der betroffene Sektor mit demjenigen der geringsten Sauerstoffsättigung zusammen. Im Extremfall werden die Stickstoffverbindungen im Grundwasser bis zum gasförmigen Stickstoff reduziert, der in die Atmosphäre entweicht.

Die unverhältnismässig hohe Nitratbelastung des Grundwassers im Worber Becken muss praktisch ausschliesslich der landwirtschaftlichen Düngung zugeschrieben werden. Zur Ueberdüngung im Einzugsgebiet (Kap. 6.3.3) kommt offenbar eine nicht minder grosse Anwendung von Dünger in der Talsohle. Dabei dürften die Maiskulturen eine erhebliche Rolle spielen, können doch die weit auseinanderliegenden Saatreihen nur einen Bruchteil des flächenhaft ausgebrachten Düngers aufnehmen. Der Ueberschuss wird im flachliegenden Talboden in den Untergrund gespült, wo er je nach Flurabstand und Ausbildung der Deckschichten - die hier meist aus siltigem Kies bestehen - mit einer Verzögerung von Monaten bis Jahren das Grundwasser erreicht (siehe vorangehender Abschnitt). Diese landwirtschaftlichen Verhältnisse sind jedoch nicht ein Phänomen der letzten Jahre. Aus Figur 6.5 ist ersichtlich, dass schon vor etwa 30 Jahren der Nitratgehalt in der Grundwasserfassung Worboden zeitweise über 40 mg/l lag. Bis Mitte der 80er Jahre änderte sich die Situation nicht wesentlich, der Nitratgehalt schwankte meist mit + 5 mg/l um den Grenzwert. In den Jahren 1985 - 1988 musste jedoch ein kräftiger Konzentrationsschub von etwa 10 mg/l festgestellt werden, dies trotz der wiederholten Bemühungen der Gemeinde Worb und des Kantons, den Düngemittelverbrauch zu reduzieren. Ein Lichtblick zeichnete sich indessen 1989 ab, indem die Analysenwerte erstmals wieder absanken und nach über 10 Jahren unter 35 mg/l fielen: 14.2.89 = 40, 11.4. = 37, 7.6. = 34, 8.8. = 34, 11.9. = 35, 2.10. = 35, 25.11. = 38 mg/l. Möglicherweise zahlen sich die Bemühungen für eine umweltgerechtere Bodennutzung doch allmählich aus. Da, wie wiederholt erwähnt, die Aufenthaltszeit des versickernden Wassers beträchtlich sein kann, zeichnen sich nun die Auswirkungen erst nach längerer Zeit ab. Erst die nachfolgenden Jahre werden weisen, ob der Trend von Dauer ist.

Fig. 6.5: Die Entwicklung des Nitratgehaltes in der Grundwasserfassung Worbboden (WV Worb)



d) Sulfate

Da sulfatführende Gesteine im Untersuchungsgebiet kaum vorhanden sind, muss der Sulfatgehalt im Grundwasser weitgehend anthropogenen Ursprungs sein. Nebst einer landwirtschaftlich bedingten Grundbelastung dürften sehr verschiedenartige Umstände für die Sulfatzufuhr verantwortlich zeichnen (Industrien, Lagerumschlagsplätze, Deponien, Kanalisationen etc.). Im Gebiet von Ostermundigen werden offensichtlich mit Abstand am meisten sulfathaltige Stoffe in die Umwelt abgegeben. Die Werte betragen dort häufig über 50 mg/l. Im Gegensatz zu den übrigen Oberflächengewässern (Kap. 6.3.1), die eine Sulfatkonzentration von < 20 mg/l besitzen, erreicht bezeichnenderweise der Lutschenbach 40 mg/l. Bei einem Richtwert von 200 mg/l sind derartige Konzentrationen für die Gesundheit unbedenklich. Allerdings bewirken hohe Sulfatgehalte eine erhöhte Gesamthärte, was sich unliebsam durch hohen Waschmittelverbrauch bemerkbar macht.

Etwa 20 mg/l Sulfat dürften einen vor allem landwirtschaftlich bedingten "background" darstellen. Trotz grossem Düngemiteleintrag liegen z.B. die Sulfatwerte im Worbboden unter 25 mg/l. Der Sulfatgehalt kann somit als ein Indikator für eine nichtlandwirtschaftlich bedingte Grundwasserbelastung verwendet werden. Diese ist offenbar im Raum Ostermundigen und beim Bahnhof Worb SBB bedeutend, im Worber Becken, südwestlich von Vielbringen und bei Wittigkofen - Saali eher gering (selbstverständlich gibt es eine Reihe von Gewässerbelastungen, die sich nicht durch den Sulfatgehalt manifestieren).

e) Oxidierbarkeit

Ein Mass für die organische Belastung des Grundwassers stellt die Oxidierbarkeit dar, sie entspricht dem Verbrauch von Kaliumpermanganat (KMnO₄) in mg/l. Der nicht zu übersteigende Richtwert beträgt gemäss schweizerischem Lebensmittelbuch 6 mg/l. Mit Ausnahme von zwei Beobachtungspunkten, Sod W 30 (603.199/13) bei Wittigkofen und Sondierbohrung T 15 (607.199/9) bei Sinneringen, wiesen alle Probeentnahmestellen eine Oxidierbarkeit von < 4 mg/l auf. W 30 lag knapp über 4 mg/l und nur T 15 überstieg mit 8.0 mg/l den Richtwert. Die im ziemlich schwerdurchlässigen Moränenmaterial liegende Sondierbohrung T 15 könnte möglicherweise lokal verschmutzt worden sein und dürfte nur für ein kleines Gebiet einen repräsentativen Wert darstellen.

f) Sauerstoffsättigung

Aus technischen Gründen sollte die Sauerstoffsättigung nach Möglichkeit 60 % erreichen (Richtwert). Damit können mit Sicherheit Ausfällungen von Eisen- und Manganverbindungen im Leitungsnetz ausgeschlossen werden. Gesundheitlich ist jedoch die Sauerstoffsättigung ohne Bedeutung. Sauerstoffarmut ist meist auf zwei Ursachen zurückzuführen. Entweder ist das Grundwasser durch organische Stoffe belastet, was zu einer mikrobiologischen Sauerstoffzehrung führt, oder tonige, bis in den Bereich des Grundwasserspiegels reichende Deckschichten verhindern die natürliche Belüftung des Grundwassers und den Gasaustausch. Im Worblental dürfte nur letzteres von Bedeutung sein, vor allem, wie schon erwähnt, im Gebiet Wittigkofen - Saali. Grösstenteils liegt jedoch die Sauerstoffsättigung im Untersuchungsgebiet über 60 % oder zumindest über 40 %, was bei wenig belastetem Grundwasser meist zu keinen Ausfällungserscheinungen führt. Andernfalls muss das gefasste Wasser belüftet werden, wie das z.B. bei der Fassung Bachstrasse der WV Ostermundigen der Fall ist.

6.3.3 Quellen

Die vorliegende Studie hatte vornehmlich die Untersuchung der Grundwasserverhältnisse zum Gegenstand. Da jedoch ein grosser Teil des Quellwassers auch dem Grundwasser zufliesst, wurde die Mineralisierung des Quellwassers etwas näher überprüft. Dies umso mehr, als der Anlass der hydrogeologischen Abklärungen im Worblental weitgehend auf gutemässige Probleme zurückzuführen war (Kap. 1.1).

Von grösstem Interesse war vor allem die Ermittlung der Nitratabhängigkeit. Welches sind die hauptsächlichen Kriterien, die den Nitratgehalt beeinflussen? Zur Beantwortung dieser Frage eignen sich Quellen viel besser als das Grundwasser, ist doch ihr Einzugsgebiet bedeutend leichter überblickbar. Dass die landwirtschaftliche Düngung die Hauptursache für die hohen Nitratgehalte darstellt, haben zahlreiche Untersuchungen in der Schweiz und anderswo genügend bewiesen.

Tab. 6.2: Kennwerte der Herolfingen-Gysenstein-Quellen

Quelle Nr.	Koord.	Kote m.ü.M.	Einzugsgebiet			Grösse (ha)	Schüttung 2)		Nitratgehalt 2) mg/l
			Bewirtschaftung 1)				(l/min)	(l/min/ha)	
			AG	W	F(%)				
HG 1	612.180/194.370	735	40	-	60	18.5	60	3.2	30
HG 2	612.100/194.450	725	100	-	-	1.3	9.5	7.3	31
HG 3	611.725/194.600	725	100	-	-	1.0	2.6	2.6	43
HG 4	611.650/193.850	725	70	30	-	37.0	240	6.5	34
HG 5	611.840/193.710	745	90	10	-	4.5	15	3.3	30
HG 6	611.850/194.220	720	50	20	30	37.0	220	5.9	29
HG 7	611.200/193.340	800	50	50	-	3.5	24	6.8	32
HG 8	612.025/193.430	765	70	20	10	8.3	20	2.4	33
HG 9	612.130/193.430	780	40	60	-	7.8	22	2.8	35
HG 10	612.430/193.970	820	-	-	100	3.5	27	7.7	19
HG 11	611.830/193.300	745	85	15	-	7.9	36	4.6	28
HG 12	611.800/193.250	745	85	15	-	3.8	8.5	2.2	34
HG 13	612.285/193.300	810	70	30	-	5.5	10.5	1.9	26
HG 14	612.550/193.500	865	85	15	-	1.0	4.2	4.2	37
HG 15	612.440/193.225	865	15	-	85	3.8	20	5.3	30
HG 17	612.340/194.190	755	10	-	90	8.8	48	5.4	31

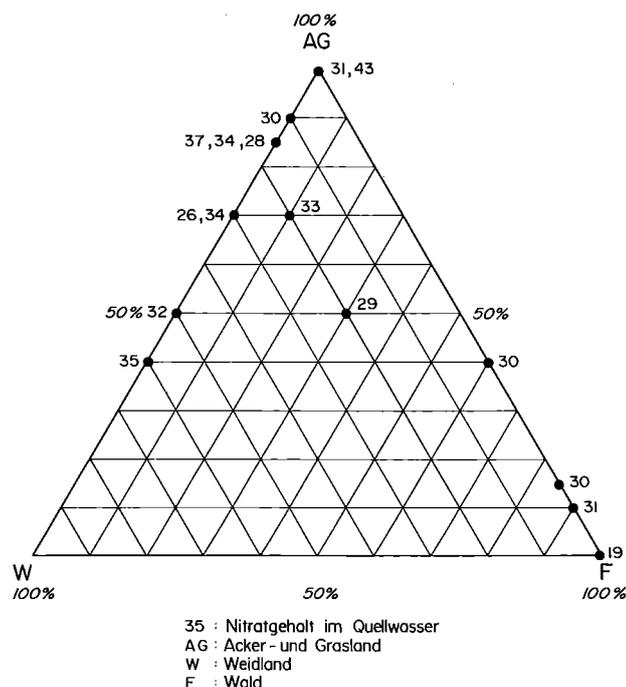
1) Situation August 1983: AG: Ackerbau und Grasbau
W: Weidland
F: Forstwirtschaft, Wald

2) Ende Juli/anfangs August 1983, total 767.3 l/min

Um das Problem im Worblental etwas lokalspezifisch zu analysieren, wurde versucht, den Einfluss von sekundären Kriterien zu ermitteln, wie z.B. Lage, Vegetation und Ueberdeckung. Zu diesem Zweck wurden zwei unabhängige Abklärungen durchgeführt. Zunächst wurden im obersten Einzugsgebiet des Bächu, der sich durch einen besonders hohen Nitratgehalt auszeichnet (Kap. 6.3.1), d.h. im Raum Herolfingen - Gysenstein, 16 gefasste Quellen überprüft. Anschliessend erfolgte eine Erhebung bei 24 gefassten, über das gesamte Worblentalgebiet verstreuten Quellen. Von vornherein war klar, dass mit diesen beschränkten Zusatzuntersuchungen, die nur zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurden, keine umfassenden, allgemeingültigen Resultate erwartet werden konnten, vielleicht aber gewisse Tendenzen und Indizien, die die Einleitung von Sanierungsmassnahmen erleichtern würden.

Die Herolfingen-Gysenstein-Quellen sind in der Tabelle 6.2 aufgeführt. Bei ihnen wurden die Einzugsgebietsgrösse, Bewirtschaftung, Schüttung und der Nitratgehalt Ende Juli/anfangs August 1983 erhoben (eine längere Erhebung über verschiedene Jahreszeiten hätte den Rahmen dieser Zusatzabklärung gesprengt). In Figur 6.6 wurde die Bewirtschaftung im Einzugsgebiet bezüglich des Nitratgehaltes dargestellt. Eindeutige Tendenzen kommen dabei nicht zum Ausdruck, jedenfalls nicht zwischen Ackerbau/Grasbau einerseits und Weidland andererseits. Sofern sich das Einzugsgebiet nicht vollständig im Wald befindet, erreicht der Nitratgehalt im Quellwasser nicht einen sonderlich tiefen Wert, was erstaunlich ist, liegt doch der Wald auf einer Hügelkuppe. Auch die 19 mg/l Nitrat für ein reines Waldgebiet sind merkwürdig hoch (Ausbringen von überschüssigem Dünger oder Ernterückständen im Wald?)

Fig. 6.6: Quellgruppe Herolfingen - Gysenstein, Beziehung des Nitratgehaltes im Quellwasser zur Bewirtschaftung der Einzugsgebiete



Die Quellschüttung pro Flächeneinheit des Einzugsgebietes gibt an, wieviel Niederschlagswasser nach einer relativ kurzen Bodenpassage (grösstes Einzugsgebiet 37 ha) wieder an die Oberfläche kommt. Bei einer geringen Wasser-Rekuperation dürften ein grosser Oberflächenabfluss und möglicherweise eine tiefe Versickerung vorliegen (bei gleichbleibender Evapotranspiration). Bei einer langsamen oder geringen Durchströmung des Untergrundes wäre eher eine grössere Nitratkonzentration im Wasser zu erwarten als bei einem raschen Durchfluss. Aus Figur 6.7 kann jedoch diesbezüglich keine Tendenz erkannt werden.

Tabelle 6.3 vermittelt eine Uebersicht der zweiten Untersuchungsserie der über das gesamte Untersuchungsgebiet verstreuten Quellen. Darunter befinden sich bekannte, alte, z.T. sehr ergiebige Quellfassungen, wie z.B. die Rothus-Quelle (Gurit-Worbla AG), die Flugbrunnen-Quelle (Klinik Waldau) oder die Schmid-Quelle (Gemeinde Muri). Die Schüttung der Quellen ist sehr variabel und liegt zwischen 5 und 1'000 l/min. Die saisonbedingten Schwankungen erreichen im Extremfall einen Faktor von 5 - 6 bei einzelnen Quellen. Häufig werden grosse Ergiebigkeitsschwankungen mit oberflächennahen Anspeisungen in Zusammenhang gebracht, was wiederum einen grösseren Nitrateintrag begünstigen könnte. Diesbezüglich können jedoch keine Tendenzen ausgemacht werden.

Während die Karbonathärte nur zwischen 25 und 32°frz variiert, schwanken die vorwiegend anthropogen bedingten Nitratgehalte zwischen 27 und 60 mg/l bedeutend stärker. Verglichen mit dem Grundwasser des Untersuchungsperimeters liegen die Nitratwerte der Quellen somit bedeutend höher (Kap. 6.3.1). Sieht man von einer Waldquelle mit 20 mg/l ab, betragen die Minimalbelastungen 27 mg/l, was erstaunlich ist. Dies umso mehr, als die Wasserproben während der Vegetationsperiode erhoben wurden. Erfahrungsgemäss dürfte der Nitratgehalt ausgangs Winter noch bedeutend höher liegen.

Die Fassungstiefe hat offenbar keinen Einfluss auf die Nitratführung, wie dies schon weiter oben angetönt wurde. Jedenfalls ist gemäss Figur 6.8 keine Abhängigkeit erkennbar. Nicht einmal das in Molassestollen gefasste Quellwasser macht mit einem Nitratgehalt von 28 - 35 mg/l eine Ausnahme.

Gebietsmässige oder geographische Abhängigkeiten sind ebenfalls nicht erkennbar, was vom Untergrundaufbau auch nicht zu erwarten wäre, handelt es sich doch durchwegs um eine Hügellandschaft mit ähnlichem Aufbau, d.h. um eine mehr oder weniger mächtige, über der Molasse liegende Moränendecke (Kap. 2). Auch die Düngung dürfte in allen Gebieten durchschnittlich nach denselben Gesichtspunkten erfolgen. Jedenfalls ist z.B. zwischen dem Gebiet Bolligen und Worb kein klarer Unterschied bezüglich der Auswirkung auf die Wasserqualität zu erkennen.

Positiv fällt bei allen Wasseranalysen auf, dass keine chemische Verunreinigungsanzeichen (Nitrit, Ammonium) festgestellt werden konnten. Dies, obwohl die Probeentnahmen in eine Zeit von verschiedenen, teils heftigen Niederschlägen fiel.

Abschliessend kann somit gefolgert werden, dass im Worblental weder die allgemeine Lage und Schüttung der Quelle noch die Fassungstiefe und Bewirtschaftungsart des Bodens einen signifikanten Einfluss auf den Nitratgehalt des Quellwassers haben. Diese Kriterien vermögen offensichtlich die Auswirkung der Düngung nicht wesentlich zu beeinflussen. Es ist vielmehr der Düngemittelüber-

Tab. 6.3: Chemismus von Wasserproben ausgewählter Quellen erhoben vom 12. - 20.8.1986

Gemeinde	Bezeichnung	Nummer		Koord.	Schüttung l/min	Kh f	Cl mg/l	NO3 mg/l	Oxy mg/l	NO2 mg/l	NH4 mg/l
		intern	WEA								
Muri	Amselberg	1	606.199/3	606.140/199.050	40 - 230	30.2	13	27	1.2	<	<
Ostermundigen	Rothus	5	603.201/48	603.990/201.880	600 - 1500	28.6	32	34	2.9	<	<
Bolligen	Sternen	3	604.202/15	604.535/202.840	5 - 25	32.1	24	39	-	<	<
"	Flugbrunnen	4a	605.202/5	604.560/202.300	100 - 300	31.0	18	34	1.7	<	<
"	Schulhaus	4b	604.202/6	604.710/202.700	350 - 550	31.5	19	31	1.7	<	<
"	Löllistuden	4c	607.202/2	607.465/202.190	20 - 50	27.7	19	60	2.0	<	<
"	Teufenmatt	6	603.203/3	603.830/203.650	30 - 80	28.9	15	27	-	<	<
Stettlen	Riedli	7	605.201/8	605.781/201.250	70 - 120	30.8	14	32	2.0	<	<
"	Schattsite	8	605.200/6	605.910/200.460	70 - 120	31.0	15	28	1.4	<	<
Vechigen	Dentenberg	9a	608.198/30	608.150/198.980	20 - 50	32.1	10	32	-	<	<
"	Schosshalde	9b	607.198/6	607.525/198.985	150 - 250	31.8	16	51	-	<	<
"	Stämpbach	10	608.200/23	608.790/200.325	5 - 20	27.4	27	32	-	<	<
"	im Gässli	11	608.199/3	608.830/199.730	20 - 60	29.4	20	29	-	<	<
"	Tannholz	12	609.199/2	609.700/199.710	40 - 70	27.6	10	20	-	<	<
"	Steinacher	13	609.198/9	609.700/198.950	50 - 120	32.5	17	32	-	<	<
"	Obermoos	14	607.200/11	607.670/200.900	40 - 150	33.3	18	44	-	<	<
Worb	Mattstei	15a	610.198/3	610.610/198.530	40 - 110	25.3	13	35	-	<	<
"	Hasli	15b	610.198/1	610.610/198.695	10 - 20	27.2	14	35	-	<	<
"	Gage-Löllli	16	611.197/5	611.850/197.600	80 - 200	30.0	14	27	-	<	<
"	Richigen	17	610.196/1	610.720/196.755	250 - 700	29.7	20	40	-	<	<
"	Gsteig-Moos	18	610.195/1	610.680/195.980	70 - 130	30.1	19	50	-	<	<
"	Wattenwil	19	610.199/1	610.650/199.270	30 - 80	24.4	16	48	-	<	<
Rubigen	Obermoos	20	610.194/2	610.520.194.500	150 - 400	31.9	13	27	1.2	<	<
Schlosswil	Schmid	22	612.195/14	612.750/195.570	300 - 500	32.1	18	47	-	<	<

schuss, der sich weitgehend unabhängig von allen übrigen Randbedingungen direkt und ungedämpft im Quellwasser bemerkbar macht.

Fig. 6.7: Quellgruppe Herolfingen - Gysenstein, Beziehung des Nitratgehaltes zur Quellschüttung

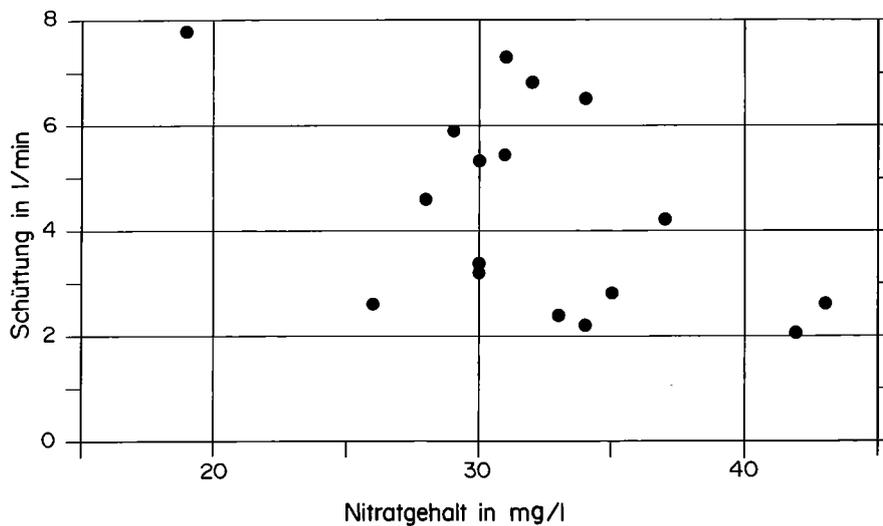
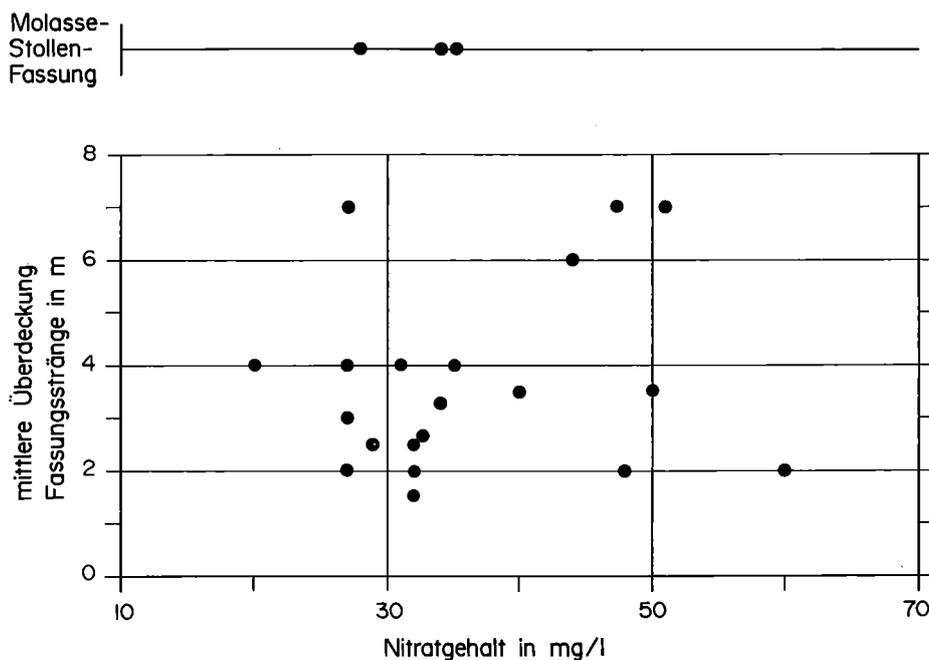


Fig. 6.8: Ausgewählte Quellen Worblental, Beziehung des Nitratgehaltes zur Fassungsstiefe



7. GRUNDWASSERBILANZ

7.1 Worblental

Als Basis für die Berechnung der Grundwasserabflussmengen dienen die geologischen Querprofile (Beilage 3), die Grundwasserisohypsen (Beilage 2), die k-Wert-Bestimmungen aus Pumpversuchen (die meisten k-Werte sind aus der Beilage 1 ersichtlich) und Abflussmessungen in Oberflächengewässern. Zwischen den einzelnen Querprofilen wurde aufgrund der übrigen Felddaten interpoliert.

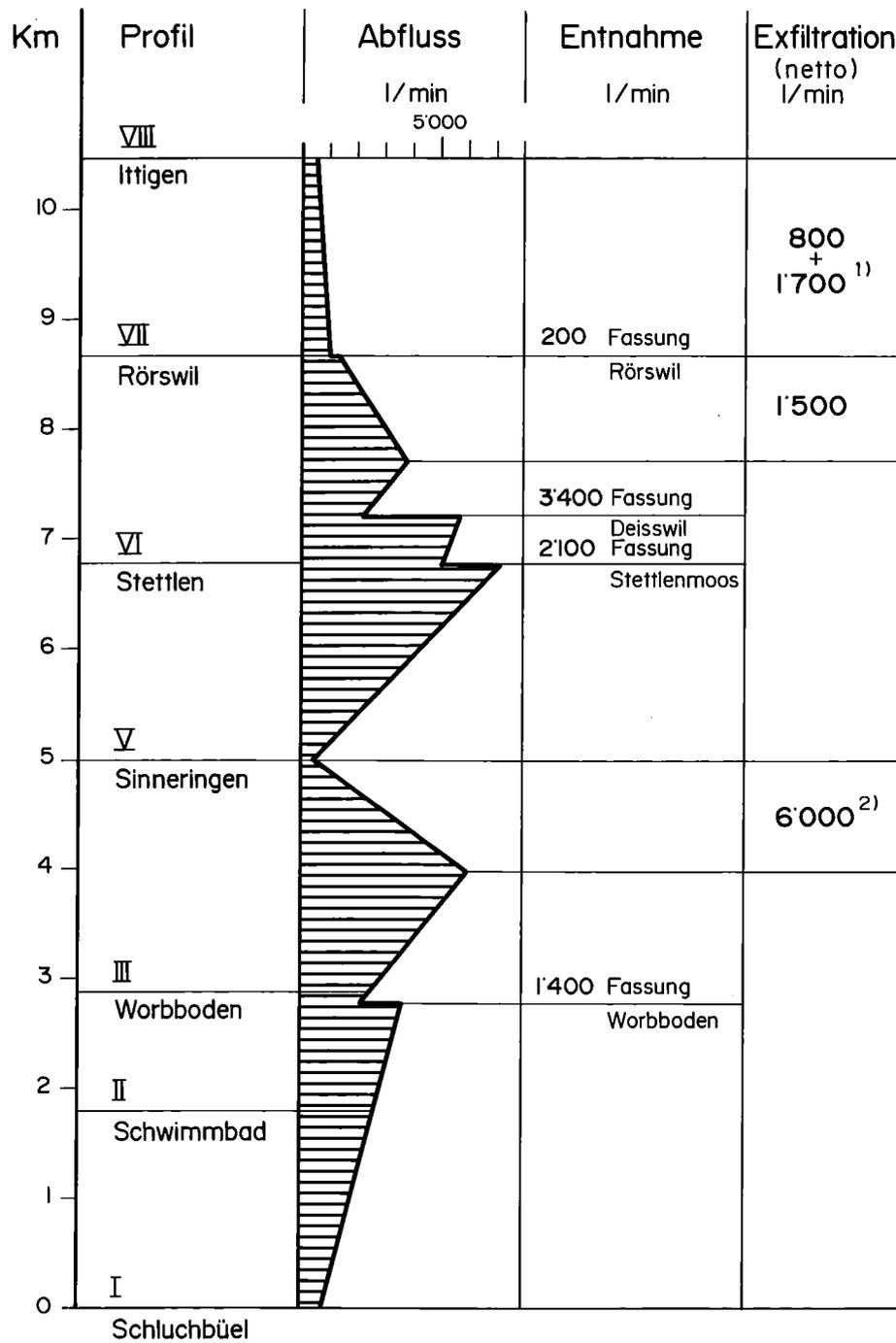
Für das Worblental zwischen Schluchbüel und Ittigen sind die Ergebnisse zusammenfassend in der Figur 7.1 dargestellt. Es handelt sich um die Bilanz bei Niederwasser, da die Abflussmessungen und Grosspumpversuche unter diesen Bedingungen ausgeführt wurden. Die durchschnittliche Genauigkeit der angegebenen Abflussmengen dürfte dank einem über mehrere Monate dauernden Grosspumpversuch für das Gebiet Stettlen - Deisswil $\pm 10\%$ und für die übrigen Gebiete $\pm 20\%$ betragen, wobei die angegebenen Mengen tendenziell eher zu gering als zu gross sein dürften. Die Entnahmemengen der Fassungen entsprechen mehrjährigen Durchschnittswerten (Kap. 8.2).

Bei Niederwasser erfolgt die Anspeisung des Grundwassers ausschliesslich durch Niederschläge, Hang- und Quellwasser sowie Grundwasserzuflüsse aus Seitenrinnen. Unter Niederwasserbedingungen konnte nirgends eine Infiltration der Worble oder des Bächu gemessen werden. Zwischen Nesselbank und Sinneringen sowie unterhalb Deisswil wird die Grundwasserabflussmenge durch das Durchflussvermögen des Grundwasserleiters bestimmt, wobei der Ueberschuss in die Worble exfiltriert (Kap. 5.2). In der Figur 7.1 ist die Nettoexfiltration angegeben, d.h. die Exfiltration abzüglich allfälliger, lokaler Infiltrationen.

In Zahlen ausgedrückt, ergibt sich für das Worblental zwischen Schluchbuel und Ittigen folgende Gesamtbilanz bei Niederwasserstand:

	Zuflüsse		Wegflüsse	
	l/min	%	l/min	%
Grundwasserstrom Profil I	800	5		
Exfiltration netto Worble			8'300	53
Entnahme Fassungen			7'100	46
Anspeisungen (Niederschlag, Hang- und Quellwasser, Grundwasser aus Seitenrinnen)	15'000	95		
Grundwasserwegfluss Profil VIII			400	1
	15'800	100	15'800	100

Fig. 7.1: Bilanz Grundwasserstrom Worblental bei Niederwasserverhältnissen



1) laterale Exfiltration aus dem Ostermündiger Becken

2) wovon ca. 1'100 l/min aus dem Lindental

Wie schon erwähnt (Kap. 5.2), ist zu erwarten, dass bei höheren Wasserständen auf verschiedenen Abschnitten, insbesondere jedoch stromaufwärts Worbboden, eine Bachwasserinfiltration einsetzt und als Folge davon oberhalb der "Flaschenhalse" Sinneringen und Rörswil die Exfiltration stark zunimmt. Um die Abflüsse bei diesen Bedingungen einigermaßen quantifizieren zu können, wären indessen aufwendige Messungen notwendig gewesen (befestigte Flussprofile, Messbrücken, Flügelmessungen), die den Rahmen der Untersuchungen gesprengt hätten. Da zudem für die Grundwasserbewirtschaftung vor allem Verhältnisse bei Niederwasser massgebend sind, beschränkte sich die Erhebung auf die vorliegenden Daten, d.h. auf eine Niederwasser-Bilanz.

7.2 Uebrige Gebiete

Gümliger Becken:

Das mitten durch das Gümliger Becken verlaufende Profil XI liegt wahrscheinlich an der Stelle mit dem grössten Durchflussvermögen. Der Grundwasserleiter ist aber nur auf der E-Seite einigermaßen klar abgegrenzt, während auf der W-Seite der Stauer Richtung Muri und Aare absinkt, was eine entsprechende Abwicklung der Grundwasserströmung verursacht. Da sich der Durchflussquerschnitt in Richtung Rinnenachse (Wittigkofen, Melchenbühl) stark verringert, findet namentlich bei höheren Wasserständen ein Ueberlauf gegen Westen statt. Bei Niederwasser wird das Bilanzierungsprofil X von etwa 1'100 l/min durchflossen. Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Entnahme von 1'050 l/min durch die Fassungen der Firma HACO ergibt sich damit eine Feldergiebigkeit für den oberen Teil des Gümliger Beckens von knapp 2'200 l/min, oberes Grundwasserstockwerk eingerechnet.

Für die beiden unteren Teile des Gümliger Beckens wurden auf der Höhe des Profils XI folgende Durchflussmengen ermittelt:

Teilbecken Melchenbühl - Saali	1'500 l/min	+ 25 %
Teilbecken Tiefenmösli - Wittigkofen	1'800 l/min	- 10 %

Da vom oberen Gümligenbecken bestenfalls 200 - 300 l/min in das Teilbecken Murifeld - Saali fliessen und etwa 800 - 1'000 l/min das Teilbecken Tiefenmösli - Wittigkofen erreichen, ergibt sich somit für das gesamte Gümliger Becken eine Bilanz von total etwa 4'300 l/min.

Ostermundiger Becken:

Dank verschiedenen Dauerpumpversuchen konnte der Durchfluss beim Engpass zwischen Schosshalde und Ostermundigenberg, d.h. im Profil XII eingangs Ostermundiger Becken, recht genau bestimmt werden. Er dürfte bei einer Genauigkeit von + 10 % bei Niederwasser 2'200 l/min erreichen.

Obwohl der NW-Rand des Beckens nicht definiert ist, sind in dieser Richtung aufgrund der Grundwasserspiegellage und des mutmasslichen geologischen Aufbaus keine grösseren Wegflüsse zu erwarten. Beim mitten durch das Ostermündiger Becken liegenden Profil wurde ein Durchfluss von 1'800 l/min berechnet. Unter Berücksichtigung der Grundwasserentnahme von durchschnittlich total 1'100 l/min ergibt sich somit eine potentielle Durchflussmenge von 2'900 l/min + 20 %. Zum überwiegenden Teil exfiltriert das Grundwasser in den Lutschenbach (Rothus-Quellen) und in die Worble. Stromabwärts des Profils XII fliessen dem Ostermündiger Becken aus östlicher Richtung (Rüti, Hätteberg und Worblental) noch etwa 700 l/min zu (Feldergiebigkeit Fassung Rörswil, 604.201/19, ca. 450 l/min), so dass sich die gesamte Feldergiebigkeit auf etwa 3'600 l/min beläuft (inkl. Zufluss Gümliger Becken).

Vielbringer Becken:

Aufgrund der fünf im Rahmen dieser Untersuchungen ausgeführten Sondierbohrungen, den verschiedenen Pumpversuchen und den geophysikalischen Abklärungen erreicht die Feldergiebigkeit dieses Grundwasservorkommens etwa 2'500 l/min ± 25 %.

Unteres Worblental:

Zwischen Profil VIII und IX (Papiermühle) wurde der Grundwasserabfluss auf ca. 500 l/min berechnet.

Lindental:

Auf der Höhe des Profils IV, d.h. bei der Grundwasserfassung der WAVEST, beträgt der Durchfluss 1'700 l/min + 20 % unter Einbezug einer durchschnittlichen Fördermenge von 600 l/min. Diese Abflussmenge wurde mittels Durchflussquerschnitt und einer Reinterpretation alter Pumpversuchsergebnisse bestimmt. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen während des Pumpversuchs (u.a. Niederschläge) musste die bis anhin postulierte Feldergiebigkeit stark reduziert werden. Dem Worblental fliessen somit bei Niederwasser etwa 1'100 l/min zu, die grösstenteils in die Worble exfiltrieren dürften.

7.3 Zusammenfassung

Die Feldergiebigkeit bei Niederwasserbedingungen erreicht für die einzelnen Gebiete gesamthaft folgende Mengen:

Worber Becken netto (-Zufluss Lindental)	4'900 l/min
Deisswiler Becken	8'500 l/min
Gümliger Becken:	
- Oberes Becken (bis Füllerich)	2'200 l/min
- Melchenbühl - Saali	1'500 l/min
- Tiefenmösli - Wittigkofen	<u>1'800 l/min</u>
- Total netto	4'300 l/min
Ostermundiger Becken netto (- Zufluss Gümliger Becken)	1'800 l/min
Vielbringer Becken	2'500 l/min
Unterstes Worblental	500 l/min
Lindental	<u>1'700 l/min</u>
Totale Feldergiebigkeit	<u>24'200 l/min</u> =====

8. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

8.1 Grundwasserdargebot

Das gesamte Grundwasserdargebot entspricht im allgemeinen der totalen mittleren Grundwasserabflussmenge. Infolge jahreszeitlich bedingter Abflussschwankungen und aus fassungstechnischen Gründen kann diese Menge jedoch nicht dauernd genutzt werden. Andererseits lässt sich die Infiltration aus Oberflächengewässern durch eine künstlich erzeugte Grundwasserspiegelabsenkung nicht erhöhen, da im Untersuchungsgebiet entweder der Flurabstand zu gross ist (nur perkolative Infiltration wie im oberen Worber Becken) oder ein kolmatiertes Bachbett vorliegt.

Wie nachstehend ersichtlich ist, kann das nutzbare Grundwasserdargebot, d.h. die Wassermenge, die ständig ohne Nachteil entnommen werden kann, beinahe der bilanzierten Grundwasserabflussmenge bei Niederwasser gleichgesetzt werden (Kap. 7).

Worber Becken:

Ein im Dezember 1986 bei Niederwasserstand und Trockenwetter ausgeführter Dauerpumpversuch in der Fassung Worboden der WV Worb mit 3'800 l/min ergab einen Absenkungstrichter, der sowohl den Ost- wie Westrand des Grundwasserleiters erreichte. Somit wurde wahrscheinlich annähernd die gesamte Durchflussmenge des Grundwasserleiterquerschnittes auf der Höhe des Brunnens erfasst. Nach 10 Tagen Pumpdauer wurde kein Beharrungszustand erreicht und die untere Kulmination lag im Brüelmoos, ca. 700 m entfernt. Die Feldergiebigkeit war somit eindeutig überschritten. Für den Worboden, d.h. für das Worblental bis Büeli (Vechigen), dürfte diese bestenfalls 3'500 l/min betragen.

Wie mehrfach erwähnt, exfiltrieren bei Niederwasser zwischen den Einmündungen des Vechigen- und Lindentalbaches 6'000 l/min in die Worble. Davon entfallen ca. 1'100 l/min auf den Grundwasserstrom aus dem Lindental. Werden die 3'500 l/min aus dem oberen Worblental in Rechnung gestellt, verbleiben noch 1'400 l/min, die aus dem Gebiet Moos und der Nordabdachung des Dentenberges zuströmen müssen.

Unter Berücksichtigung einer Sicherheitsmarge kann folglich nachstehendes nutzbares Grundwasserdargebot postuliert werden:

Oberes Worblental (Worboden)	3'400 l/min
Gebiet Moos - Nesselbank netto (ohne Grundwasserzufluss aus dem Lindental)	<u>1'100 l/min</u>
Total	<u>4'500 l/min</u> =====

Deisswiler Becken:

Vom 1. Juni bis 24. Oktober 1986 wurde im Deisswiler Becken ein Grosspumpversuch gefahren, wobei dauernd Mengen zwischen 4'500 und 7'800 l/min in den drei Fassungen der Kartonfabrik Deisswil (Stettlenmoos, Deisswil, Rörswil) gefördert wurden. Dabei waren zwei Trockenzeiten von 16 und 30 Tagen zu verzeichnen. Erstaunlicherweise gelang es auch während der längeren niederschlagsfreien Periode nicht (19.9. - 18.10.86), mit 7'000 l/min das gesamte Becken zu beeinflussen. Pumpbedingte Absenkungen waren etwa 700 m stromaufwärts des Pumpwerks Stettlenmoos und ca. 200 m stromabwärts des Fabrik-Pumpwerks Rörswil zu verzeichnen. Schon in früheren Jahren wurden verschiedene Simultanpumpversuche durchgeführt, wobei das Maximum von 14'000 l/min während zehn Tagen gefördert wurde, allerdings mit einer starken stetigen Absenkung. Bei verschiedenen Pumpversuchen mit 8'000 l/min konnte aber jeweils der Beharrungszustand ohne weiteres erreicht werden.

Obwohl die Worble zumindest bei Niederwasserstand nicht merklich infiltriert, kann eine durch die Grundwasserabsenkung hervorgerufene induzierte Infiltration von Flusswasser nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Mit einem orographischen Einzugsgebiet von 9 km² ist andererseits eine Anspeisung des Deisswiler Beckens mit 8 - 10'000 l/min auch ohne externe Zuflüsse möglich, verglichen mit den übrigen Grundwasserbecken aber eher ausserordentlich. Aufgrund der hydraulischen Daten und des Grundwasserchemismus besteht aber kein Zusammenhang mit dem Worber Becken.

Aufgrund der zahlreichen Pumpversuche und Auswertungen ist die mögliche Entnahme derart gut belegt, dass das nutzbare Grundwasserdargebot der Bilanzmenge gleichgesetzt werden darf und somit 8'500 l/min beträgt.

Gümliger Becken:

Aufgrund der Bilanzierungsdaten werden folgende nutzbare Grundwasserdargebotsmengen postuliert:

Oberes Becken (bis Füllerich)	2'000 l/min
Teilbecken Melchenbühl - Saali	1'200 l/min
Teilbecken Tiefenmösli - Wittigkofen	<u>1'600 l/min</u>
Gümliger Becken netto	3'800 l/min
	=====

Obwohl für die Fassungen der Firma HACO die Feldergiebigkeit nur etwa 1'500 l/min beträgt, darf mit den peripheren Gebieten (u.a. Gümligenfeld) gesamthaft ein gesichertes Dargebot von 2'000 l/min für das obere Gümliger Becken angenommen werden.

Einwandfrei sind die 1'600 l/min durch Pumpversuche für das Teilbecken Tiefenmösli - Wittigkofen belegt. Obwohl die Feldergiebigkeit etwas höher liegt, darf wegen Setzungsgefahr bei bestehenden Bauten ein gewisser Absenkungsbetrag nicht überschritten werden, was die zulässige Entnahmemenge limitiert.

Beim Teilbecken Melchenbühl - Saali basieren die postulierten 1'200 l/min vor allem auf dem Bilanzierungsprofil P XI. Sie schliessen das weiter stromabwärts liegende Murifeld nicht ein.

Ostermundiger Becken:

Ohne Zufluss aus dem Teilbecken Tiefenmösli - Wittigkofen können mit Sicherheit dauernd 1'500 l/min entnommen werden. Mit diesem Zufuss sind ca. 3'100 l/min verfügbar.

Vielbringer Becken:

Mit 2'500 l/min entspricht das nutzbare Dargebot der Feldergiebigkeit, die sehr konservativ bestimmt wurde.

Unterstes Worblental:

In Anbetracht der Exfiltrationstendenz wurde das nutzbare Dargebot der Bilanz gleichgesetzt.

Lindental:

Dank einer Reinterpretation von alten Pumpversuchen (Kap. 7.2), die den gesamten Grundwasserleiterquerschnitt beeinflussten, lässt sich das nutzbare Grundwasserangebot auf mindestens 1'500 l/min beziffern.

Zusammenfassend beträgt somit das nutzbare Grundwasserangebot im Untersuchungsgebiet netto, d.h. ohne Zufluss aus benachbarten Becken:

Worber Becken	4'500 l/min
Deisswiler Becken	8'500 l/min
Gümliger Becken (inkl. Teilbecken)	3'800 l/min
Ostermundiger Becken	1'500 l/min
Vielbringer Becken	2'500 l/min
Unterstes Worblental	500 l/min
Lindental	<u>1'500 l/min</u>
Total	<u>22'800 l/min</u>

8.2 Grundwassernutzung

8.2.1 Bestehende Nutzung

Tabelle 8.1 vermittelt eine Uebersicht der konzessionierten Grundwasserentnahmen. Insgesamt bestehen Konzessionen zur Förderung von 14'540 l/min Trinkwasser, 18'176 l/min Brauchwasser und zur Erzeugung von 1'889 MJ/h Energie. Die effektive Entnahmemenge, Wärmegewinnung ausgenommen, ist jedoch nur ein Bruchteil davon, da die Konzession meist der installierten Pumpenleistung entspricht, die aber nur in einzelnen Fällen zur Abdeckung von Bedarfsspitzen dient. Das für die Energiegewinnung benötigte Grundwasser wird wieder versickert und beeinträchtigt daher die Grundwasserbilanz nicht.

Insgesamt werden im Untersuchungsgebiet effektiv etwa 10'500 - 11'000 l/min gebraucht, also knapp die Hälfte des nutzbaren Grundwasserangebot, oder etwa 1/3 der konzessionierten Entnahmemenge. Einige Grundwasserpumpwerke werden überhaupt nicht mehr verwendet und nur für eine allfällige Notwasserversorgung aufrecht erhalten, wie z.B. die Fassungen der WV Muri im Gümligenfeld oder das Pumpwerk Rörswil der Kartonfabrik Deisswil.

8.2.2 Grundwasserbewirtschaftung

Die Bewirtschaftung eines Grundwasservorkommens hängt primär von hydrogeologischen Verhältnissen, d.h. vom nutzbaren Grundwasserangebot, dem Speichervolumen des Grundwasserleiters und der Grundwasserqualität ab. In zweiter Linie sind sodann die siedlungswasserwirtschaftlichen Aspekte zu berücksichtigen.

Dank dem meist grossen Reservoirvolumen können die Grundwasservorkommen vorübergehend übernutzt werden, was teilweise in der hohen konzessionierten Entnahmemenge zum Ausdruck kommt (Tab. 8.1). So können z.B. aus allen Grundwasserbecken des Untersuchungsgebietes während Wochen ohne weiteres Mengen gefördert werden, die etwa dem doppelten Grundwasserangebot entsprechen. Da die Grundwasserreserven meist grösser als die jährlichen Grundwasserabflussmengen sind, spielen Verbrauchsspitzen für den Grundwasserhaushalt eine untergeordnete Rolle; massgebend ist der durchschnittliche Wasserbezug, der das langfristig nutzbare Dargebot nicht überschreiten darf.

Nachdem im Worboden der Nitratgehalt möglicherweise dauernd unter den Grenzwert fallen wird, könnte das Grundwasser im gesamten Worblental den chemischen Anforderungen an Trinkwasser entsprechen. Einige Vorbehalte sind allerdings in überbauten Gebieten hinsichtlich potentiellen Kontaminationen, namentlich mit organischen Lösungsmitteln (Kap. 6.3.2), zu machen (siehe unten). Zudem führen Grundwässer mit einer sehr geringen Sauerstoffsättigung (< 20 - 30 %) häufig gelöstes Eisen und Mangan, was zu unliebsamen Ausfällungserscheinungen im Leitungsnetz und in den Fassungen führt; dies ist jedoch nur im Gebiet von Wittigkofen ausgeprägt (Beilage 4). Die Grundwasserbewirtschaftung wird somit durch den Grundwasserchemismus nur wenig eingeschränkt.

Tab. 8.1: Konzessionierte Grundwasserentnahmen (Stand Dezember 1989)

Gemeinde, Verbraucher	Kat. 3)	Koordinaten	Konzessionierte Leistung		Entnahmemenge 4) Ø 1986-1988 l/min
			l/min	MJ/h	
<u>Worb:</u>					
Einwohnergemeinde	A	608.820/198.350	8'000		1'380
Einwohnergemeinde	A	609.450/197.160	30		
Otto Läderach AG	B	609.120/198.725	500		ca. 100
Beyeler	D	609.260/197.380		65	v
Meienhofstatt	D	609.500/197.380		274	v
<u>Vechigen:</u>					
Oeffentl. WV WAVEST	A	608.330/200.500	2'000		630
<u>Stettlen:</u>					
Kartonfabrik Deisswil	B	606.130/200.580	5'000		2'060
Kartonfabrik Deisswil	B	605.800/200.560	5'000		3'480
<u>Ittigen:</u>					
Worbla AG 1)	B	603.920/201.800	1'900		ca. 1'200
Worbla AG	B	602.550/202.830	420		ca. 350
Kaufmann	D	603.210/202.410		52	v
<u>Ostermundigen:</u>					
Einwohnergemeinde 2)	A	603.640/200.090	2'700		1'050 2)
Einwohnergemeinde	A	604.600/201.640	800		150
Kartonfabrik Deisswil	B	605.250/201.400	2'000		-
Künti AG	B	604.430/201.130	450		v
Ponzio	D	603.480/199.600		29	v
Düby	D	603.480/199.600		29	v
Lindendorf 2	D	603.860/201.040		1'440	v
Einwohnergemeinde	F	603.780/200.520	50		
<u>Muri:</u>					
Einwohnergemeinde	A	605.360/197.160	680		-
Einwohnergemeinde	A	605.180/197.800	330		-
HACO AG	B	605.370/197.920	2'550		1'040
Kühlwasser Turbenweg	B	605.000/197.920	126		v
<u>Bern:</u>					
Weltpostverein	B	602.640/198.640	180		4
Total			32'536	1'889	ca. 11'500

1) Rothus-Quelle, Grundwasseraustritt ins Lutschenbachtälli

2) alte Grundwasserfassung Tägeli nicht mehr in Betrieb, dafür Grundwasserfassung an der Bachstrasse (ohne Konzession) mit einer Ø Entnahmemenge 1986 - 1988 von 1'050 l/min

3) Kategorie, Verwendungszweck: A Trinkwasser, B Brauchwasser, D Wärmegewinnung, F Zierteich

4) Nicht überall bekannt, keine Angabe bedeutet nicht, dass kein Grundwasser gefördert wird

v Versickerung

Berücksichtigt man indessen die Anforderungen an den Gewässerschutz, d.h. die Schutzzonenkriterien im Entnahmebereich einer Fassung, so dürfte zumindest langfristig in überbauten Gebieten kein Grundwasser mehr für Trinkwasserzwecke entnommen werden. Dadurch werden die Nutzungsmöglichkeiten stark eingeschränkt. Betroffen sind vor allem das Gümliger und Ostermundiger Becken sowie das unterste Worblental.

Nutzungszonen

In Anbetracht der teilweise dichten Ueberbauung und zahlreichen Verkehrsadern drängt sich für die zukünftige Nutzung ein Bewirtschaftungskonzept auf, das u.a. genügend Reserven für die Trinkwassernutzung sicherstellt. Die vorliegende siedlungswasserwirtschaftliche Karte (Fig. 8.1) zeigt, welche Gebiete für die verschiedenen Nutzungszwecke geeignet sind. Die Nutzungszonen wurden hauptsächlich nach folgenden Kriterien vorgenommen:

- Besiedlungsdichte (Bauzonen) und Verkehrsadern
- hydrogeologische Verhältnisse
(Durchlässigkeit und Mächtigkeit des Grundwasserleiters)
- hydrochemische Verhältnisse
- Ausbildung der Deckschichten
- bestehende und projektierte Grundwasserfassungen

Davon ausgehend wurden für den engeren Untersuchungsperimeter folgende Gebiete ausgeschieden:

Zone S:

Gilt für alle bestehenden rechtsgültigen Grundwasserschutzzonen (S I - S III):

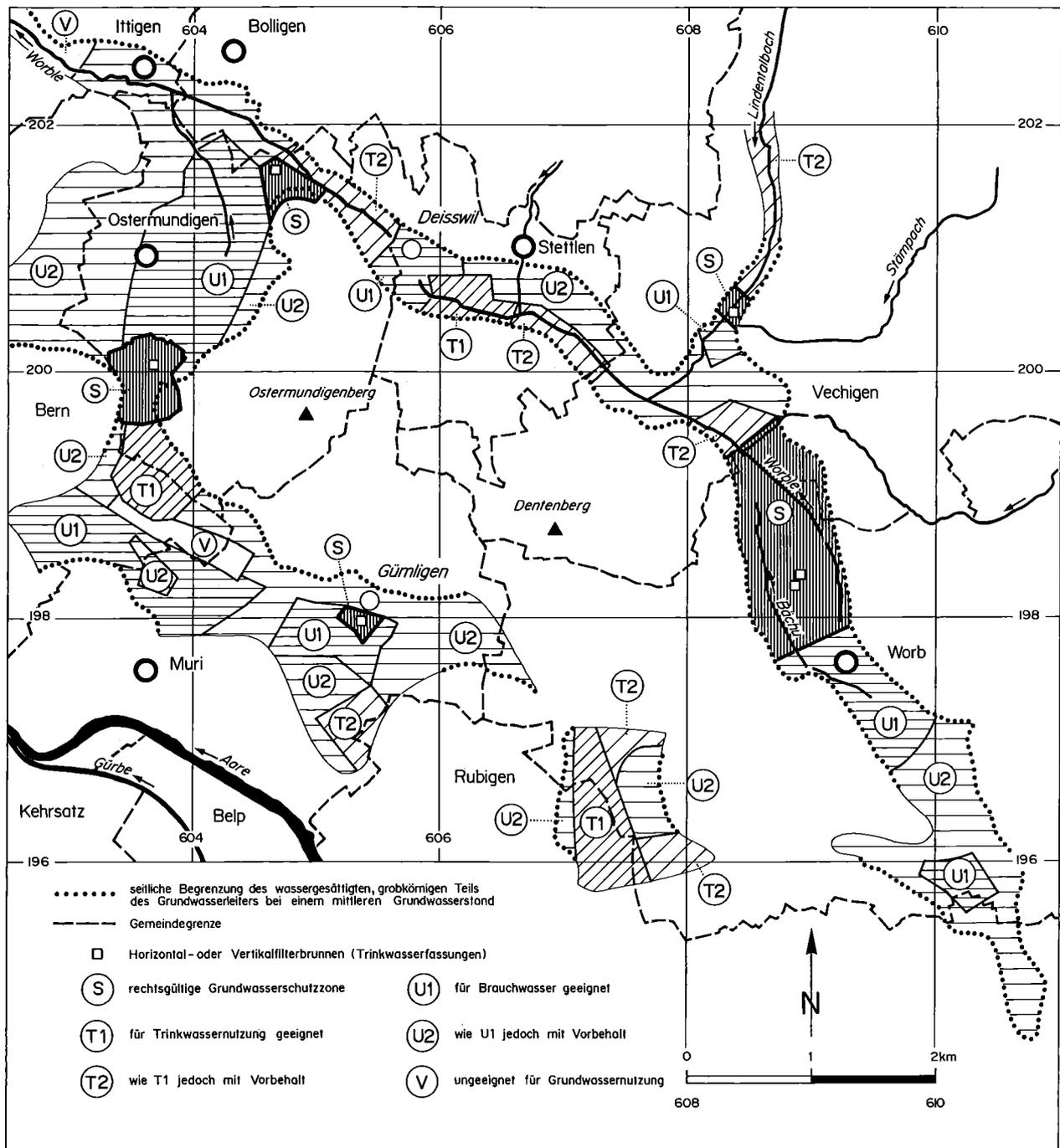
- Fassung Worboden der WV Worb
- Fassungen Bachstrasse und Rörswil der WV Ostermundigen
- Fassung Boll der WAVEST
- Fassungen HACO in Gümligen

Die Fassung Bachstrasse befindet sich mitten im Siedlungsgebiet und besitzt eine Schutzzone mit beschränkter Wirkung. Sie wird noch längere Zeit, d.h. mindestens bis zum allfälligen Bau einer neuen Fassung, im Tiefenmösli in Betrieb bleiben.

Zone T 1:

Dieses Gebiet eignet sich für die Trinkwassernutzung und sollte, in Anbetracht der wachsenden Bevölkerung in der Agglomeration Bern, für diesen Verwendungszweck reserviert bleiben. Folgende Kriterien sind innerhalb T 1 erfüllt:

Fig. 8.1: Wasserwirtschaftliche Nutzungskarte



- Gebiet weitgehend unbesiedelt und ausserhalb der eingezonten Siedlungsflächen
- $k\text{-Wert} > 2.0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- Grundwasserleitermächtigkeit $> 8 \text{ m}$
- Die Wasserqualität entspricht den gesetzlichen Anforderungen an Trinkwasser
(Ausnahme: Sauerstoffuntersättigung und eventuell damit verbundene geringe Eisen- und Mangangehalte)

Zone T 2:

Für die Zone T 2 gelten grundsätzlich ähnliche Kriterien wie für die Zone T 1. Infolge einer oder mehrerer nachstehender Randbedingungen ist jedoch eine Trinkwassernutzung nur mit Vorbehalt sinnvoll:

- beschränkte Feldergiebigkeit
- mässige Durchlässigkeit ($k = 1 - 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$)
- Potentielle Verunreinigungsherde im Anströmbereich
(Ueberbauungen, stark befahrene Strassen, Autobahnen)
- Nitratgehalt $> 30 \text{ mg/l}$

Zone U 1:

Diese Zone ist in Gebieten ausgeschieden, wo die hydraulischen Entnahmebedingungen günstig sind, die jedoch aus qualitativen oder schutzzonentechnischen Gründen nicht der Zone T 1 zugeordnet werden können. Die Zone U 1 eignet sich z.B. für Brauchwasserfassungen oder für die Wärmenutzung.

Zone U2:

Gegenüber U 1 sind die Nutzungsmöglichkeiten in dieser Zone namentlich aus quantitativen Gründen stark eingeschränkt (Entnahmemenge vermutlich $< 400 \text{ l/min}$).

Zone V:

Dieses Gebiet ist für die Entnahme von Grundwassermengen $> 200 \text{ l/min}$ ungeeignet.

Trinkwassernutzungsmöglichkeiten

Die massgebenden Zahlen für die Grundwasserbewirtschaftung sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt. Nicht berücksichtigt wurde die vorübergehende Grundwassernutzung, d.h. Wasser, das nach seiner Verwendung (Wärmeentzug, Kieswäsche) wieder versickert wird. Es wurde von der effektiven durchschnittlichen Nutzung der Jahre 1986 - 1988 und der konzidierten Entnahmemenge Ende 1989 ausgegangen.

Tab. 8.2: Basisdaten für die Grundwasserbewirtschaftung

Grundwassergebiet	nutzbares	konzedierte	effektive	mögliche Zusatznutzung 2)	
	Dargebot	Entnahme 1)	Nutzung 2)	gesamt	davon Trinkwasser
	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min
Worber Becken	4'500	8'530	1'500	3'000	2'500 3)
Deisswiler Becken	8'500	12'000	5'500	3'000 4)	2'500 4)
Gümliger Becken	3'800	3'560	1'100	2'700 5)	2'000 5)
Ostermundiger Becken	1'500 6,7)	5'450 7)	2'400 7)	- 900 6)	- 900 6)
Vielbringer Becken	2'500	-	-	2'500	1'500
Unterstes Worblental	500	420	350	150	-
Lindental	1'500	2'000	630	900	500
Total	22'800	31'540	11'500 8)	11'300 8)	8'100

1) Stand Dez. 1989, Grundwasser, das wieder versickert, nicht eingerechnet

2) basierend auf Durchschnitt 1986 - 1988, ohne Wiederversickerung

3) sofern der Nitratgehalt < 40 mg/l bzw. < 30 mg/l

4) Zusatznutzung effektiv noch höher, da ein Teil der heutigen Entnahme nur dazu bestimmt ist, den Grundwasserspiegel tief zu halten (Probleme mit bestehenden Bauten)

5) davon Teilbecken Tiefenmöslli 1'600 l/min

6) ohne Zufluss aus dem Teilbecken Tiefenmöslli (1'600 l/min), bei Erstellung der Fassung Tiefenmöslli wird die Fassung Bachstrasse aufgehoben

7) Fassungen Bachstrasse und Rörswil, inkl. Rothusquelle

8) gerundet

Worber Becken:

In Anbetracht der im Bau begriffenen Trinkwasser-Zuleitung aus dem Aaretal wird die Grundwasserförderung im Worbboden stark zurückgehen, dies trotz sinkender Tendenz des Nitratgehalts. Damit werden über 3'000 l/min zur Verfügung stehen, die ungenutzt in die Worble exfiltrieren.

Deisswiler Becken:

Ein qualitativ und quantitativ sehr günstiges Gebiet für die Trinkwassernutzung befindet sich zwischen Stettlen und Deisswil (Zone T 1, Fig. 8.1). An dieser Stelle könnte eine Fassung gegen 2'000 l/min Trinkwasser mit einem Nitratgehalt < 25 mg/l entnehmen, allerdings mit einem etwas hohen Härtegrad von > 30°frz. Da die Kartonfabrik Deisswil aus baulichen Gründen einen Teil des geförderten Wassers dazu verwendet, den Grundwasserspiegel tief zu halten, d.h. Grundwasser von Trinkwasserqualität mehr oder weniger permanent in die Worble pumpt, stellt sich die Frage, ob die umliegenden Gemeinden keinen besseren Verwertungszweck hätten. Das übrige nicht genutzte Grundwasser exfiltriert unterhalb der Kartonfabrik grösstenteils in die Worble.

Gümliger Becken:

Abgesehen vom Teilbecken Tiefenmösli befinden sich im gesamten Gümliger Becken keine nutzungswürdigen Trinkwasservorkommen. Die T 2-Zone auf dem Gümligenfeld wurde mit Rücksicht auf die dortigen alten Grundwasserfassungen der Gemeinde Muri ausgeschieden. Der (noch) hohe Nitratgehalt und die Autobahnnähe sowie die ziemlich schlechte Transmissibilität des Untergrundes sprechen für einen Verwendungszweck als Notwasserversorgung.

Im Gegensatz dazu befindet sich im Tiefenmösli ein in jeder Hinsicht für die Trinkwassernutzung günstiges Grundwasservorkommen. Es stellt den alternativen Standort für die Fassung an der Bachstrasse dar. Da diese mitten in einem dicht überbauten Gebiet in einer Geländemulde liegt, ist sie trotz einer tonigen Deckschicht – die allerdings stark perforiert ist – ständig gefährdet. Ein neuer Vertikalfilterbrunnen mit Schutzzone sollte deshalb aus Gründen der Versorgungssicherheit möglichst bald erstellt werden. Atrazinspuren, die noch von der Unkrautbekämpfung des benachbarten Bahndammes herrühren, sind im Abklingen begriffen und liegen nun meist unter der Toleranzgrenze.

Ostermundiger Becken:

Das gesamte Ostermundiger Becken fällt entweder aus hydrogeologischen oder schutzzonentechnischen Gründen für die öffentliche Trinkwassernutzung ausser Betracht. Eine Ausnahme dazu stellt die Grundwasserfassung Rörswil der WV Ostermundigen dar, die trotz des Nitratgehalts im Bereich der Toleranzgrenze und der limitierten Entnahmemenge dank ihrer relativ gut geschützten Lage erhalten bleiben sollte. Die Fassung Bachstrasse sollte, wie erwähnt, möglichst rasch nicht mehr das Versorgungsnetz anspeisen und nur noch als Notbrunnen Verwendung finden. Einen vollwertigen Ersatz stellt der Standort Tiefenmösli dar (permanente Entnahme 1'600 l/min, Spitzenverbrauch > 2'000 l/min).

Vielbringer Becken:

Das bisher unbekannte Grundwasservorkommen wird noch in keiner Weise genutzt. Da sein östlicher Teil Nitratgehalte $> 30 \text{ mg/l}$ aufweist, bietet sich vor allem der westliche Bereich für die Trinkwassernutzung an, wobei dauernd mindestens $1'500 \text{ l/min}$ entnommen werden könnten.

Unterstes Worblental:

Aus verschiedenen Gründen, insbesondere jedoch wegen der bestehenden Umweltbelastung, sollte hier auf jegliche Trinkwasserentnahme verzichtet werden.

Lindental:

So lange die WAVEST die Fördermenge gegenüber heute nicht wesentlich steigert, sind stromaufwärts im Lindental noch bescheidene Trinkwasserentnahmen möglich, die jedoch gesamthaft nicht mehr als 500 l/min betragen dürften.

8.3 Grundwasserschutz

Die grundwasserführenden Gebiete des untersuchten Perimeters befinden sich beinahe ausnahmslos in der Zone A der Kantonalen Gewässerschutzkarte (LK Blatt 1167 Worb). Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse werden ohne Zweifel einige Partien umgezont werden müssen. Damit sollen einerseits Grundwassergebiete ihrer Bedeutung entsprechend besser geschützt werden (Umzonung zu A), andererseits lassen sich in anderen Gebieten die gewässerschutzspezifischen Auflagen reduzieren (Umzonung zu B).

Die Fassungen mit rechtskräftigen Schutzzonen wurden im vorangehenden Kapitel aufgeführt. Damit verfügen alle öffentlichen Trinkwasserbezüger über einen güte- und mengenmässigen Grundwasserschutz. Dieser gewährt jedoch nicht in allen Fällen den wünschbaren Schutz. So verfügen die in überbauten Gebieten liegenden Fassungen (Bachstrasse WV Ostermundigen, HACO Gümligen) nur über Schutzzonen mit beschränkter Wirkung. Aus Gründen der Versorgungssicherheit sollten diese Fassungen durch alternative Wasserbezugsstandorte ersetzt werden. Einen totalen Grundwasserschutz geniessen jedoch auch die übrigen öffentlichen Fassungen nicht. Dazu müsste das gesamte Einzugsgebiet den menschlichen Einflüssen (Landwirtschaft, Verkehr, Bauten etc.) entzogen werden, was kaum realisierbar ist.

Auch ausserhalb der Schutzzonen muss in Grundwassergebieten (Zone A der Gewässerschutzkarte) der Erhaltung der Deckschichten besondere Beachtung geschenkt werden. Dabei gilt es, insbesondere bei Eingriffen ins Grundwasser keine präferenziellen Sickerwege zu schaffen. Besondere Vorsicht ist bei der künstlichen Versickerung von Meteor- und Drainagewasser walten zu lassen. Potentielle Gefahrenherde bilden ebenfalls Sickerbrunnen und -schächte von Wärmepumpenanlagen.

Zur Erhaltung und Verbesserung der Grundwasserqualität (Nitrat !) sollten primär die eidgenössischen und kantonalen Gesetzgebungen gebührend respektiert werden (z.B. Kantonale Gewässerschutzverordnung von 1972). Trotz der teilweise starken Ueberbauung im Untersuchungsgebiet bleibt die landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung weitgehend ausschlaggebend für die Güte des Quell- und Grundwassers. Dies betrifft sowohl Zone A wie B. Aus dieser Sicht wurde durch die Koordinationsstelle für Umweltschutz des Kantons Bern ein sogenanntes Nitratprogramm 1989 - 1995 lanciert, das neun auf das Kantonsgebiet verstreute Untersuchungsgebiete beinhaltet, worin der Perimeter Worb mit 160 Landwirtschaftsbetrieben mit Abstand der grösste ist. Das Hauptziel des Programms, die Reduktion von Nitrat im Trinkwasser, soll vor allem mittels einer Düngeoptimierung erreicht werden, was namentlich eine intensive Beratung erfordert.

Obwohl zwischen der Worble und dem Grundwasser nur stellen- bzw. zeitweise eine hydraulische Beziehung besteht, muss bei einer Gerinnesanierung der Worble (Hochwasserschutz) auf die Grundwasserverhältnisse Rücksicht genommen werden. Namentlich auf folgenden Abschnitten darf aus quantitativen Gründen die Gerinneedurchlässigkeit nicht beeinträchtigt werden:

- Worb - Brüelmoos (perkolative Anspeisung des Grundwassers bei höheren Wasserständen)
- Brüelmoos - Nesselbank (Exfiltration des Worber Beckens)
- Stettlen - Rörswil (hydraulische Wechselbeziehung zwischen Grundwasser und Worble vor allem bei mittlerem und höherem Wasserstand).

Grundsätzlich müssen jeder Gewässerlauf-Melioration Grundwasserabklärungen vorausgehen, damit allfällige qualitative und quantitative Beeinflussungen erkannt und nach Möglichkeit vermieden werden können.

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR

- GERBER, E. (1927): Geologische Karte von Bern und Umgebung 1:25'000. - Kümmerly & Frey, Bern.
- GERBER, E. (1955): Ergebnisse glazialgeologischer Studien nordöstlich von Bern. - Mitt. natf. Ges. Bern [N.F.] 12, 3 - 21.
- KELLERHALS, P. und ISLER, A. (1983): Profilserien durch die Quartärfüllung des Aare- und des Gürbetroses zwischen Thunersee und Bern. - Eclogae geol. Helv. 76/2, 417 - 430.
- SCHLUECHTER, L. (1976): Geologische Untersuchungen im Quartär des Aaretals südlich von Bern. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 148.
- WAGNER, G. (1986): Die eiszeitlichen Moränen von Aare- und Rhonegletscher im Gebiet des Worblentals bei Bern. - Mitt. natf. Ges. Bern [N.F.] 43, 63 - 110.
- WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA) (1981): Hydrogeologie Aaretal, zwischen Thun und Bern. - Bearbeitung Dres. P. Kellerhals, Ch. Haefeli und B. Tröhler †, Bern.
- WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (WEA) (1985): Hydrogeologie Bödeli - Interlaken. - Bearbeitung Dres. P. Kellerhals und Ch. Haefeli, Bern.

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

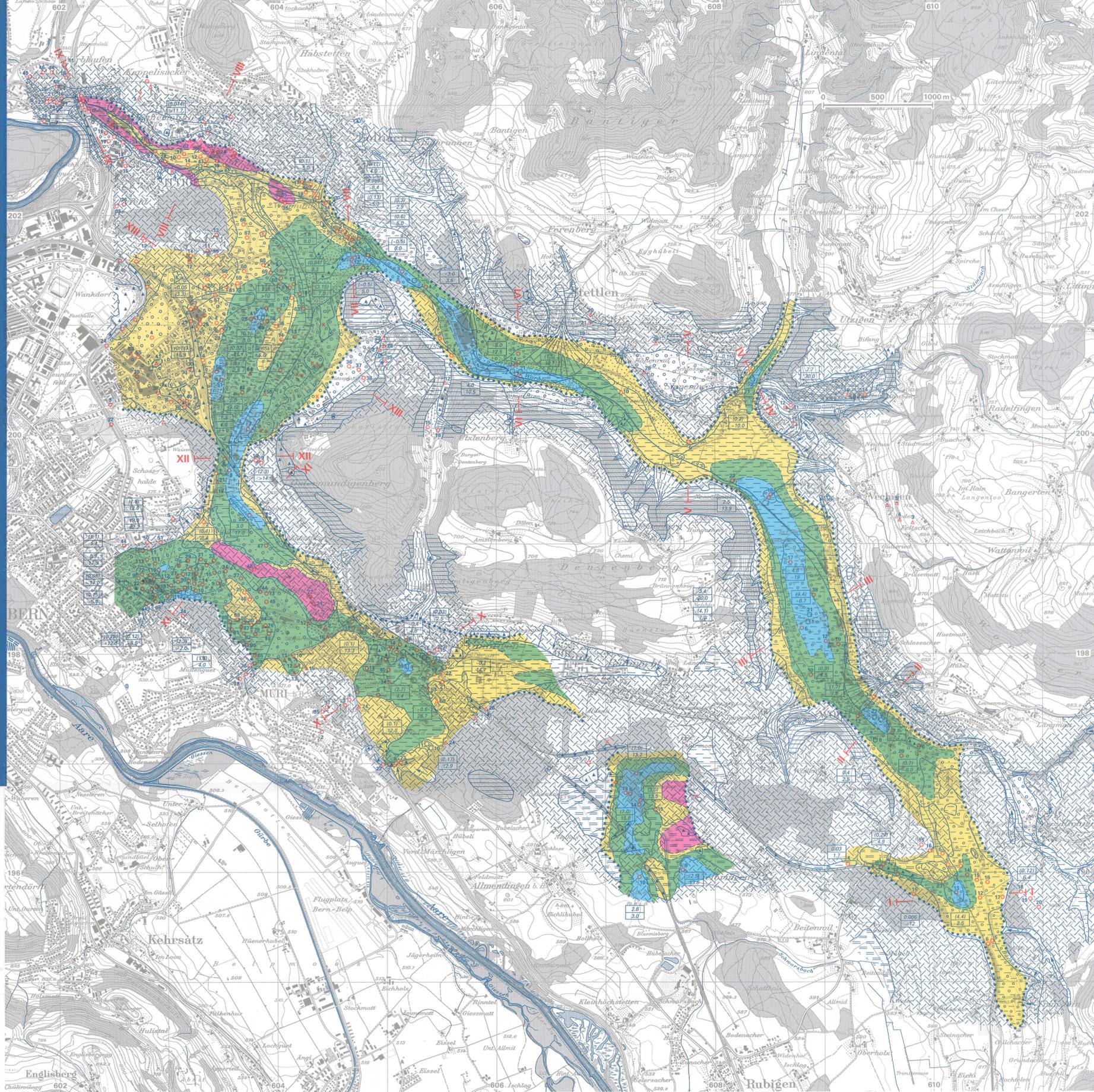
Hydrogeologische Karte
Worblental 1:25 000

Grundkarte

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern

Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern
(VEWD)



Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- Lage eines geologischen Profils, vgl. Beilage 2
- Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie
- Angabe fraglich

Künstliche Aufschlüsse¹⁾

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Bohrung
- Schlitz, Baugrube
- Kiesgrube
- Anlage aufgelassen

**Ausbildung der Deckschichten,
sowie der oberflächennahen Festgesteine der Talränder**

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| künstl. Ablagerung | Kies, siltig |
| Schuttkegel | Kies, sandig |
| Gehängeschutt | Kies, verkittet |
| Torf, anmoorige Bildungen | Moräne |
| Silt, tonig-sandig; Lehm | Moräne verschwemmt |
| Sand, tonig-siltig | Molasse |
- Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten

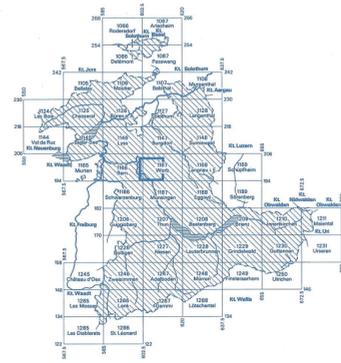
Durchlässigkeitsbereiche

- Profil-k-Werte des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters
- Durchlässigkeit:
- | | |
|---|--|
| - gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s | - klein, $k \cdot 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ m/s |
| - mittel, $k \cdot 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s | - sehr klein, $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s |
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Hydrogeologische Kennziffern

- | | |
|--|---|
| | Durchlässigkeit k , in 10^{-3} m/s, bestimmt aus Grosspumpversuch |
| | Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, zur Zeit des Pumpversuches |
| | Durchlässigkeit k , in 10^{-3} m/s, bestimmt aus Kleinpumpversuch |
| | Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, geschätzter Wert |

¹⁾ Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle «Künstlichen Aufschlüsse» wiedergegeben werden.
Bei der Darstellung der Deckschichten und Durchlässigkeitsbereiche ist darauf verzichtet worden, zwischen nachgewiesen und vermutet zu unterscheiden.



Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text
Planungsmitarbeit, Kartographie:
WEA/P. Eichwald, Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens
Satz und Belichtung: Diest AG, Hinterkappelen/Bern
Reprographie: P. Gaffuri, Bern
Druck: Aerni-Leuch AG, Liebfeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 31.5.1989
Ausgabe 1990

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte
Worblental 1:25 000

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

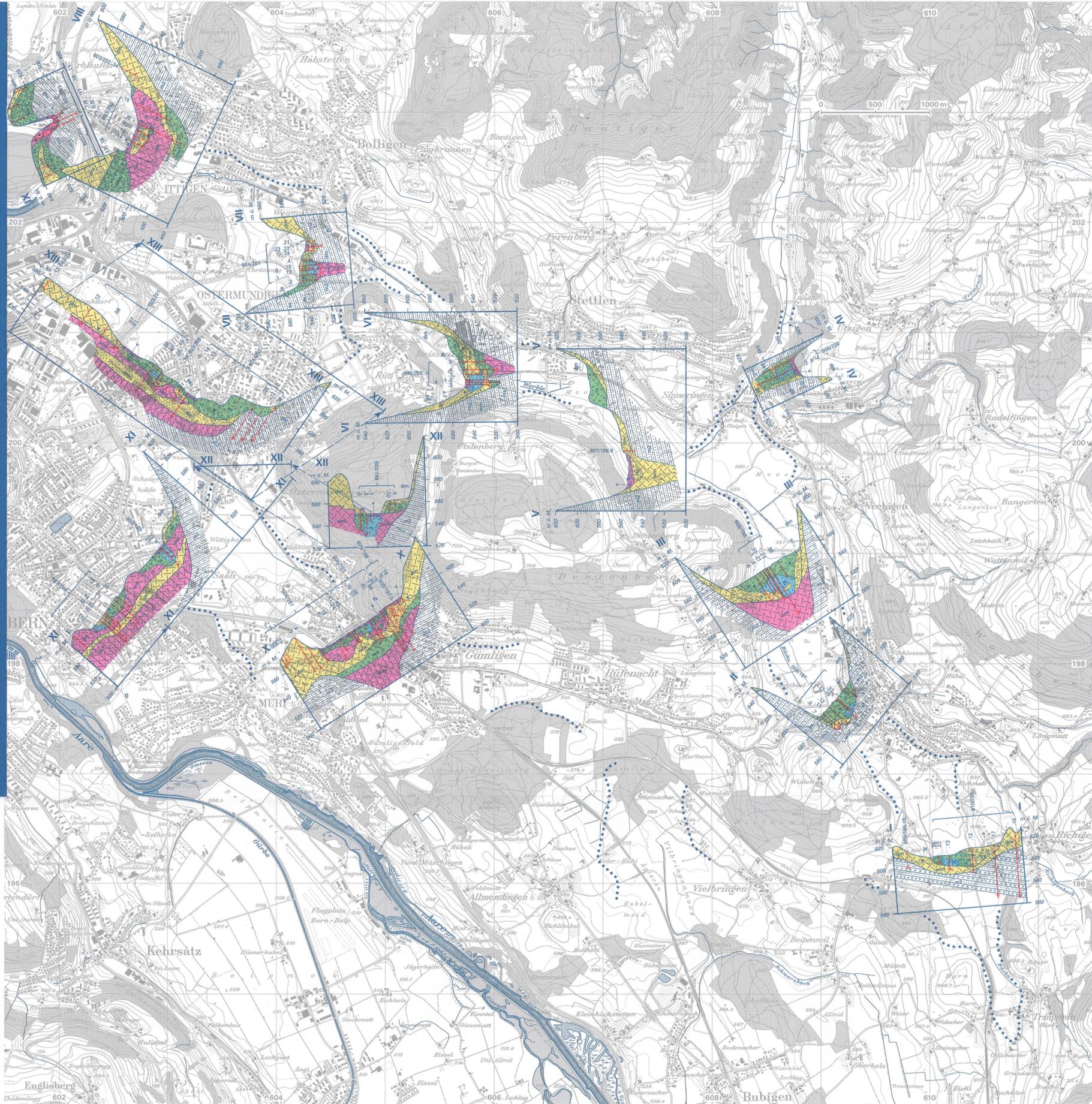


Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern



Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)



Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie
- Bohrung, Brunnen, Schlietz, auf oder bis 50 m neben der Profilinie liegend
- Bohrung, Brunnen, Schlietz, bis 200 m neben der Profilinie liegend, Projektion gemäss Lagerungsverhältnissen
- Grundwasserspiegel, Mittelwasserstand vom 17.10.1984
- Angabe fraglich

Geologie

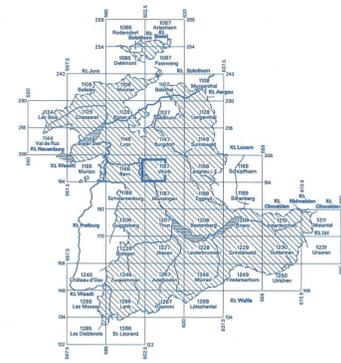
- Lockergesteine**
- künstl. Ablagerung
 - Gehängeschutt
 - Torf, amoorige Bildungen
 - Silt, tonig-sandig; Lehm
 - Sand, tonig-siltig
 - Sandsteine und Mergel der Molasse
 - Lithologische Grenze
 - Kies, siltig
 - Kies, sandig
 - Kies, verkittet
 - Moräne, siltig-toniger Kies mit Blöcken
 - Moräne der Risseiszeit
 - Nagelfluh (Sandsteine und Konglomerate der Molasse)

Lithostratigraphische Einheiten
(Die Reihenfolge entspricht der vermuteten Altersabfolge)

Holozän	junge Verlandungsbildungen Gehängeschutt, -lehm, Bachschutt junge Schotterablagerungen der Flüsse	v gs js
Pleistozän	Felderschotter, Rückzugsschotter	fs / rs
	Rücktaasedimente	rt
	Deckmoräne (Würm)	dm
	Würmmoräne (undifferenziert), Stauschotter	wm ss
	Münsingen-Schotter (Karlsruhe-Schotter / «Seetone» (interglazial?)) Schlammoräne / Rissmoräne?	ms (ks / grs) igt rm
Tertiär	Miocäne Molasse «Helvétien»	m3
	Bündigen	m2
	Aquitanien	m1

Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen

- Durchlässigkeit:
- gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s
 - mittel, $k \cdot 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s
 - klein, $k \cdot 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
 - sehr klein, $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen



Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text
Planungsarbeit, Kartographie:
WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens
SAT und Belichtung: Diast AG, Hinterkappelen/Bern
Reprographie: P. Galfuri, Bern
Druck: Aerni-Leuch AG, Liebfeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 31.5.1989
Ausgabe 1990

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Worbental 1:25 000

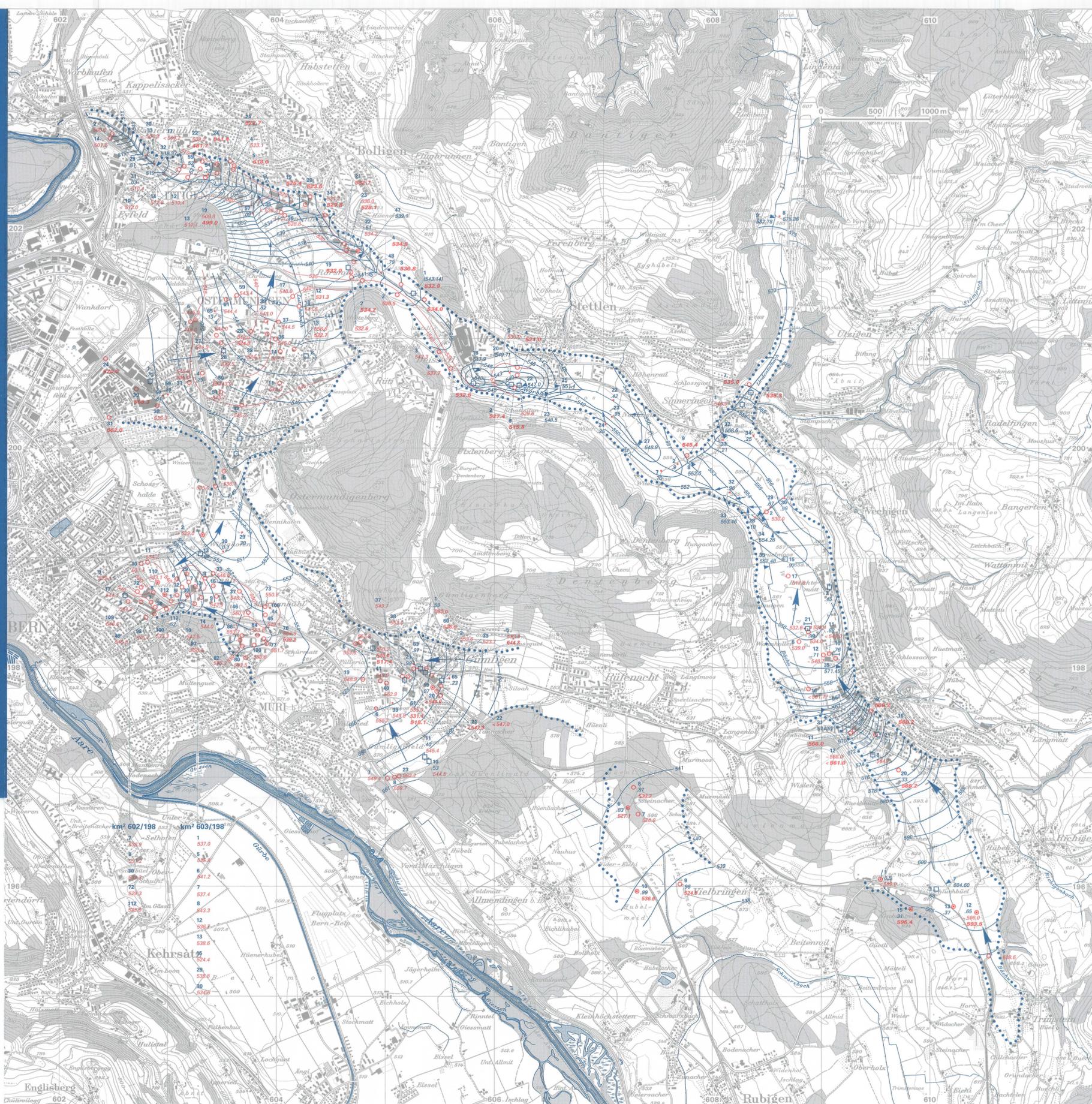
Isohypsen des Grundwasserspiegels,
Mittelwasserstand
Isohypsen des Grundwasserstauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern



Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern
(VEWD)



Allgemeine Angaben

- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand
- Fortlaufende Ordnungsnummer einer Beobachtungsstelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei WEA/Geologie
- Angabe fraglich
- Grundwasser-Fließrichtung
- Speisung des Oberflächengewässers durch Grundwasser (Exfiltration)

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 17.10.1984¹⁾ (Mittelwasserstand)

—550— 1m Grundwasser-Spiegel Kurve mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen²⁾

- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schachtbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Schreibpegel
- Grundwasser-Spiegelhöhe vom 17.10.1984 in m ü. M. ab nächst tieferer 1 m Kurve, z.B. 540.14
- Grundwasser-Spiegelhöhe durch Entnahme beeinflusst

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- Wasserstands-Schreibpegel resp. Abstichpunkt
- Zahl = Spiegelhöhe vom 17.10.1984 in m ü. M.

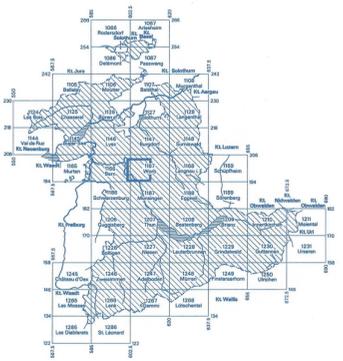
Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers³⁾

- 5 m Kurve mit Kote in m ü. M.
- Bohrung, Zahl = Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.
- junge Moräne, Rücktausedimente
- alte Moräne, Seetone
- Molasse

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

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

³⁾ Als Stauer treten auf: Feinkörnige Ablagerungen, Moräne und Molasse. Die Staueroberfläche ist mit der Unterfläche des grobkörnigen Teiles des Grundwasser-Leiters identisch. Meist gewähren die spärlichen Informationen über die Stauerlage keine Isohypondarstellung.



Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text
Planungsarbeit, Kartographie:
WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens
Satz und Belichtung: Diastet AG, Hinterkappelen/Bern
Reprographie: P. Gaffuri, Bern
Druck: Aerni-Leuch AG, Liebefeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 31.5.1989
Ausgabe 1990

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung des Grundwassers des Kantons Bern

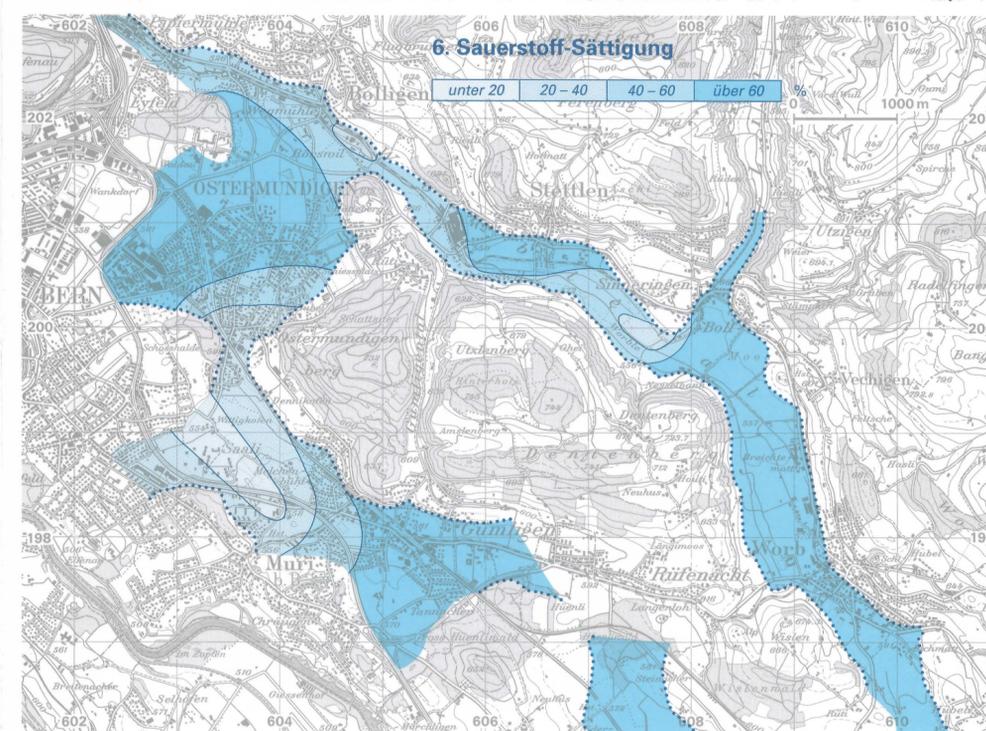
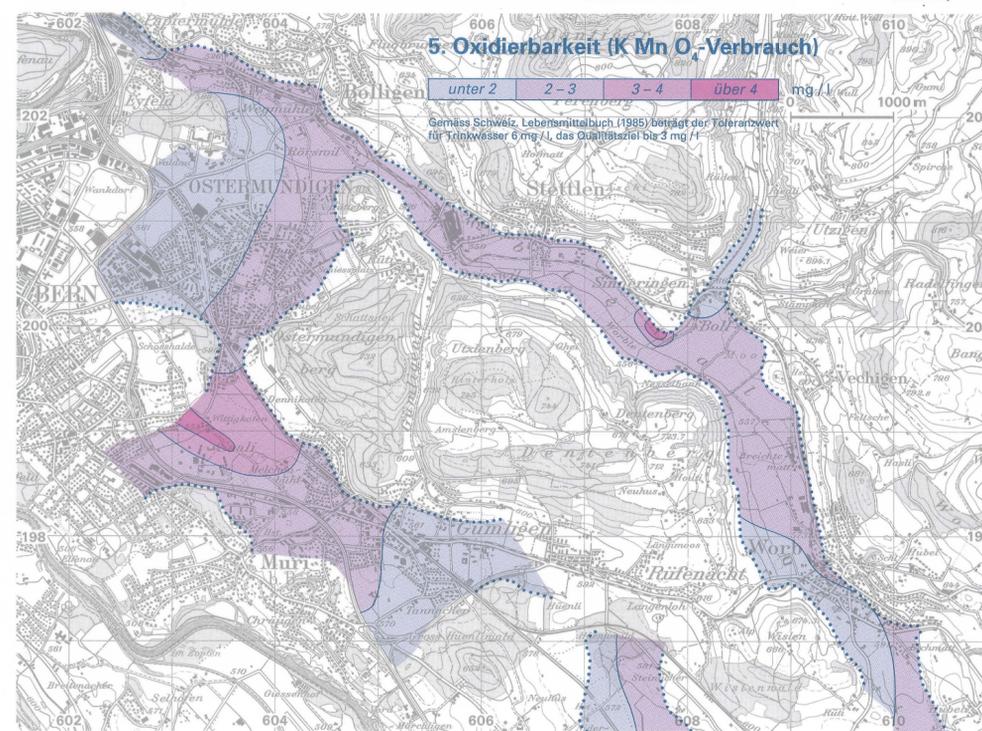
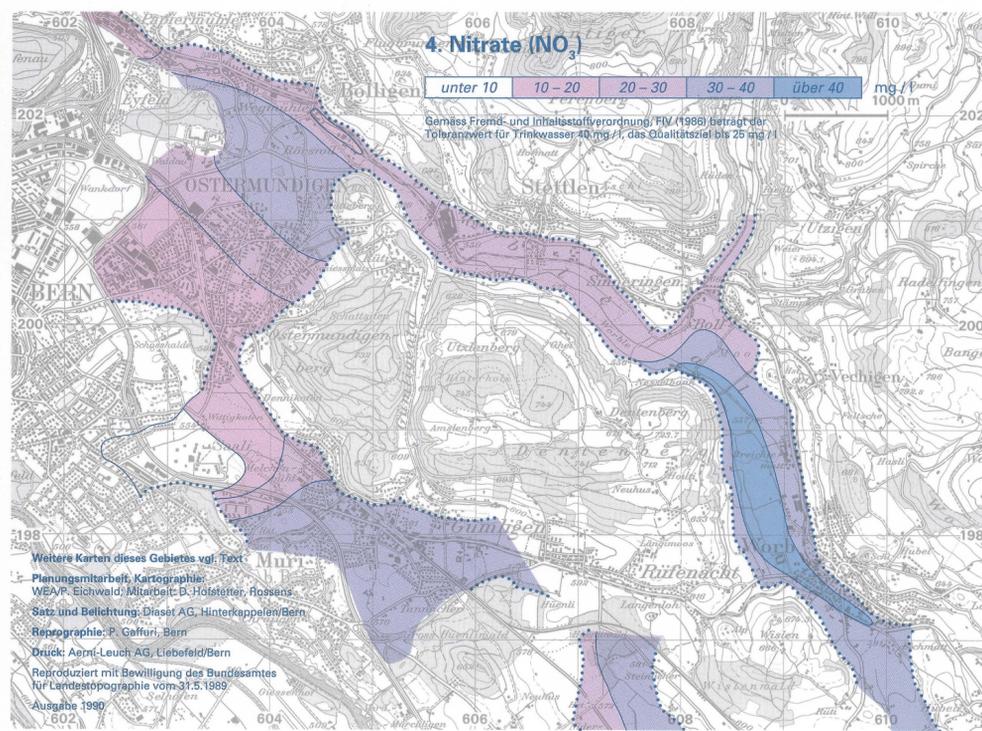
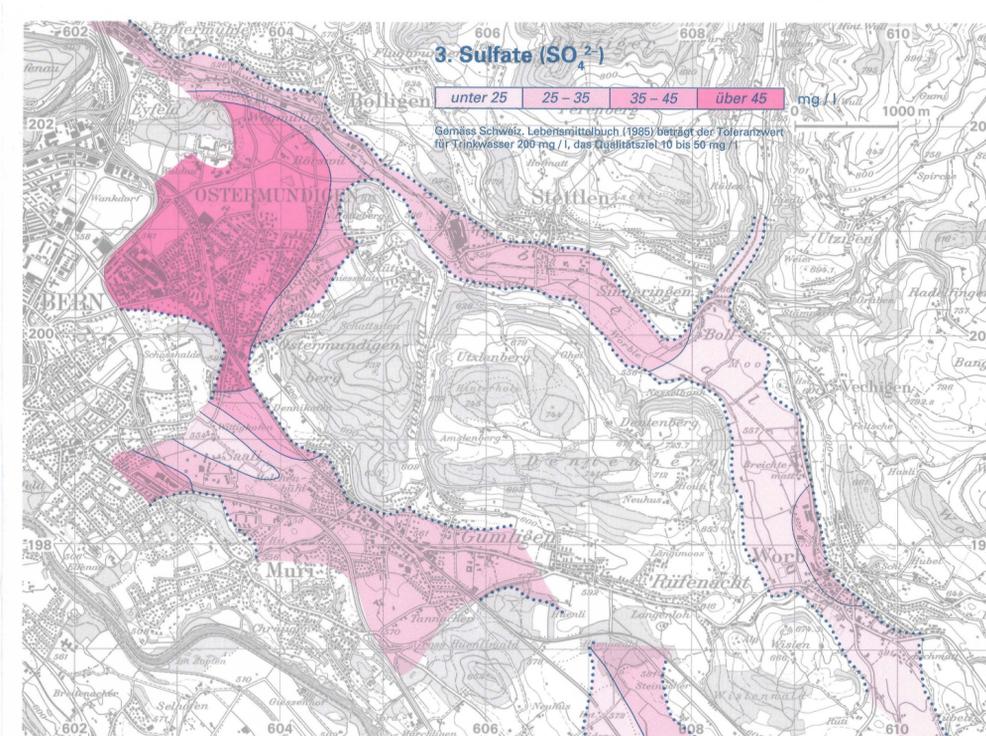
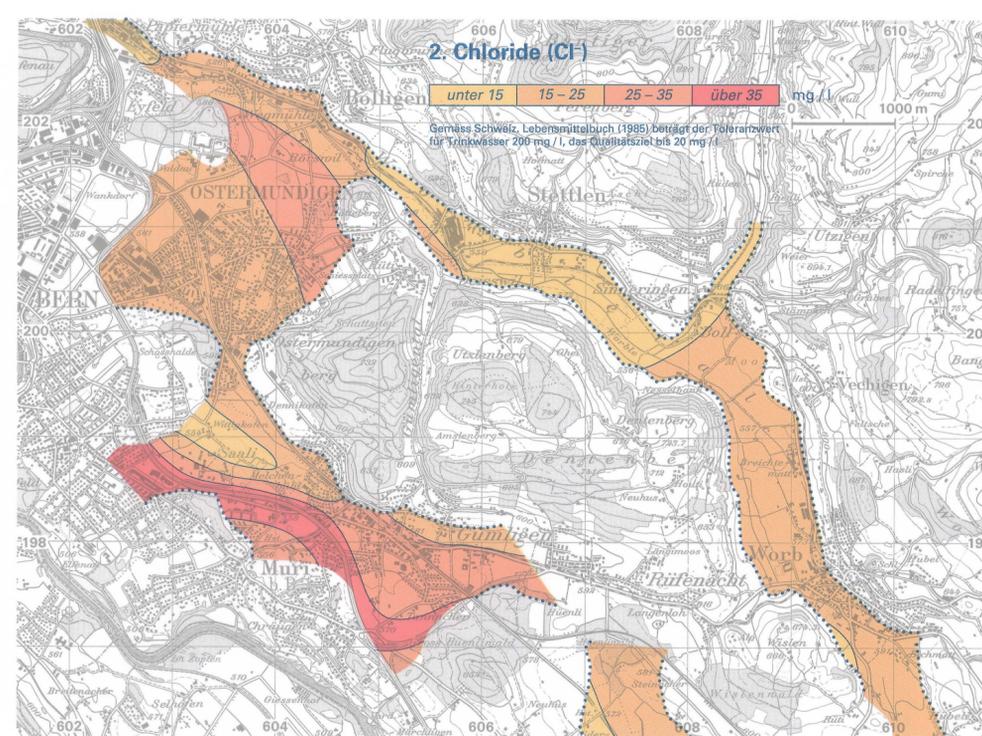
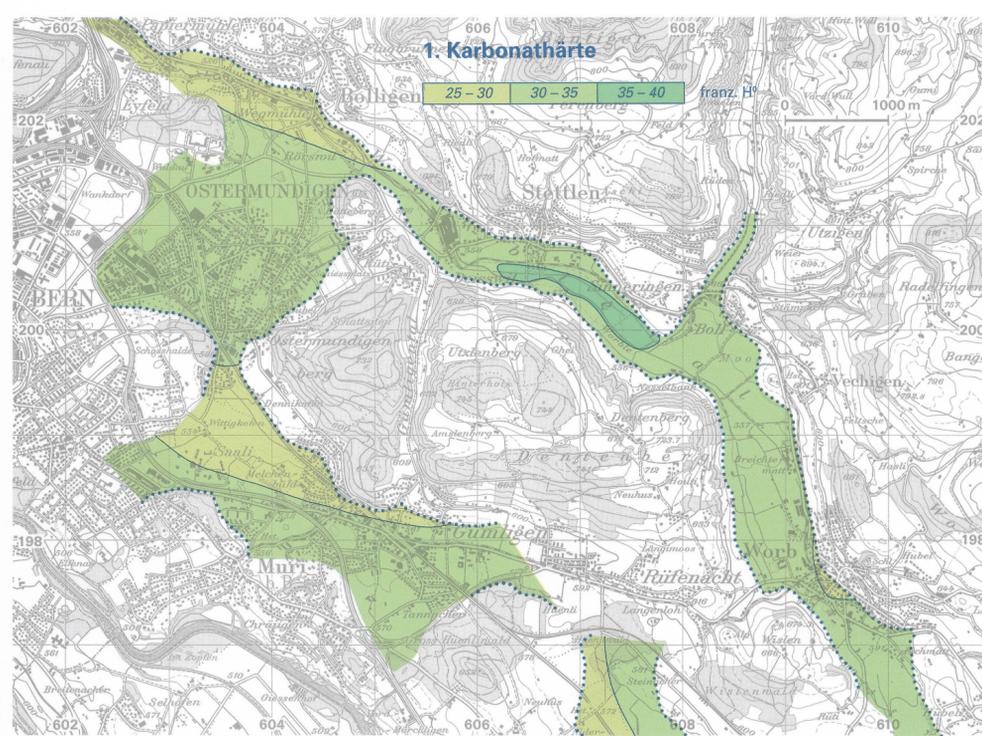
Hydrogeologische Karte Worblental 1:50 000

Hydrochemie, 6 Teilkarten



Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Bearbeitung: Dres. P. Kellerhals u. Ch. Haefeli
Geologen SIA/ASIC, Bern



Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern (VEWD)

Weitere Karten dieses Gebietes vgl. Text
Planungsmaterial: Kartographie: WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: B. Hölzler, Rosens
Satz und Belichtung: Dieler AG, Hinterkappelen/Bern
Reprographie: P. Gaffuri, Bern
Druck: Aerni-Leuch AG, Liebfeld/Bern
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 31.5.1989
Ausgabe 1990