

NEU!
Grundwasser-
schutz- u. Schutz-Karte
Truebtal 1:25 000

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Truebtal



WEA

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung:

Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf

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

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Truebtal



WEA

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung:

Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf

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

Bericht:
Hydrogeologie Truebtal

Ausgabe: 1993

Herausgeber/Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)
Stabsstelle Geologie Dr. R. V. Blau

Bearbeitung:
Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf

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

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

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

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	9
RÉSUMÉ	12
1 EINLEITUNG	15
1.1 Veranlassung und Ziel der Untersuchungen	15
1.2 Kredite, Subventionen	16
1.3 Untersuchungsgebiet	16
1.4 Untersuchungsablauf	16
1.4.1 Einbezug vorhandener Untersuchungen	16
1.4.2 Generelles Vorgehen	18
1.5 Bearbeiter	19
1.6 Dokumentation der Untersuchungsergebnisse	19
2 HYDROGEOLOGIE	20
2.1 Elektromagnetische - Messungen (VLF) und Seismik	20
2.2 Sondierbohrungen	21
2.2.1 Bestehende Sondierbohrungen	21
2.2.2 Neue Sondierbohrungen	21
2.3 Verlauf des Grundwasserstauers	22
2.4 Deckschicht und Grundwassermächtigkeit	23
2.5 Geologische Situation und Querprofile	25
2.5.1 Molasse	25
2.5.2 Quartär	26
2.5.3 Geologische Querprofile	27
2.6 Durchlässigkeitsverhältnisse	27
3 HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE	30
3.1 Messstellennetz	30
3.1.1 Messstellen-Typen	30
3.1.2 Umfang und Aufbau	32
3.2 Ermittlung der Hydrologischen Grundlagendaten	33
3.2.1 Niederschlag	33
3.2.2 Verdunstung	42
3.2.3 Testgebiete Rappengraben und Sperbelgraben	43

	Seite
3.3 Messungen an Oberflächengewässern	45
3.3.1 Wasserstände	45
3.3.2 Abflussmengen	45
3.3.3 Oberflächenwasserqualität	49
3.4 Messungen im Grundwasser	50
3.4.1 Grundwasserstände	50
3.4.2 Entnahmemengen	52
3.4.3 Chemische Untersuchungen	52
3.5 Beziehung zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser	54
4 ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERZU- UND -WEGFLÜSSE	60
4.1 Grundwasserzuflüsse	63
4.1.1 Direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag	63
4.1.2 Indirekte Grundwasserneubildung aus Niederschlag	64
4.2 Grundwasserwegflüsse	66
4.2.1 Wegfluss durch das Bilanzierungsprofil Trubschachen	66
4.2.2 Grundwasserexfiltration	66
4.2.3 Grundwassernutzung	66
5 NUMERISCHES GRUNDWASSERMODELL	67
5.1 Ziel der Modellbetrachtungen	67
5.2 Aufbau des Grundwassermodells	67
5.3 Eichung des Grundwassermodells	69
6 BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERVORKOMMENS	71
6.1 Grundwasserverhältnisse am 22.04.1991	71
6.1.1 Isohypsen des Grundwasserspiegels	71
6.1.2 Grundwassermächtigkeit	72
6.1.3 Flurabstand	72
6.2 Grundwasserverhältnisse 1990 bis 1992	74
6.2.1 Grundwasserspiegelbewegungen	74
6.2.2 Grundwasserbilanz 1991/92	77
6.2.3 Wasserbilanz	81
6.3 Grund- und Oberflächenwasserqualität	82
6.3.1 Uebersicht über die untersuchten Parameter	82
6.3.2 Wesentliche Standardparameter	84
6.3.3 Schwermetalle	92
6.3.4 Polychlorierte Biphenyle	93
6.3.5 Pestizide	93

	Seite
6.3.6 Bakteriologische Grundwasserqualität	94
6.3.7 Beurteilung	94
7 NUTZUNGS- UND SCHUTZKONZEPT	95
7.1 Nutzungs- und Schutzkonzept Grundlagen für die künftige Trinkwassergewinnung aus Grundwasservorkommen	95
7.2 Grundwassernutzung und -schutz im Truebtal	96
7.2.1 Oeffentliche Grundwasserfassungen Hüseren und Längengrund	96
7.2.2 Bekannte Gefahrenherde	96
7.2.3 Nutzbares Grundwasserdargebot	97
7.2.4 Neue Grundwasserfassung im Gebiet Antiger	98
7.2.5 Vorschlag für Nutzungs- und Schutzkonzept	98

FIGURENVERZEICHNIS

1.1 Untersuchungsgebiet	17
2.1 Schematischer Schnitt durch ein Lockergesteins-Grundwasservorkommen	24
2.2 Profil-k-Werte in mm/s der Bohrungen mit Flowmeterversuchen; Grosspumpversuche	29
3.1 Ganglinien der jährlichen Niederschlagssummen der Klimastation Langnau, der Niederschlagsstationen Escholzmatt und Kurzenei für die Jahre 1963 - 1992	35
3.2 Stationshöhen der 6 Niederschlags- und Klimastationen in m ü.M. in Abhängig- keit der Niederschlagssummen für die Jahre 1990 bis 1992	36
3.3 Monatliche Niederschlagssummen der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf	38
3.4 Monatliche Niederschlagssummen der Niederschlagsstationen Badschwändi, Escholzmatt und Kurzenei	39
3.5 Monatliche Niederschlagskorrekturen nach SEVRUK der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf	41
3.6 Höhenabhängigkeit der SEVRUK - Korrekturen	41
3.7 Potentielle Verdunstung nach PENMAN für die Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf	43
3.8 Tagesmittelwerte der Grundwasserstände TRB61	55
3.9 Tagesmittelwerte der Abflussmengen TRQ50	55
3.10 Grundwasserstände TRB61 und Abflussmengen TRQ50 mit Regressionskurve	55
3.11 Lage der Abflussmessstellen, gerundete Mittelwerte der Differenzmengen	56
4.1 Schematischer Bilanzierungskörper mit Grundwasserzu- und -wegflüssen im Grundwasserleiter des Truebtals	60
4.2 Teileinzugsgebiete im Truebtal	62
5.1 Grundwassermodell Truebtal: Netzeinteilung	68
5.2 Häufigkeitsverteilung der Element-k-Werte in mm/s	70
6.1 Genereller Längsschnitt durch das Truebtal	73
6.2 Grundwasserstände in der Grundwasserfassung Hüseren in m ü.M.	74
6.3 Niederschlagshöhen, Ganglinien der Abflussmengen und Grundwasserstände	76

	Seite	
6.4	Bilanzierungsprofile Schachehus, Längengrund, Trub - Süd und Trub - Nord	79
6.5	Bilanzierungsschlange für den Grundwasserleiter im Truebtal, Mengen in l/s	80
6.6	Wasserbilanz : Verknüpfung der durchschnittlichen Jahresmittelwerte 1991/92 der Grundwasser-, Oberflächenwasser- und Hydrologischen-Bilanz, Mengen in l/s	81

TABELLENVERZEICHNIS

2.1	Zusammenstellung der wichtigsten Bohrresultate der bestehenden Bohrungen	21
2.2	Daten der WEA-Bohrungen	22
2.3	Daten des Grundwasserleiters	25
2.4	Zusammenstellung der wichtigsten Resultate der Kleinpumpversuche und Flowmetermessungen	28
3.1	Anzahl Messstellen	32
3.2	Niederschlags- und Klimastationen am Rande oder in der Umgebung des Untersuchungsgebietes	33
3.3	Jährliche Niederschlagssummen der Klimastation Langnau, der Niederschlagsstationen Escholzmatt und Kurzenei 1963 bis 1992	34
3.4	Jährliche Niederschlagssummen 1990 - 1992	36
3.5	Monatliche Niederschlagssummen in mm der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf	37
3.6	Monatliche Niederschlagssummen in mm der Niederschlagsstationen Badschwändi, Escholzmatt und Kurzenei	38
3.7	Monatliche Niederschlagskorrekturen nach SEVRUK der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf	40
3.8	Potentielle Verdunstung nach PENMAN für die Klimastation Langnau, Menzberg und Napf in mm	42
3.9	Niederschlag, Abfluss und Abflussdefizit in den Testgebieten Rappen- und Sperbelgraben in mm	44
3.10	Vergleich von Abflussdefizit und Verdunstungshöhe in mm	44
3.11	Abflussmessstellen an Brandöschbach, Fankhusbach und Trueb	46
3.12	Abflussmessungen an Fankhusbach, Brandöschgraben und Trueb	47
3.13	Abflussmessungen an Äschengraben, Sältenbach und Twärengraben	48
3.14	Abflussmessstationen der Landeshydrologie	49
3.15	Qualitätsuntersuchungen in Oberflächengewässern	49
3.16	Messperiode der Grundwasser-Schreibpegel	50
3.17	Standorte der Piezometer	51
3.18	Öffentliche und private Grundwasserfassungen	52
3.19	Qualitätsuntersuchungen im Grundwasser	53
3.20	Differenzmessungen zwischen TRQ11 und TRQ19, Mengen in m ³ /s	57
3.21	Differenzmessungen zwischen TRQ19 und TRQ34, Mengen in m ³ /s	57
3.22	Differenzmessungen zwischen TRQ34 und TRQ41, Mengen in m ³ /s	58
3.23	Differenzmessungen zwischen TRQ41 und TRQ50, Mengen in m ³ /s	58
3.24	Differenzmessungen zwischen TRQ50 und TRQ60, Mengen in m ³ /s	59
4.1	Teileinzugsgebiete im Truebtal	61
4.2	Direkte Grundwasserneubildung, Jahresmittelwert 1991 und 1992	64
4.3	Indirekte Grundwasserneubildung, Jahresmittelwerte 1991 und 1992	65
6.1	Grundwasserbilanz 1991/92	78
6.2	Untersuchte Parameter der physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen	83

	Seite	
6.3	Spezialuntersuchungen	83
6.4	Nitratgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992	85
6.5	Sulfatgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992	86
6.6	Chloridgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992	87
6.7	Gesamthärte in [mmol/l] und [°fr] mit den dazugehörigen Bezeichnungen	88
6.8	Gesamthärte der Untersuchungskampagnen 1990-1992	89
6.9	Sauerstoffsättigung der Messkampagnen 1990-1992	90
6.10	Leitfähigkeit der Messkampagnen 1990-1992	91
6.11	Qualitätsziele, Toleranz- und Grenzwerte für Trinkwasser der untersuchten Schwermetalle	92
6.12	Bakteriologische Grundwasserqualität	94

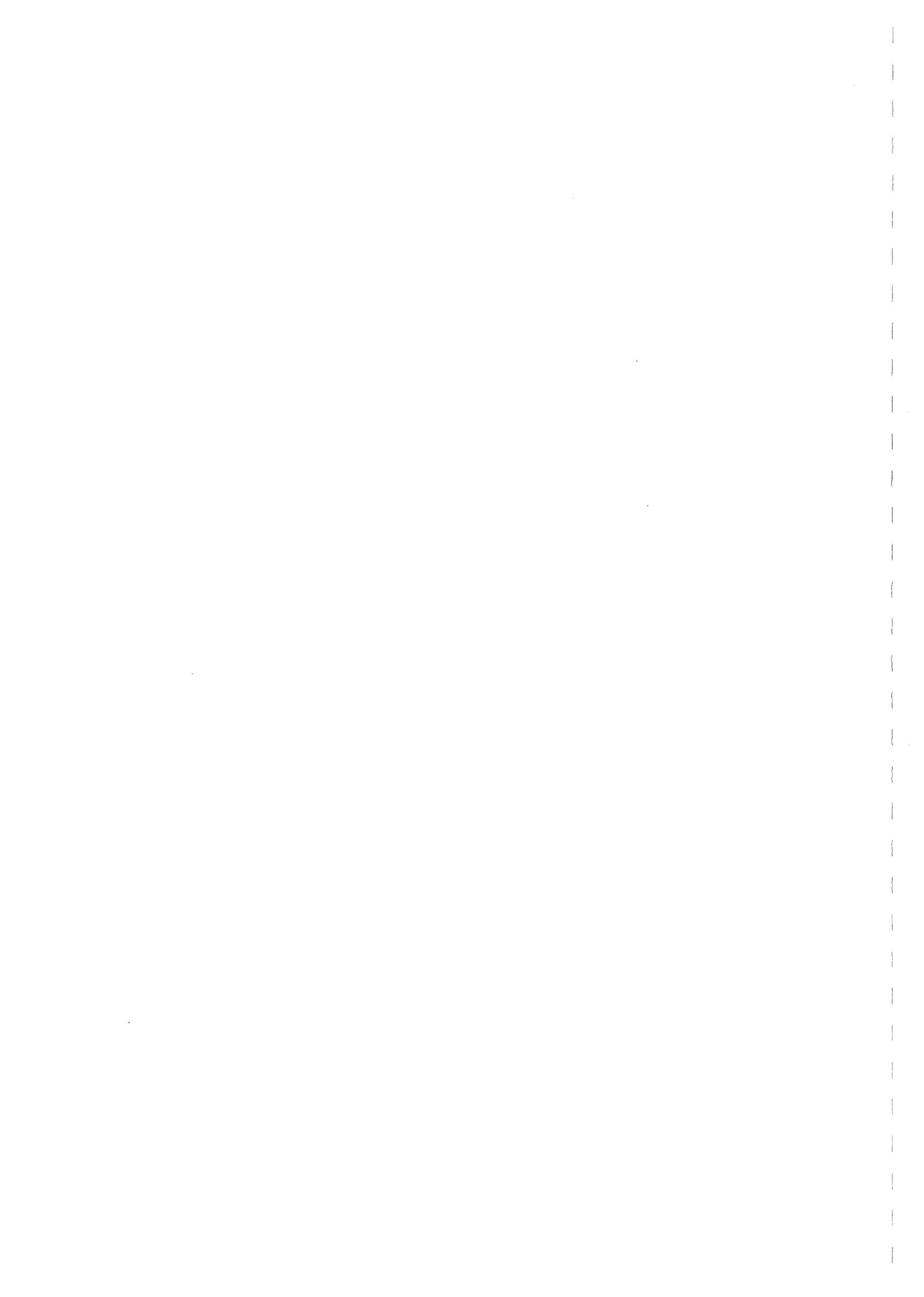
LITERATURVERZEICHNIS	99
----------------------	----

ANHANGVERZEICHNIS	103
-------------------	-----

Profile der Bohrungen TSB50, TRB61, TRB62, TRB63, TRB64, TRB65
(mit WEA - Ordnungsnummer)

BEILAGENVERZEICHNIS

Beilage 1	Hydrogeologische Karte Truebtal Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 22. 4.1991 Oberfläche des Grundwasserstauers 1 : 10 000 Geologische Profile L ~ 1 : 10 000 H ~ 1 : 2 000 5 fach überhöht
Beilage 2	Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte Truebtal 1 : 25 000



ZUSAMMENFASSUNG

Ziele

Im Kanton Bern werden heute mehr als 95 % des Trink- und Brauchwasserbedarfs mit Grundwasser gedeckt. Gute Kenntnisse der Grundwasserleiter, der in ihnen herrschenden Strömungsverhältnisse, der Neubildung des Grundwassers durch versickernde Niederschläge und Oberflächenwasser sind daher äusserst wichtig.

Die Nutzung der öffentlichen Gewässer ist ein Hoheitsrecht des Staates, der für den Schutz der Gewässer und die wirtschaftliche Verwendung des ober- und unterirdischen Wassers verantwortlich ist. Von Gesetzes wegen ist der Staat daher verpflichtet, die Grundwasservorkommen systematisch zu erforschen.

Die Trink- und Brauchwasserfassungen der Region sind gütemässig teilweise gefährdet, da Gefahrenherde im Zuströmbereich liegen. Die langfristige Sicherstellung der regionalen Versorgung erforderte daher, das Grundwasservorkommen im Truebtal zu untersuchen.

Die Arbeiten konzentrierten sich vor allem auf das regional wichtigste Grundwasservorkommen im Haupttal der Trueb zwischen Hüseren und Trubschachen. Die Grundwasserleiter der Seitentäler und Gräben wurden lediglich im Hinblick auf ihre Zuflüsse ins Haupttal in die Untersuchungen einbezogen.

Grundwasservorkommen

Das Grundwasservorkommen zwischen Hüseren und Trubschachen ist ca. 5 km lang und weist eine Gesamtfläche von ca. 1.3 km² auf. Seine Breite variiert zwischen ca. 150 m und 300 m.

Der Grundwasserstauer liegt in einer durch den Gletscher hauptsächlich in den Molassefels eingefressenen Trog, der wahrscheinlich während der Riss-Eiszeit entstand. An einzelnen Stellen können über der Molasse auch noch Moränenrelikte erhalten sein. Mehrere Ablagerungs- und Abtragphasen lassen sich an verschiedenen hochgelegenen Terrassensystemen im Truebtal nachweisen. Vermutlich während der jüngeren Würm-Eiszeit ist der heutige Grundwasserleiter abgelagert worden. Er ist bei Hüseren knapp 40 m, zwischen Trub und Trubschachen mehr als 60 m mächtig.

Der Flurabstand als Differenz zwischen Terrainoberfläche und Grundwasserspiegel ist relativ klein. In Talmitte beträgt er grösstenteils wenige Meter, gegen die Talflanken wird er grösser, gegen die Trueb kleiner.

Die Grundwassermächtigkeit ist somit sehr gross. Bei Hüseren erreicht sie ca. 35 m, zwischen Trub und Trubschachen knapp 60 m. Der mächtige Grundwasserleiter ist relativ gut durchlässig. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte (Profil-k-Werte) betragen im Durchschnitt ca. 2 mm/s, die Element-k-Werte 4.3 mm/s.

Das durchschnittliche Gefälle des Grundwasserspiegels zwischen Hüseren und Trubschachen beträgt ca. 2 %. Dies bewirkt bei einem massgebenden mittleren k-Wert von ca. 4 mm/s und einer durchflusswirksamen Porosität von ca. 12 % eine durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers von ca. 60 m pro Tag.

Der Verlauf des Grundwasserspiegels in der Nähe der Trueb zeigt einen engen Zusammenhang zwischen Oberflächen- und Grundwasser mit intensiven Wechselbeziehungen. Die Exfiltrationsstrecken, wo Grundwasser in die Trueb austritt, dominieren gegenüber den Infiltrationsstrecken wo Truebwasser versickert. Auch treten typische Wehrumströmungen auf: Oberhalb der Wehre fliesst Wasser in den Grundwasserleiter, unterhalb ins Bachbett zurück.

Grundwasserhaushalt im Truebtal

Das Volumen des Grundwasservorkommens (Gesteinskörper + Grundwasser) zwischen Hüseren und Trubschachen beträgt ca. 43 Mio. m³. Es verändert sich wenig, denn die Schwankungen des Grundwasserspiegels sind relativ klein: Oberhalb Trubschachen betragen sie knapp 1 m, bei Trub ca. 2 m, in Hüseren etwas mehr als 2.5 m.

Ein ausgeprägter jahreszeitlicher Schwankungsverlauf ist nicht erkennbar. Die Höchststände können über das ganze Jahr verteilt auftreten. Tiefststände werden vor allem im Herbst nach längeren Trockenwetterperioden registriert. Die Anstiege und Rückgänge der Grundwasserstände infolge von Hochwasserereignissen der Trueb erfolgen sehr rasch und widerspiegeln den engen Zusammenhang zwischen dem Grundwasser und dem Oberflächengewässer.

Auf das Einzugsgebiet der Trueb oberhalb Trubschachen fielen im Jahresmittel 1991/92 ca. 2900 l/s Niederschläge. Davon verdunsteten ca. 1200 l/s (41 %), ca. 950 l/s versickerten (33 %) und ca. 750 l/s (26 %) flossen in der Trueb ab. Der Abfluss der Trueb wurde zusätzlich mit ca. 330 l/s Exfiltrationsüberschuss gespeist, sodass bei Trubschachen im Grundwasserleiter noch ca. 620 l/s und der Trueb ca. 1080 l/s aus dem Truebtal ins Ilfistal wegflossen.

Die Trueb wurde im Durchschnitt der Jahre 1991/92 mit ca. 330 l/s Grundwasser gespeist, das sind etwas weniger als ein Drittel des Truebabflusses. Bei langen Trockenwetterperioden gehen die Exfiltrationsmengen naturgemäss etwas zurück. Ihr Anteil am Truebwasser wird jedoch grösser und erreicht zeitweise 100 %.

Die strömenden Grundwassermengen bleiben relativ konstant. Im Mittel der Jahre 1991/92 betragen sie bei Trub ca. 690 l/s und im Längengrund ca. 700 l/s. Bis Schachehus werden sie infolge der massiven Exfiltration um ca. 100 l/s kleiner und steigen bis Trubschachen wieder auf ca. 620 l/s an.

Grund- und Oberflächenwasserqualität

Die mit den physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen im Truebtal erfassten Parameter variieren räumlich und zeitlich in engen Grenzen. Das Grundwasser erfüllt die Qualitätsziele für Trinkwasser bei weitem. Die Nitratgehalte erreichen beispielsweise im Mittel lediglich ca. 8 mg/l im Grundwasser, bzw. ca. 6 mg/l in der Trueb. Das Qualitätsziel für Trinkwasser beträgt bekanntlich 25 mg Nitrat pro Liter.

Die zusätzlichen Untersuchungen auf Schwermetalle, Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Pestizide zeigten keine entsprechenden Verschmutzungen.

Die bakteriologischen Untersuchungsergebnisse der periodischen Trinkwasserkontrollen durch das kantonale Laboratorium zeigen ebenfalls eine einwandfreie Wasserqualität.

Nutzungs- und Schutzkonzept

Grundlagen für die künftige Trinkwassergewinnung aus Grundwasser

Aus dem Grundwasserleiter zwischen Hüseren und Trubschachen wird heute lediglich in 2 öffentlichen Grundwasserfassungen Trinkwasser gewonnen. Die konzessionierten Leistungen für die Grundwasserfassungen Hüseren und Längengrund betragen zusammen weniger als 15 l/s. Gegenüber der strömenden Grundwassermenge von ca. 600 bis 700 l/s ist die heutige Nutzung somit verschwindend klein: es besteht im Truebtal eine bedeutende Grundwasserreserve. Allerdings ist eine ausreichende Restwassermenge in der Trueb sicherzustellen.

Es ist nur für die Grundwasserfassung Hüseren eine rechtskräftige Schutzzone ausgeschieden. Für die Fassung Längengrund muss dies nachgeholt werden.

Die Grundwasserfassung Hasenlehnmatte der Gemeinde Trubschachen ist gütemässig stark gefährdet. Eine rechtskräftige Schutzzone konnte nicht ausgeschieden werden. Im Zuströmbereich liegt ein grosser Teil des Dorfes. Eine Aussiedlung ins Truebtal drängt sich auf.

Am dorfnächsten und hydrologisch günstig kann eine neue Grundwasserfassung im Gebiet Antiger erstellt werden. Die Gemeinde hat dies vorgesehen, Konzessions- und Schutzzoneverfahren sollen 1994 durchgeführt werden.

RÉSUMÉ

Objectifs

Dans le canton de Berne les besoins en eau potable et en eau d'usage sont couverts pour une proportion de 95 % par l'eau souterraine. C'est pourquoi il importe de disposer de bonnes connaissances sur les aquifères, sur leurs conditions d'écoulement, sur la réalimentation de la nappe par l'infiltration des eaux des précipitations et des cours d'eau.

L'utilisation des eaux publiques est un droit régalien de l'Etat qui est responsable pour la protection des eaux et pour l'utilisation économique des eaux de surface et des eaux souterraines. L'Etat est donc tenu par la loi à explorer systématiquement les gisements d'eau souterraine.

Les captages d'eau potable et d'eau d'usage de la région sont en partie menacés dans leur qualité par des foyers de pollution situés en amont. Pour assurer à long terme l'approvisionnement régional en eau potable il fallait donc explorer les gisements aquifères de la vallée de la Trueb.

Les travaux ont eu pour objet principal l'aquifère le plus important situé dans la vallée centrale de la Trueb entre Hüseren et Trubschachen. Les aquifères des vallées latérales ne furent englobées dans les recherches qu'en tant que pourvoyeurs d'eau à l'aquifère central.

Gisement d'eau souterraine

Le gisement d'eau souterraine entre Hüseren et Trubschachen a une longueur d'environ 5 km, une largeur variant entre 150 et 300 m et une surface totale de 1.3 km².

Le mur de l'aquifère se trouve dans un chenal creusé en grande partie dans la molasse par le glacier rissien. Par endroit l'aquifère repose sur des restes de dépôts morainiques. Les différents systèmes de terrasses sur les hauteurs de la vallée de la Trueb laisse supposer la succession de plusieurs phases de sédimentation et d'érosion. L'aquifère actuel a dû être déposé pendant la période glaciaire récente du Würm. Près de Hüseren il a une épaisseur d'à peine 40 m, entre Trub et Trubschachen de plus de 60 m.

La zone non saturée est assez mince. Au milieu de la vallée, elle a une épaisseur de quelques mètres, le long des flancs de la vallée l'épaisseur croît, pour décroître vers la Trueb.

La zone saturée a donc une épaisseur considérable. Près de Hüseren elle atteint 35 m, entre Trub et Trubschachen quelques 60 m. L'aquifère a une perméabilité relativement bonne. Les coefficients de perméabilité obtenus (coefficients de profil) s'élèvent en moyenne à 2 mm/s, les coefficients par éléments à 4.3 mm/s.

Le gradient moyen de la surface piézométrique est d'environ 2 % entre Hüseren et Trubschachen. En tenant compte d'une perméabilité moyenne de 4 mm/s et d'une porosité efficace de 12 % on obtient une vitesse d'écoulement moyenne d'environ 60 m par jour.

L'allure de la surface piézométrique à proximité de la Trueb indique un rapport étroit entre le cours d'eau et la nappe avec des échanges alternants intenses. Les tronçons exfiltrants, où l'eau souterraine est drainée par la Trueb, dominent en comparaison aux tronçons infiltrants, dans lesquels l'eau de la Trueb pénètre dans la nappe. A proximité de barrages on observe également des infiltrations en amont des barrages accompagnés d'exfiltrations immédiatement en aval de ces mêmes barrages.

Bilan de l'eau souterraine dans la vallée de la Trueb

Le volume du gisement d'eau souterraine entre Hüseren et Trubschachen s'élève à environ 43 mio m³ (squelette minéral et eau souterraine). Ce volume varie peu dans le temps, vu que les variations du niveau de la nappe sont elles-mêmes relativement faibles: en amont de Trubschachen elles s'élèvent à 1 m, à Trub à environ 2 m, à Hüseren à un peu plus de 2.5 m.

On ne distingue pas de tendances saisonnières. Les valeurs maximales s'étalent sur toute l'année. On observe les valeurs minimales surtout en automne après de longues périodes de sécheresse. Les montées et les reculs des niveaux piézométriques dus aux hautes eaux de la Trueb se font très rapidement et illustrent bien les rapports étroits entre la nappe et le cours d'eau.

Dans la moyenne annuelle de la période 1991/92 le bassin versant de la Trueb en amont de Trubschachen a reçu environ 2900 l/s de précipitations. De cette quantité il faut compter 1200 l/s (41 %) pour l'évapotranspiration, 950 l/s pour l'infiltration (33 %) et 750 l/s (26 %) pour l'écoulement dans la Trueb. L'écoulement de la Trueb fut alimenté en outre par 330 l/s d'exfiltration résultante, ce qui donne un écoulement souterrain à Trubschachen de 620 l/s et un écoulement par la Trueb dans la vallée de l'Ilfis de 1080 l/s.

La Trueb fut alimentée dans la moyenne des années 1991/92 par 330 l/s d'eau souterraine, c'est-à-dire un peu moins qu'un tiers de l'écoulement de la Trueb. Par étiage les quantités exfiltrées diminuent naturellement, mais en revanche leur proportion quant au total de l'eau de la Trueb augmente et atteint par moments 100 %.

L'écoulement de la nappe est relativement constant. Dans la moyenne des années 1991/92 il comportait à Trub environ 690 l/s et à Längengrund 700 l/s. A Schachehus l'exfiltration importante le faisait diminuer de 100 l/s. Jusqu'à Trubschachen il remonte à 620 l/s.

La qualité des eaux souterraines et de surface

Les paramètres standard examinés au moyen d'analyses physico-chimiques varient dans une fourchette assez étroite dans le temps et l'espace. L'eau souterraine atteint de loin les normes de qualité pour une eau potable. Par exemple les teneurs en nitrates ne dépassent pas 8 mg/l dans l'eau souterraine et 6 mg/l dans la Trueb. Les normes de qualité pour l'eau potable s'élèvent à 25 mg/l.

La recherche de métaux lourds, de biphénils polychlorés et de pesticides ne mit en évidence aucune pollution.

Les analyses bactériologiques périodiques du Laboratoire cantonal donnent également des résultats irréprochables.

Concept d'utilisation et de protection

Bases pour l'exploitation future d'eau potable de la nappe souterraine

Dans l'aquifère entre Hüseren et Trubschachen ne se trouvent que deux captages publics d'eau souterraine. Les débits concessionnés pour les captages entre Hüseren et Längengrund sont limités à 15 l/s. Comparé à l'écoulement de la nappe (600 à 700 l/s), l'utilisation actuelle est infime: nous sommes donc en présence d'une réserve considérable d'eau souterraine. Cependant il faut assurer un écoulement résiduel suffisant dans la Trueb.

Seul le captage de Hüseren dispose d'une zone de protection en bonne et due forme, le captage de Längengrund n'en a pas.

Le captage d'eau souterraine Hasenlehmatt de la commune de Trubschachen est fortement menacé en ce qui concerne la qualité de son eau. On n'a pas pu mettre en vigueur une zone de protection. Une bonne partie du village est située en amont du captage. Il faudra déplacer ce captage.

Un nouveau captage à proximité du village s'impose du point de vue hydrologique dans la région de Antiger. La commune prévoit d'engager les procédures de concession et de mise sous protection au cours de l'année 1994.

GRUNDLAGEN FÜR SCHUTZ UND BEWIRTSCHAFTUNG DER GRUNDWASSER DES KANTONS BERN

Hydrogeologie Truebtal

1 EINLEITUNG

1.1 Veranlassung und Ziel der Untersuchungen

Die Nutzung der öffentlichen Gewässer (Seen, Flüsse, Bäche und Grundwasser) ist ein Hoheitsrecht des Staates 1). Er hat den Schutz der Gewässer zu vollziehen 2) und die wirtschaftliche Verwendung des ober- und unterirdischen Wassers sicherzustellen 3). Diese Aufgaben erfordern gute Kenntnisse der grundwasserleitenden Gesteine, des in ihnen fließenden Wassers sowie der Grundwasser-Neubildung durch versickernde Niederschläge und einsickerndes Oberflächenwasser (Infiltration). Die gesetzlich geforderte 3) systematische Erforschung der Grundwasser-Vorkommen ist vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt 1968 aufgenommen worden.

Die Trink- und Brauchwasserversorgung im Gebiet Trubschachen ist wegen der zahlreichen im Zuströmbereich der Grundwasserfassung Hasenlehnmatte vorhandenen Gefahrenherde (Gewerbebetriebe, Mineralöltankanlagen, Abwasserleitungen usw.) gütlich stark gefährdet. Seit Jahren war daher geplant im Rahmen der systematischen Erforschung der für die Versorgung wichtigen Grundwasser des Kantons Bern das Grundwasservorkommen im Truebtal, vor allem zwischen Hüseren und Trubschachen, zu untersuchen.

Unter Leitung des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes (Dr. R.V. Blau, Stabsstelle Geologie) wurde ein Untersuchungsprogramm ausgearbeitet für:

- die Erforschung des Grundwasserleiters und den Aufbau eines Messstellennetzes
- hydrometrische und hydrochemische Messungen

mit dem Ziel:

- Modell- und Bilanzierungsgrundlagen
- ein stationär geeichtes numerisches Grundwassermodell
- ein Nutzungs- und Schutzkonzept

bis Ende 1993 zu erarbeiten.

1) Kantonales Gesetz über die Nutzung des Wassers (WNG) vom 03.12.1950 und Aenderungen 1964/68/70/71/89; Art.1.

2) Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GschG) vom 24.01.1991; Art.45.

3) Art.127 und 127a WNG.

1.2 Kredite, Subventionen

In der Septembersession 1989 beschloss der Grosse Rat die hydrogeologischen Verhältnisse im Truebtal mit einem Kredit von Fr. 849 000.-- untersuchen zu lassen.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft subventioniert die Untersuchungen mit 13.7 %.

Die Arbeiten konnten Ende 1989 aufgenommen werden.

1.3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Grundwasservorkommen im Truebtal zwischen Hüseren und Trubschachen mit dem dazugehörigen Einzugsgebiet und den Mündungsbereich im Ifistal (vgl. Beilage 2 mit den folgenden Ortsangaben und Fig. 1.1 als generelle Uebersicht). Die Grenze verläuft von Steinbach im Ifistal über Risisegg, Altgfääl zum Turner (Pt. 1215.5), folgt der Kantonsgrenze Bern-Luzern bis zum Napf und weiter bis zum Hochänzi, führt über Obere Lushütte, Farnli-Esel (Pt. 1383), Geissgratflue, Hohmatt, Schynenzinggen (Pt. 1317) zu Pt. 1189 bei Schynen und von dort in südlicher Richtung über Schwändi, Hohstullen, Oberst-Rigenen, Hasenleewald zurück ins Ifistal nach Blappach und dann der Ifis entlang wieder nach Steinbach.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Fläche von ca. 56 km²; ca. 53 % sind mit Wald, ca. 46 % mit Wiesen und Feldern, knapp 1 % mit Siedlungen bedeckt. Der Napf ist mit 1407.6 m ü.M. der höchste Punkt, der tiefste liegt im Ifistal auf ca. 720 m ü.M.

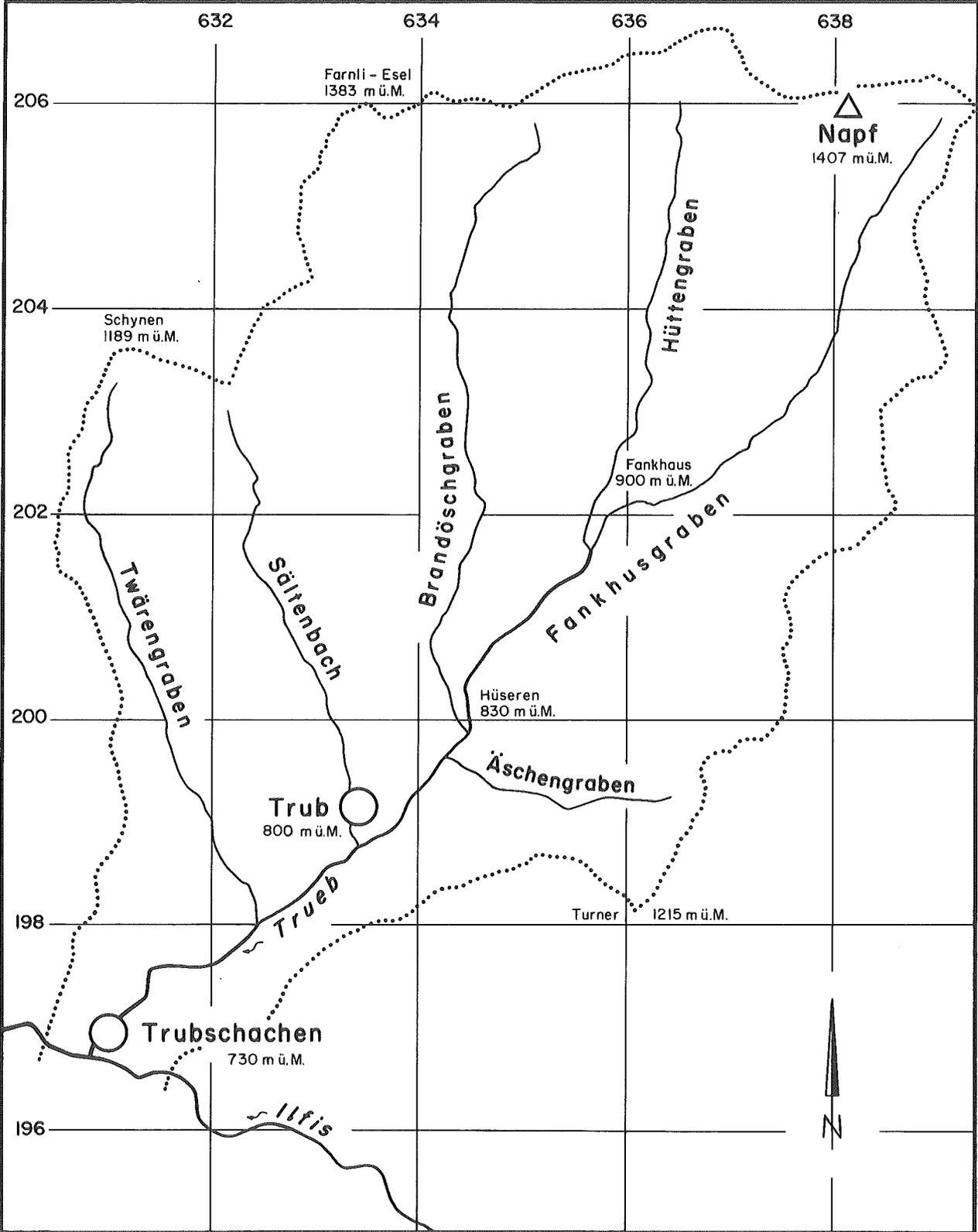
1.4 Untersuchungsablauf

1.4.1 Einbezug vorhandener Untersuchungen

Die von der Geologischen Dokumentationsstelle des WEA gesammelten hydrologischen Unterlagen, die Messdaten und Auswertungen öffentlicher Institutionen über Niederschläge und Oberflächenwasserabfluss wurden in die Untersuchungen einbezogen. Es standen auch einige Bohrresultate von öffentlichen und privaten Bauten bzw. Wasserversorgungen, vor allem im Bereich von Trubschachen, zur Verfügung. Insbesondere zu erwähnen sind :

- Gemeinde Trubschachen, Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung Hasenlehnmatte [3].
- Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Analysen der Starkniederschläge [4].
- Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Einfluss des Waldes auf das Abflussverhalten in den Testgebieten Rappen- und Sperbelgraben [5].
- Schweizerische Meteorologische Anstalt, Klima- und Niederschlagsdaten [6].
- Landeshydrologie und -geologie, Abflussdaten der Messstation Ifis, Langnau [7].

Figur 1.1 Untersuchungsgebiet



- Dissertation von O. Weber, Hydrologische Untersuchung des Oberen Emmentals [8].
- Diverse private hydrogeologische und hydrothermische Untersuchungen [9], [10], [11].

1.4.2 Generelles Vorgehen

Zu Beginn der Untersuchungen sind die vorhandenen Unterlagen gesichtet, gewertet und soweit notwendig aufgearbeitet worden.

Aufgrund der recht spärlichen Daten aus früheren Untersuchungen im eigentlichen Truebtal wurde mit Hilfe von elektromagnetischen-Messungen (VLF) und einer geologischer Kartierung im Gebiet zwischen Hüseren und Trubschachen vorerst der Grundwasserleiter generell abgegrenzt und erste Bohrstandorte festgelegt. Dabei zeigte sich, dass mit tiefen Sondierbohrungen gerechnet, die Anzahl der Bohrungen daher aus Kostengründen reduziert, die Abgrenzung des Grundwasserleiters relativ generell aufgrund der geologischen Kartierung und der VLF-Messungen vorgenommen werden musste.

Die Sondierbohrungen ermöglichten, punktuelle Daten über den Grundwasserleiter und den Grundwasserstauer zu erheben, Messstellen für Kleinpumpversuche kombiniert mit Flowmetermessungen, die Entnahme von Proben für physikalisch-chemische Untersuchungen und die kontinuierliche Aufzeichnung der Grundwasserstände mittels Schreibpegel zu schaffen.

Im Bereich kleiner Flurabstände (< ca. 8 m) wurden Piezometerrohre gerammt und die Grundwasserstände periodisch gemessen.

Mit Abstichpunkten und mehreren Abflussmessstellen (davon eine Abflussmessstation) wurden die Oberflächenwasserstände und Abflussmengen der Trueb, des Fankhus- und Brandöschbaches erfasst, mit Differenzabflussmessungen die In- und Exfiltrationsüberschüsse ermittelt.

Der Aufbau des Messstellennetzes erfolgte ab 1989 parallel zu den Feldaufnahmen, Feldversuchen, Messungen und Zwischenauswertungen. Die kontinuierliche Erhebung von Messwerten an Grund- und Oberflächengewässern erstreckte sich über die Jahre 1990 bis 1992.

Das Grundwassermodell Truebtal wurde für die Jahresmittelwerte 1991/92 und die Simultanmessung vom 22.04.1991 stationär geeicht.

Die massgebenden sechs physikalisch-chemischen Untersuchungskampagnen fanden zwischen Februar 1990 und September 1992 statt. Die Probenahmen erfolgten vor allem in den neuerstellten Bohrungen, der Grundwasserfassung Hüseren der Gemeinde Trub und in der Trueb.

Anfangs 1993 gliederte das WEA die Grundwasserstands-Messstation TRB61 sowie die Abflussmessstation TRQ50 an der Trueb in das Netz der permanenten hydrometrischen Stationen des Kantons Bern [12] ein.

1.5 Bearbeiter

Die Untersuchungen wurden geleitet von Dr. R.V. Blau, Stabsstelle Geologie des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes (WEA).

Im Rahmen einer Diplomarbeit des Geologischen Institutes der Universität Bern untersuchte A. Hurni (Leitung: Prof. Dr. A. Matter und Dr. R.V. Blau) seit Sommer 1989 die geologischen Verhältnisse des Truebtals zwischen Trubschachen und Hüseren sowie der seitlichen Talflanken. Seine Arbeiten wurden mit den Untersuchungen für die Hydrogeologie Truebtal weitmöglichst koordiniert. Seine Diplomarbeit [2] behandelt neben den geologischen auch hydrogeologische Aspekte des Grundwasservorkommens Truebtal.

Für den Programmablauf, die Bauleitung der Fremdarbeiten, die Erstellung der Messstellen, die Feldversuche, die Datenerhebung und -verarbeitung, den Aufbau des numerischen Grundwassermodells, die übrigen hydrologischen Auswertungen und Darstellungen war das Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf, zuständig, vor allem: A. Werner, dipl. Ing. ETH-Z, P. Biedermann, R. Bigler und F. Lüthi, dipl. Ing. HTL, A. Hurni, Diplomgeologe, R. Ryser, R. Marx sowie Frau S. Nolte und L. Suter.

Die geophysikalischen Untersuchungen (VLF-Messungen und Hammerseismik) sind von Prof. Dr. I. Müller, Neuenburg, die Bohrarbeiten von der Stämpfli AG Spezialtiefbau, Langnau, durchgeführt worden.

Die physikalisch-chemischen Analysen sowie die speziellen Untersuchungen besorgte das Kantonale Laboratorium, Bern.

An dieser Stelle sei allen, die Unterlagen zur Verfügung stellten oder aktiv mitgeholfen haben, ganz herzlich gedankt. In den Dank einbezogen werden auch die Mitarbeiter der Wasserversorgungen und Gemeindeverwaltungen von Trub und Trubschachen. Sie waren stets bereit, ihr spezielles Wissen mitzuteilen. Ebenfalls herzlichen Dank gebührt den vielen Privaten, die uns bereitwillig ihre örtlichen Kenntnisse, ihr Land für Bohr-, Rammarbeiten und Installationen von Messgeräten zur Verfügung stellten.

1.6 Dokumentation der Untersuchungsergebnisse

Während der Untersuchungsperiode wurde in dem im November 1991 erschienenen Zwischenbericht über wichtige Teilergebnisse berichtet [1].

Es würde den Umfang dieses Berichtes sprengen und die Leserlichkeit unnötig erschweren, wenn sämtliche erhobenen Daten und die zum Teil komplexen und umfangreichen Berechnungen hier wiedergegeben würden. Sie liegen als Arbeitsunterlagen vor; der Grossteil der Messdaten ist auf Disketten für IBM-kompatible Computer gespeichert. Dieser Bericht beschränkt sich daher auf die wesentlichen Ergebnisse und Schlussfolgerungen.

Bekanntlich erhält jedes Feldobjekt (Messstelle, Bohrung, Fassung usw.) für die hydrogeologische Dokumentation des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes eine koordinatenbezogene WEA-Nummer, z.B. 633/198.1 (letzte Zahl als fortlaufende Ordnungsnummer). Die in die Untersuchungen einbezogenen Objekte werden zusätzlich mit einer fünfstelligen Feld- bzw. Kurzbezeichnung versehen, z.B. TRP74. Im Textteil des Berichtes wird die Kurzbezeichnung verwendet, in den Beilagen 1, 2 jeweils die Ordnungsnummer der WEA-Bezeichnung. In den Tabellen von Kapitel 2 werden die Objekte mit der Kurzbezeichnung und der WEA-Nummer angegeben.

2. HYDROGEOLOGIE

2.1 Elektromagnetische-Messungen (VLF) und Seismik

Das VLF-Messverfahren benutzt in der Atmosphäre vorhandene Trägerwellen von Radiosendern und grossen Funkstationen in den Frequenzbereichen von 10 bis 250 kHz (VLF: Very Low Frequency) [13,14]. Diese elektromagnetischen Wellen dringen auch in den Untergrund ein und erzeugen elektrische Potentialdifferenzen, welche materialabhängig sind. Mit 2 Sonden im Abstand von 5 m können die Potentialdifferenzen und mit einer Empfängerantenne die elektromagnetische Feldstärke der Signale ausgemessen werden. Diese beiden Parameter erlauben es, den lokalen Widerstandswert des Untergrundes zu ermitteln. Das Verfahren hat den Vorteil, dass bei günstigen Materialkonfigurationen sehr rasch und mit verhältnismässig geringem Aufwand flächenmässig und bis in Tiefen von ca. 30 bis 100 m (je nach Untergrund) ein genereller Überblick über die Mächtigkeit und die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters gewonnen werden kann. Dank dem guten lokalen Auflösungsvermögen (der gemessene Widerstandswert gilt für den Bodenbereich zwischen den beiden Sonden) lassen sich auch günstige Bohrstandorte festlegen.

Im Bereich von ober- oder unterirdischen Leitungen (Strom, Telefon, Wasser) und armiertem Beton, d.h. vor allem in überbautem Gebiet, lässt sich das VLF-Verfahren nur schlecht oder gar nicht einsetzen.

VLF-Messungen wurden vor allem im Truebtal zwischen Hüseren und Trubschachen, im Mündungsbereich der nördlich angrenzenden Täler von Brandöschbach, Sältenbach und Twärengraben vorgenommen. Sie erleichterten zusammen mit der geologischen Kartierung [2] die Abgrenzung des Grundwasserleiters in Beilage 1.

Infolge der relativ grossen Mächtigkeit der Lockergesteine konnte ihre untere Begrenzung nur an den seitlichen Rändern und im oberen Teil des Grundwasserleiters (z.B. geologisches Querprofil beim Pumpwerk Hüseren, vgl. Beilage 1) erfasst werden.

Eine lokale Ergänzung der VLF-Messungen mit Hammer-Seismik drängte sich vor allem im unteren Teil des Truebtals auf, um bessere Hinweise auf die Schichtgrenze zwischen Fest- und Lockergesteinen bei späteren Bohrstandorten zu erhalten. Mit einem Hammerschlag auf eine Stahlplatte, die satt auf der Erdoberfläche aufliegt, wird im Untergrund ein Schallimpuls erzeugt, der sich je nach Material mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausbreitet. An Schichtgrenzen wird ein Teil der Schallwellen Richtung Erdoberfläche reflektiert. Mit einer in Reihe ausgelegten Serie von Geophonen (sehr empfindliche Mikrophone) lässt sich die Laufzeit des Schallimpulses im Boden messen und daraus auf das Bodenmaterial und die Schichtgrenzen schliessen.

Bei 3 reflexionsseismischen Längenprofilen von je 115 m Länge wurde anstelle des Hammerschlages mit der sogenannten seismic gun geschossen (Detonation von Jagdpatronen), die Signale mit den Geophonen aufgefangen und anschliessend mathematisch verarbeitet [15].

Die Profilsuren sind in Beilage 1 ersichtlich. Die Auswertungen ergeben eine Mächtigkeit des Schottergrundwasserleiters für die drei Linien zwischen 50 und 65 m. Darunter liegen schlecht durchlässige Gesteine, der Grundwasserstauer. Es dürfte sich untergeordnet um Moränenablagerungen, meistens jedoch um Molassefels handeln.

2.2 Sondierbohrungen

Sondierbohrungen bilden die wichtigste Quelle für detaillierte Informationen über den Profilaufbau des Untergrundes und die Oberfläche des Grundwasserstauers. Sie ermöglichen zudem, massgebende Messstellen zur Ermittlung der Grundwasserstände, der Strömungsverhältnisse und der Eigenschaften des Grundwasservorkommens zu erhalten.

Im Truebtal gab es nur wenige Sondierbohrungen, die sich für den Einbezug in die Untersuchungen eigneten. Infolge der grossen erforderlichen Bohrtiefe musste zudem die Anzahl der neuen Bohrungen auf 6 Stück beschränkt werden.

Im folgenden werden vorerst die wichtigsten Daten der nützlichen bestehenden und anschliessend der neuen Bohrungen zusammengestellt.

2.2.1 Bestehende Sondierbohrungen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Bohrresultate. Die Standorte der Bohrungen sind in Beilage 1, einzelne Begriffe in Figur 2.1 ersichtlich.

Tabelle 2.1 Zusammenstellung der wichtigsten Bohrresultate der bestehenden Bohrungen

Feldbezeichnung	WEA-Nummer	Erstellungsjahr	Bohr-Koordinaten [m]	OK Terrain [m ü.M.]	UK Deck-schicht [m ü.M.]	OK Stauer [m ü.M.]	OK Molasse [m ü.M.]	UK Bohrung [m ü.M.]
TRRF1	634/200.001	1966/67	634452/200235	ca. 828.8	-	ca. 819.8	ca. 819.8	ca.816.8
TRLF1	632/197.001	1947	632110/197830	ca. 760.0	-	n.e.	n.e.	753.10
TSLF1	631/196.024	1988	631119/196998	734.35	733.85	n.e.	n.e.	689.35
TSKB1	631/196.025	1988	631335/196625	732.30	731.00	692.30	692.30	691.00
TSKB2	631/196.026	1988	631240/196688	734.00	730.70	n.e.	n.e.	714.70
TSKB3	631/196.027	1988	631265/196723	735.30	733.00	n.e.	n.e.	723.00
TSHF1	630/196.001	1946	630795/196785	728.50	727.80	n.e.	n.e.	714.40
TRMB1	630/196.026	1984	630690/196670	727.75	726.65	n.e.	n.e.	712.75
TRMB2	630/196.027	1984	630730/196690	725.15	724.65	716.15	n.e.	710.15

n.e. = nicht erreicht

2.2.2 Neue Sondierbohrungen

Von Dezember 1989 bis Februar 1990 wurden 6 Sondierbohrungen mit dem Rotationskern-Bohrverfahren abgetieft. Ihre Standorte sind aus der Beilage 1 ersichtlich. Alle liegen im Grundwasserleiter zwischen Trub und Trubschachen. Die sechs Bohrungen wurden bereits im Zwischenbericht [1] eingehend dokumentiert. Ihre Bohrprofile sind im Anhang abgebildet und werden in der Dokumentationsstelle des WEA archiviert.

Die Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Bohrresultate.

Tabelle 2.2 Daten der WEA-Bohrungen

Feld- bezeichnung	WEA- Nummer	Erstellungsjahr	Bohr- Koordinaten [m]	OK Terrain [m ü.M.]	UK Deck- schichten [m ü.M.]	OK Stauer [m ü.M.]	OK Molasse [m ü.M.]	UK Bohrung [m ü.M.]
TRB65	633/198.007	1990	633435/198870	791.35	789.35	n.e.	n.e.	760.35
TRB64	632/198.025	1990	632810/198370	774.90	774.50	n.e.	n.e.	734.40
TRB63	632/198.017	1990	632355/198050	766.20	keine	n.e.	n.e.	736.20
TRB62	631/197.031	1990	631980/197685	756.90	756.30	n.e.	n.e.	726.50
TRB61	631/197.023	1989	631620/197625	748.50	745.80	n.e.	n.e.	718.50
TSB50	631/197.021	1989	631570/197525	746.90	746.30	697.80	697.80	695.90

n.e. = nicht erreicht

Die einzelnen Bereiche, deren Höhenbegrenzungen in den Tabellen 2.1 und 2.2 aufgeführt sind, werden in Figur 2.1 schematisch dargestellt und lassen sich generell wie folgt charakterisieren:

Deckschichten: Humus oder Auffüllung, darunter meistens stark sandige Stillwassersedimente (Oberkante Terrain bis Unterkante Deckschichten).

Grundwasserleiter: Sandiger bis stark sandiger, leicht siltiger bis siltiger Kies im allgemeinen mit Komponenten der Steinfraktion (Schotter), (UK Deckschicht bis OK Stauer).

Grundwasserstauer: Der Grundwasserstauer wurde lediglich in den Bohrungen TSB50, TRRF1, TSKB1 und TRMB2 erreicht. Im allgemeinen wird der Grundwasserstauer durch die Molasse gebildet, nur untergeordnet durch feinkörnige, schlecht durchlässige Lockergesteine (Grundmoräne).

Molassefels: Nagelfluh, untergeordnet Sand- und Siltstein (OK Molasse bis UK Bohrung).

2.3 Verlauf des Grundwasserstauers

Die Oberfläche des Grundwasserstauers, im folgenden kurz Stauerfläche genannt, bildet die untere und seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters. Sie bestimmt zusammen mit dem Grundwasserspiegel die Ausdehnung und Mächtigkeit des Grundwasservorkommens. Ihr Verlauf muss deshalb bei regionalen hydrogeologischen Untersuchungen möglichst umfassend abgeklärt werden. Dies kann fehlerfrei nur punktuell mit Sondierungen, vor allem mit kostspieligen Bohrungen, in günstigen Fällen generell mit geophysikalischen Methoden (z.B. VLF-

Messungen) und vor allem an den Talflanken mit geologischen Feldaufnahmen erfolgen. Die entsprechenden Resultate werden normalerweise zu sog. Stauerkarten verarbeitet, in denen mit Höhenkurven, sog. Isohypsen, die Oberfläche des Grundwasserstauers nachgebildet wird.

Die seitliche Begrenzung des Grundwasservorkommens und das bereits in Abschnitt 2.1 erwähnte, in Abschnitt 2.5.3 beschriebene Querprofil Hüseren sind vor allem mit Hilfe geologischer Feldaufnahmen und VLF-Messungen bestimmt worden. Für tiefe Bereiche der Stauer-oberfläche konnten lediglich generelle Hinweise aus den VLF-Messungen, die Resultate der geoseismischen Messungen und die exakten Koten der wenigen Bohrpunkte herangezogen werden.

Aufgrund der Form der Staueroberfläche kann auf deren Entstehungsgeschichte geschlossen werden. Für eine fluviatile Bildung würde ein ausgeprägtes Relief sprechen, mehrere relativ schmale, verschieden tiefe Rinnen liegen nebeneinander. Das Querprofil eines fluviatil gebildeten Tales wirkt unruhig. Je regelmässiger und weiter das Tal, desto eher ist es glazial gebildet oder überprägt. Wichtig sind die Übergänge von Seitentälern ins Haupttal. Falls sie schwellenartig sind, deutet dies auf unterschiedliche Bildungsmechanismen der zusammentreffenden Täler hin [2].

Die trogförmige Ausbildung (vgl. Querprofile Beilage 1) deutet auf eine glazigene Entstehung des Truebtals hin. Die Profile weisen keine schmalen rinnenförmigen Strukturen auf und sind über die ganze Breite relativ regelmässig ausgebildet. Die drei seismischen Profile zeigen keine extremen Kotensprünge. Im Übergang zum Ilfistal weist nichts auf eine schwellenartige Struktur hin. In der Gegend von Langnau ist das Ilfistal glazigene gestaltet worden, wie Grundmoränenablagerungen zeigen [16]. Auch im Ilfistal bei Trubschachen sind Überreste von Moräne gefunden worden (Bohrung TRMB2). Das Ilfis- und das Truebtal dürften daher auf die gleiche Weise entstanden sein.

Nach der Erosion der Trogtäler, vermutlich während der Riss-Eiszeit, wurden die Talungen, vermutlich während der jüngeren Würm-Eiszeit, mit mächtigen Schotterablagerungen aufgefüllt, die die heutigen Grundwasserleiter bilden [2].

Beilage 1 zeigt die seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters, die Isohypsen der Stauer-oberfläche und drei geologische Querprofile.

Das untersuchte Grundwasservorkommen im Truebtal ist ca. 5 km lang und weist eine Gesamtfläche von ca. 1.3 km² auf. Die Breite variiert zwischen 0.15 und 0.3 km. Die durchschnittliche Neigung der Grundwasserstauer-Oberfläche zwischen Hüseren und Trubschachen beträgt rund 2.5 %.

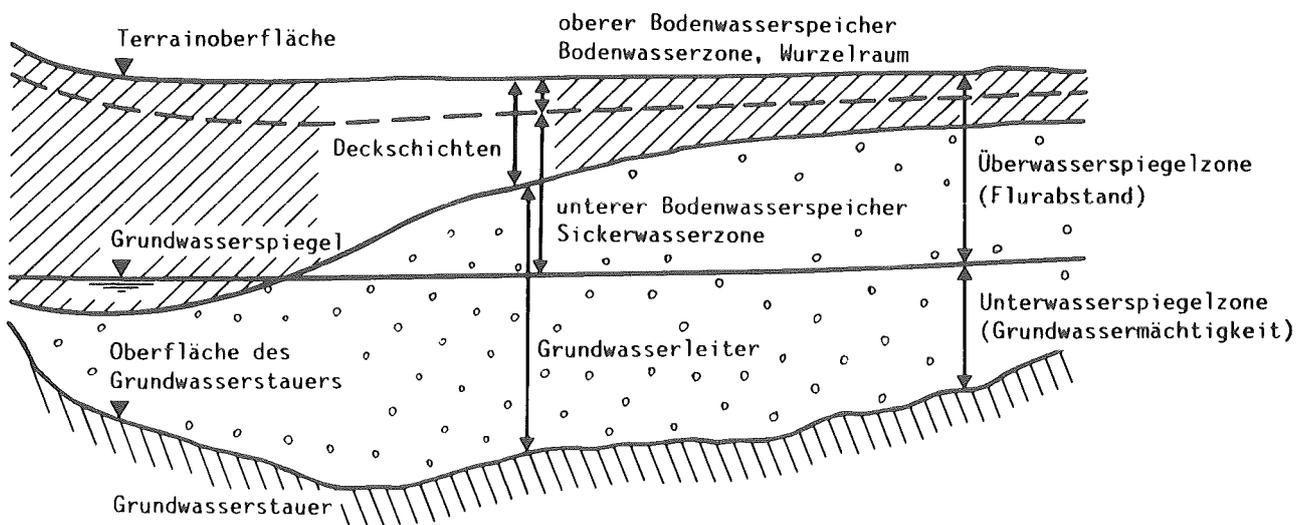
2.4 Deckschicht und Grundwassermächtigkeit

Als Grundwasserleiter wirken die über dem Grundwasserstauer anstehenden, gut durchlässigen Schotter. Zwischen der Terrainoberfläche und dem Grundwasserstauer liegen die Ueber- und die Unterwasserspiegelzone, welche durch den Grundwasserspiegel getrennt werden, der seitlich an den Grundwasserstauer grenzt. Die Mächtigkeit der Ueberwasserspiegelzone wird als Flurabstand, diejenige der Unterwasserspiegelzone, in der Grundwasser strömt, als Grundwassermächtigkeit bezeichnet.

Die unmittelbar unter der Terrainoberfläche liegende Bodenwasserzone entspricht dem von der Vegetation durchwurzelten Bereich und weist häufig eine Mächtigkeit von ungefähr 1 m auf. Im Zusammenhang mit der Speicherung der Niederschläge wird sie als oberer Bodenwasserspeicher bezeichnet. Deckschichten werden die vorwiegend feinkörnigen, oberflächennahen Bodenschichten genannt, die über dem gut durchlässigen Schotter liegen. In sie eingeschlossen wird meistens auch die Bodenwasserzone. Die Sickerwasserzone (= unterer Bodenwasserspeicher) entspricht dem Bereich unter der Bodenwasserzone bis zum Grundwasserspiegel. Die Grundwasserleiter (= unterer Bodenwasserspeicher) entspricht dem Bereich unter der Sickerwasserzone bis zum Grundwasserspiegel.

Figur 2.1 zeigt schematisch einen Schnitt durch ein Lockergesteins-Grundwasservorkommen und die kurz beschriebenen Begriffe.

Figur 2.1 Schematischer Schnitt durch ein Lockergesteins-Grundwasservorkommen



Die oberflächennahen feinkörnigen und daher schlecht durchlässigen Deckschichten können den vertikalen Eintrag von Schadstoffen von der Oberfläche ins Grundwasser teilweise verhindern oder zeitlich verzögern und dämpfen. Damit ihre Schutzfunktion bedeutungsvoll ist, sollten sie jedoch mindestens einige Meter mächtig sein.

Die Mächtigkeit der Deckschichten im Hauptgrundwasservorkommen des Untersuchungsgebietes zwischen Hüseren und Trubschachen ist meistens klein und beträgt maximal 3.3 m (vgl. Tab. 2.1 bis 2.3).

Die grösste erbohrte Mächtigkeit des grundwasserführenden Schotterkörpers beträgt mehr als 45 m. Sie ist damit beachtlich. Die seismischen Messungen deuten sogar noch auf etwas grössere Mächtigkeiten hin.

Die Flurabstände sind in grossen Teilen des Untersuchungsgebietes relativ klein und betragen bei mittleren Grundwasserständen weniger als 10 m. In Randbereichen des Grundwasserleiters vor allem auf der rechten Talseite, wo Schotterterrassen- und Schuttfächersysteme ausgebildet sind, können sie auf über 20 m ansteigen.

In Tabelle 2.3 wurden für die Bohrstandorte gemäss Tabellen 2.1 und 2.2 die Deckschicht- und die Grundwassermächtigkeit sowie der Flurabstand zusammengestellt.

Tabelle 2.3 Daten des Grundwasserleiters

Feld- bezeichnung	WEA- Nummer	GW-Stand 23.07.90* [m ü.M.]	Deckschicht- mächtigkeit [m]	Flur- abstand [m]	GW- Mächtigkeit [m]
TRRF1	634/200.001	823.67	?	5.1	(3.9)
TRB65	633/198.007	782.74	2.0	8.6	>22.4
TRB64	632/198.025	771.81	0.4	3.1	>37.4
TRB63	632/198.017	762.92	0.0	3.3	>26.7
TRLF1	632/197.001	(756.3)	?	3.7	> 3.2
TRB62	631/197.031	752.36	0.6	4.5	>25.9
TRB61	631/197.023	745.94	2.7	2.6	>27.4
TSB50	631/197.021	743.72	0.6	3.2	45.9
TSLF1	631/196.024	(729.3)	0.5	5.0	>40.0
TSKB1	631/196.025	(727.9)	1.3	4.4	35.6
TSKB2	631/196.026	(727.1)	3.3	6.9	>12.4
TSKB3	631/196.027	(727.0)	2.3	8.3	> 4.0
TSHF1	630/196.001	(723.9)	0.7	4.6	> 9.5
TRMB1	630/196.026	(722.2)	1.1	5.6	> 9.4
TRMB2	630/196.027	(722.0)	0.5	3.1	5.9

* Werte in Klammern aus Bohrprofilen

2.5 Geologische Situation und Querprofile

2.5.1 Molasse [2]

Das Truebental liegt im Gebiet des miozänen Napfschuttfächers, der von der Ur - Aare in die Vorlandsenke der Alpen geschüttet wurde. Es können drei lithostratigraphische Einheiten unterschieden werden. Die unterste Einheit bildet das kontinentale Äquivalent der St. Galler Formation, das entlang der Trueb ansteht und eine aufgeschlossene Mächtigkeit von 250 - 300 m aufweist. Diese Gesteine wurden zur Zeit der Oberen Meeresmolasse abgelagert. Darüber folgen die Basismergelzone der Napfschichten (ca. 60 m mächtig) und die Napfschichten (maximale Mächtigkeit im Napfgebiet ca. 700 m), die zur Zeit der Oberen Süsswassermolasse sedimentiert wurden. Im Einzugsgebiet der Trueb findet man sie in den höheren Lagen ab etwa 950 (NW) bis 1100 m ü.M. (SE). Die Schichten fallen mit 4 - 8° gegen NW-N ein. Die Neigung nimmt von SE nach NW und in der Schichtreihe von unten gegen oben kontinuierlich ab.

Sowohl in der St. Galler Formation wie in den Napfschichten dominieren mächtige konglomeratische Abfolgen. Sie werden von meist geringmächtigen sandig-siltigen Abfolgen unterbrochen. Die konglomeratischen Abfolgen sind Rinnengürtelsedimente, die sandig-siltigen dagegen meist Sedimente der Überschwemmungsebene eines Flusssystemes. Teilweise sind auch Sedimente aus dem Übergangsbereich dieser beiden Ablagerungsräume aufgeschlossen (gebankte und / oder gradierte Sandsteine der Uferwälle). Die Napfschichten unterscheiden sich von der St. Galler Formation durch ihren grösseren Anteil der sandig-siltigen Gesteine. Die Gesteine der St. Galler Formation sind in einem verwilderten bis sehr schwach mäandrierenden, diejenigen der Napfschichten in einem verwilderten bis leicht mäandrierenden Flusstyp abgelagert worden.

Die Alter der lithostratigraphischen Einheiten im Truebtal konnten mit Hilfe der Säugetierbiostratigraphie datiert werden. So war es möglich, die Sedimente mit denjenigen in anderen Gebieten zu korrelieren. Diese Korrelation ergibt, dass im Truebtal zur Zeit der Ablagerung der Oberen Meeresmolasse (St. Galler Formation) kontinentale Verhältnisse herrschten. Da aber in gleichaltrigen Ablagerungen westlich von Langnau marine Fossilien gefunden wurden, befand sich das Truebtal in nur 5 - 10 km Entfernung von der damaligen Meeresküste. Auch im Raum Luzern herrschten zu dieser Zeit marine Verhältnisse, so dass sowohl gegen Osten wie Westen ein lateraler Fazieswechsel von kontinentalen zu marinen Verhältnissen zu beobachten ist. Weitere Säugetierzahnfunde in höheren Ablagerungen des Napfschuttfächers vervollständigen die Datierung der Schichtreihe.

2.5.2 Quartär [2]

Nach heutigem Kenntnisstand sind die quartären Ablagerungen im Oberen Emmental folgendermassen entstanden: Während dem Mindel-Riss-Interglazial lagen die Talböden in der Region Langnau um gut 100, bei Eggwil und vermutlich auch im Truebtal um etwa 150 m höher als die heutigen. Während der Riss-Eiszeit dringt ein Eislappen des Rhonegletschers vom Aaretal her bis E des Napfs zum Talzug Schangnau-Escholzmatt-Wolhusen vor [37]. Die Täler werden während dieser Zeit auf ihr heutiges Niveau vertieft. Die Talfurchen werden anschliessend mit sog. Rinnenschottern wieder aufgefüllt und es werden Moränen und Eisrandterrassen angelagert (Bremgarten-Bern-Stadium). Bergseits bleiben Relikte des voreiszeitlichen Talbodens stehen. Diese Relikte bilden vermutlich das Terrassensystem T3. Zu ihm gehören wahrscheinlich auch die auf der rechten Seite des Truebtales, 150 - 170 m über dem heutigen Talboden liegenden Terrassen (Gebiete Fouz, Heidbühl, Christisberg, Schwibbogen). Während der älteren Würm-Eiszeit wird das Emmental bei Burgdorf durch den Rhonegletscher abgeschlossen. Das führt zu einer gewaltigen Akkumulation von Stauschottern (bis auf die Höhe des Terrassensystems T2 (im Truebtal 60 bis 70 m über dem heutigen Talboden). Nach dem Rückzug des Rhonegletschers wird ein Grossteil der vorhandenen Ablagerungen erodiert, so dass nur noch Relikte übrigbleiben. Zu diesem System gehören u.a. die Terrassen von Wingeibergli, Unter-Bramerboden und Blapbachbergli im Ifistal, sowie diejenigen von Unterschwand (Eingang zum Truebtal, linke Talflanke), Christisberg, Unter-Hälig, Chlosteregg und Schlössli im Truebtal.

In der jüngeren Würm-Eiszeit stiessen verschiedene lokale Kargletscher im Napfgebiet und ausserdem noch Äste des Waldemme- und des Emme-Gletschers durch das Ifistal bis vor die Mündungen der beiden Täler E von Trubschachen vor. Mächtige Schottermassen sind abgelagert worden. Die anschliessende Erosionsphase führte zur Bildung eines weiteren Terrassensystems T1 (im Truebtal meist 6 bis 8 m über dem heutigen Talboden gelegen). In höhergelegenen Gebieten des Brandösch- und des Fankhusgrabens geht die Sedimentakkumulation auch heute noch weiter.

2.5.3 Geologische Querprofile

Nähere Angaben über die generell beschriebenen Stauer-, Deckschicht- und Grundwasserleitungsverhältnisse werden im folgenden für 3 Querprofile gegeben; vgl. Profilkonstruktionen, Massstab 1 : 10 000 / 2000, 5-fach überhöht, in Beilage 1.

Die Achsen der Querprofile wurden nach hydrogeologischen Gesichtspunkten ausgewählt. Das geologische Profil I Hüseren liegt im Mündungsgebiet des Fankhusgrabens in der Nähe des Bilanzierungsprofils Hüseren. Die Beschreibung stützt sich auf VLF-Messungen und Daten der Bohrung bei der Grundwasserfassung Hüseren der WV Trub. Das Profil II Underfeld liegt ca. 2.5 km talabwärts von Profil I etwa in der Mitte zwischen Hüseren und der Einmündung ins Ilfistal. Es basiert vor allem auf den Informationen von Sondierbohrung TRB64 und dem nahegelegenen seismischen Profil. Profil III Trubschachen ist identisch mit dem Bilanzierungsprofil Trubschachen am Ausgang des Truebtals. Als Anhaltspunkt über die Stauerlage diente die rund 100 m entfernte Bohrung TSLF1 [10] und das Einfallen der Talflanken.

2.6 Durchlässigkeitsverhältnisse

Das Mass für die Wasserdurchlässigkeit im Grundwasserleiter ist der Durchlässigkeitsbeiwert bzw. der k-Wert. Es wird zwischen dem Profil-k-Wert, dem Bereichs-k-Wert und dem Gebiets-k-Wert unterschieden. Der Profil-k-Wert entspricht einer über die gesamte Grundwassermächtigkeit gemittelten, horizontalen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in der unmittelbaren Umgebung der Versuchsstelle. Der Bereichs-k-Wert gibt die mittlere horizontale Durchlässigkeit eines beliebigen vertikalen Abschnittes (z.B. 1 m) des Grundwasserleiters an. Beide k-Werte werden normalerweise mit Kleinpumpversuchen kombiniert mit Flowmetermessungen in verfilterten Aufschlussbohrungen ermittelt [17,18]. Bei Grosspumpversuchen werden die Wasserspiegel nicht nur am Versuchsstandort sondern auch in mehreren benachbarten Messstellen beobachtet. Dies erlaubt, die mittlere horizontale Durchlässigkeit des mit dem Messstellennetz erfassten Gebietes, den sog. Gebiets-k-Wert, zu bestimmen. Die Gebiets-k-Werte sind oft grösser als die in den Kleinpumpversuchen ermittelten Profil-k-Werte.

In Tabelle 2.5 sind die Resultate der Kleinpumpversuche mit Flowmetermessungen für die Hydrogeologie Truebtal (oben) und der anderweitig durchgeführten Versuche zusammengestellt.

Die Profil-k-Werte schwanken lediglich zwischen ca. 0.8 und 2.9 mm/s und betragen im Durchschnitt ca. 2 mm/s. Die Figur 2.2 gibt einen Überblick über die lagemässige Verteilung der Profil-k-Werte. Die maximalen Bereichs-k-Werte variieren zwischen ca. 5.3 und 18.4 mm/s.

Auffallend sind die teilweise sehr grossen, nach unten gerichteten (-) maximalen Vertikalströmungen. Sie sind auf Druckunterschiede im Grundwasserleiter zurückzuführen. Eine dichter gelagerte, schlechter durchlässige Zwischenschicht kann diese verursachen. Durch das Filterrohr wird die Stauschicht durchlöchert und die Vertikalströmung kanalisiert. Die in den Bohrungen aufgeschlossenen Gesteine ergeben keine eindeutigen Hinweise auf schlecht durchlässige Zwischenschichten; die Lagerungsdichte kann aufgrund der Bohrergebnisse nicht beurteilt werden.

Tabelle 2.4 Zusammenstellung der wichtigsten Resultate der Kleinpumpversuche und Flowmetermessungen

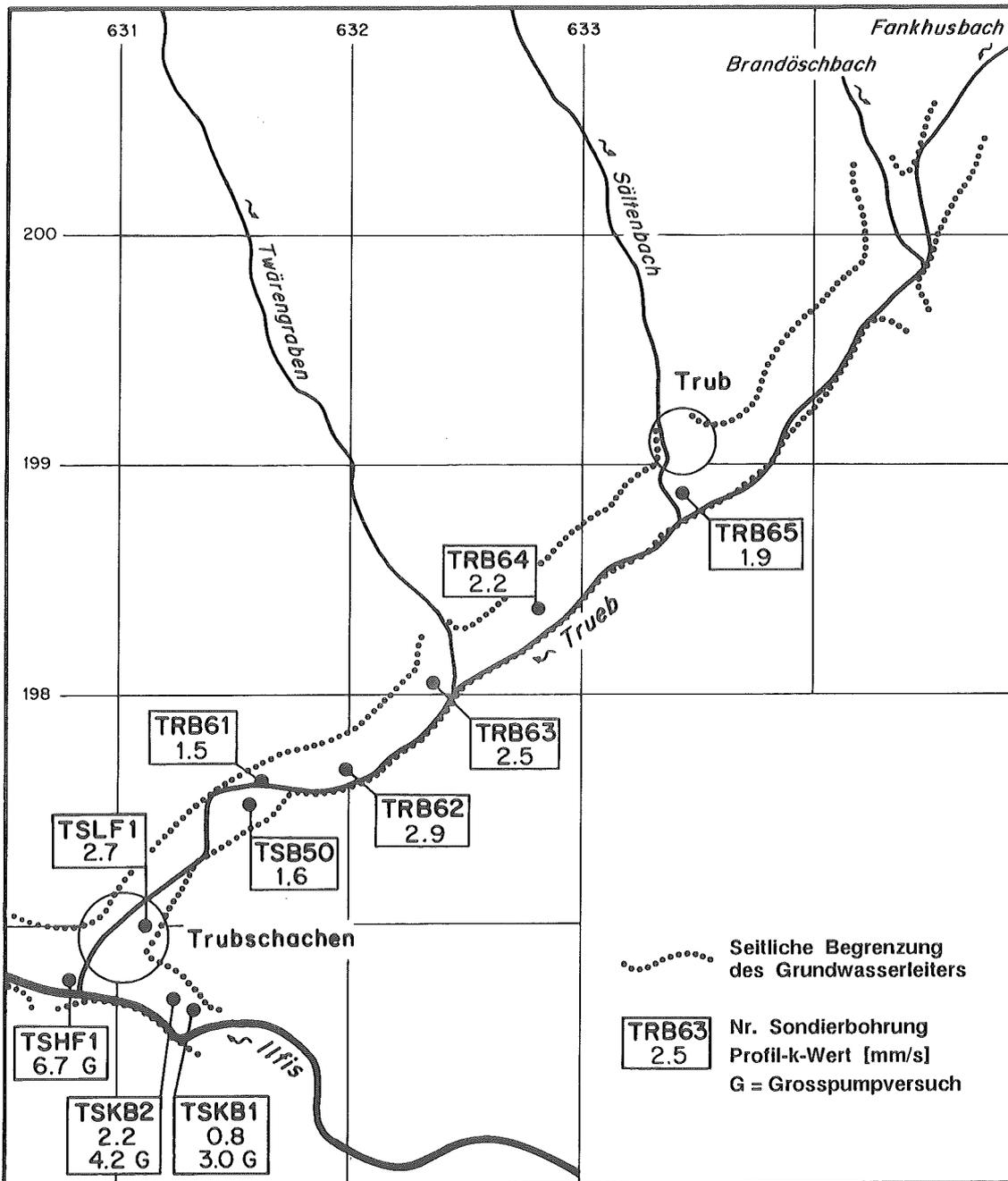
Feldbezeichnung	WEA-Nummer	GW-Stand	massgebende GW-Mächtigkeit	max. Bereichs-k-Wert	Profil-k-Wert	Transmissivität	max. Vertikalströmung	max. Druckunterschied
		[m ü.M.]	[m]	[mm/s]	[mm/s]	[10 ⁻² m ² /s]	[l/s]	[m]
TRB65	633/198.007	782.49	>19.8	6.3	1.86	>3.7	-8.2	2.87
TRB64	632/198.025	771.72	>36.2	18.4	2.18	>7.9	-10.7	1.18
TRB63	632/198.017	762.72	>25.4	15.1	2.46	>6.2	-5.0	1.31
TRB62	631/197.031	752.18	>24.9	11.5	2.92	>7.3	-1.0	0.11
TRB61	631/197.023	745.81	>26.3	9.1	1.50	>3.9	-1.2	0.49
TSB50	631/197.021	743.79	45.7	12.1	1.59	7.3	-26.7	3.70
TSLF1*	631/196.024	729.31	10.6	6.6	2.67	>2.8	-2.2	1.02
TSKB1	631/196.025	727.86	33.7	5.3	0.76	2.6	-0.9	0.68
TSKB2	631/196.026	727.11	>11.4	6.1	2.16	>2.5	0.0	0.00

TSLF1*: Flowmetermessungen nur über 10.6 m GW-Mächtigkeit möglich (ca. 703.5 - 714.1 m ü.M.), tatsächliche GW-Mächtigkeit > 40.0 m.

Im folgenden werden die einzelnen Spalten von Tabelle 2.4 kurz erläutert:

- GW-Stand:** Grundwasserstand im Filterrohr unmittelbar vor der Durchführung des Kleinpumpversuchs
- massgebende GW-Mächtigkeit:** Mächtigkeit der Unterwasserspiegelzone innerhalb des verfilterten Bereiches
- maximaler Bereichs-k-Wert:** Grösster Durchlässigkeitsbeiwert einer 1 m mächtigen Schicht des Schotterkörpers
- Profil-k-Wert:** Mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert für den verfilterten Bereich des Schotterkörpers unter dem Grundwasserspiegel bzw. Mittelwert der Bereichs-k-Werte
- Transmissivität:** Produkt von Profil-k-Wert und massgebender Grundwassermächtigkeit. Sie ist ein Mass für die Transportkapazität des Grundwasserleiters
- maximale Vertikalströmung:** Grösse und Richtung des gemessenen maximalen Volumenstroms im Filterrohr infolge der natürlichen Druckunterschiede im Grundwasserleiter,
- Strömung von oben nach unten gerichtet
- maximaler Druckunterschied:** Maximaler Unterschied der Ruhedrücke innerhalb des Grundwasserleiters aufgrund der Flowmetermessungen

Figur 2.2 Profil-k-Werte in mm/s der Bohrungen mit Flowmeterversuchen; Grosspumpversuche



In dem im Ilfistal liegenden Teil des Untersuchungsgebietes wurden 3 Grosspumpversuche durchgeführt [3, 11]. Bei den beiden Grosspumpversuchen für die Firma Kambly AG mit einer Pumpmenge von je 2000 l/min in den beiden Filterbrunnen neben den Bohrungen TSKB1 und TSKB2 (vgl. Fig. 2.2) ergaben die Gebiets-k-Werte 3.0 bzw. 4.2 mm/s. Der Grosspumpversuch für die Wasserversorgung Trubschachen in der Fassung Hasenlehnmatte (TSHF1 in Tab. 2.1) mit einer Pumpmenge von 1235 l/min zeigte einen Gebiets-k-Wert von 6.7 mm/s [3].

3 HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE

3.1 Messstellennetz

Das hydrologische Messstellennetz besteht aus Messstellen zur Erhebung von Niederschlagssummen, Klimadaten, Grund- und Oberflächenwasserständen, Abflussmengen und zur Entnahme von Wasserproben für physikalisch-chemische Untersuchungen.

Bei der Messart wird unterschieden zwischen Einzelmessungen, Simultanmessungen und kontinuierlichen Messungen. Einzelmessungen zeigen einen Momentanwert. Praktisch gleichzeitige Einzelmessungen im gesamten Messstellennetz oder einem Teil werden als Simultanmessung bezeichnet, welche erlaubt, die räumlichen Verhältnisse für den gewählten Zeitpunkt zu erfassen. Kontinuierliche Messungen zeigen die zeitlichen Veränderungen der Messgröße einer einzelnen Messstelle. Sie werden vor allem bei der Erfassung von Grund- und Oberflächenwasserständen, bei der Erhebung von Niederschlags- und Klimadaten eingesetzt. Sie ermöglichen in der Regel Tagesmittel bzw. Tagessummen zu berechnen. Für die kontinuierliche Messung von Grund- und Oberflächenwasserständen werden vor allem Schreibpegel mit Schwimmervorrichtungen (Limnigraphen) verwendet.

3.1.1 Messstellen-Typen

Die wichtigsten Messstellen-Typen, ihre Bezeichnung im Rahmen dieses Berichts und die mit ihnen erfassten Messgrößen werden im folgenden kurz aufgeführt:

Meteorologie

Niederschlagsstation: Messung des Niederschlags, entweder kontinuierlich (Pluviograph) oder in Tagessummen (Totalisator)

Klimastation: Neben den Niederschlagsdaten werden zusätzliche Klimaparameter wie Luftdruck, Lufttemperatur, Dampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer etc. mehrheitlich kontinuierlich gemessen.

Oberflächenwasser

Wasserstands-
Abstichpunkte: Einzelmessung des Wasserspiegels von Oberflächengewässern.

Abflussmengen-
Messstellen: Ausgewählte, messtechnisch geeignete Querprofile von Oberflächengewässern, in welchen die Abflussmengen vereinzelt gemessen werden.

Abflussmengen-
Messstationen: Kontinuierliche Messung des Wasserspiegels und Einzelmessungen der Abflussmenge, damit mit Hilfe einer sog. Pegel-Abflussbeziehung die Abflussmengen ebenfalls kontinuierlich berechnet werden können.

Physikalisch-
chemische
Messstellen:

Die Entnahme von Wasserproben für physikalisch-chemische Analysen ist in schmalen Gewässern praktisch an jeder beliebigen Stelle möglich. Ausgewählt worden sind jedoch mehrheitlich Standorte, wo sich eine Wasserstands- oder Abflussmengen-Messstelle bzw. -station befindet.

Grundwasser

Piezometer:
(Peilrohr)

Messen der Grundwasserstände bzw. Standrohrspiegelhöhen [17] mit Einzelmessungen. Piezometer sind gerammte, in der Regel an der Basis gelochte Stahlrohre mit Durchmessern von mehrheitlich 3 bis 5 cm. Falls sich die gelochte Zone im Bereich des Grundwasserspiegels befindet, ergibt der Messwert den Grundwasserspiegel. Damit keine Messfehler auftreten, muss die Abweichung der gerammten Piezometer von der Lotrechten bekannt sein. Infolge des kleinen Durchmessers eignen sich Piezometer nur beschränkt für kontinuierliche Wasserstandsmessungen mit Schreibpegeln und zur Entnahme von Wasserproben (es kann keine leistungsfähige Unterwasserpumpe eingesetzt werden).

Bohrung und
Grundwasserfassung:

Messen der Grundwasserstände (bzw. Entnahmemengen) mit Einzelmessungen oder kontinuierlich mit Schreibpegeln in den Filterrohren von Bohrungen, Vertikal- und Schachtbrunnen (bzw. Grundwasserfassungen). Sofern sich die gelochte Zone über die ganze Grundwassermächtigkeit erstreckt, entspricht der gemessene Grundwasserstand in den meisten Fällen mit sehr guter Näherung dem sog. mittleren Potential d.h. dem Grundwasserstand, welcher für die über die Tiefe gemittelte Grundwasserströmung massgebend ist. Dieser kann auch mit horizontal-ebenen Grundwassermodellen berechnet werden [17]. Im Untersuchungsgebiet besteht praktisch kein Unterschied zwischen dem mittleren Potential und dem Grundwasserspiegel (bekannte Abweichungen grösstenteils kleiner als 5 cm).

Physikalisch-
chemische
Messstellen:

In die Filterrohre der Bohrungen lassen sich leistungsfähige Unterwasserpumpen einbauen, die die fachgerechte Entnahme von Wasserproben für die Analysen ermöglichen, wenn der Filterdurchmesser 4.5 Zoll, besser jedoch 6 Zoll aufweist. Vertikalfilter- und Schachtbrunnen, bzw. Grund- und Quellwasserfassungen sind ebenfalls geeignete Messstellen für Qualitätsuntersuchungen. Allfällige natürliche Druckunterschiede innerhalb des Grundwasserleiters bewirken in langen Filterrohren Vertikalströmungen, welche die Zuordnung und Interpretation der Analysenwerte erschweren [17]. Vertikalströmungen können ab einer gewissen Grösse mit Flowmetermessungen erfasst werden.

3.1.2 Umfang und Aufbau

Innerhalb des Untersuchungsgebiets und in seiner näheren Umgebung werden zum Teil bereits seit mehreren Jahrzehnten verschiedene Messstationen durch die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA), die Landeshydrologie und die öffentlichen Wasserversorgungen betreut. Diese Messstationen wurden auch während unserer Untersuchungsperiode von den erwähnten Institutionen betrieben, die erhobenen Daten konnten in unsere Auswertungen einbezogen werden.

Während dem das bestehende Messstellennetz für die meteorologische Datenerfassung praktisch genügte, war die Messstellendichte an den Oberflächengewässern und im Grundwasser viel zu klein. Vorerst wurden die wenigen bereits vorhandenen Grundwasser-Messstellen reaktiviert. Anschliessend erfolgte der Bau neuer in einem iterativen Prozess aufgrund von laufenden Zwischenauswertungen. Für alle Messstellen wurden die Stammdaten (Koordinaten, Ausbau usw.) aufgenommen. Sie bilden die Grundlage für die Hydrologische Datenbank. Die Lage der meisten Messstellen ist aus der Beilage 1 ersichtlich.

Das gesamte Messstellennetz umfasste:

Tabelle 3.1 Anzahl Messstellen

Messstellen-Typ		Anzahl	vgl. Abschnitt	vgl. Beilage
Meteorologie	Niederschlagsstationen	3	3.2.1	Beilage 1
	Klimastationen	3	3.2.2	Beilage 1
Oberflächenwasser	Wasserstandsabstichpunkte	62	3.3.1	z.T. Beilage 1 Beilage 1
	Abflussmengen-Messstellen	27	3.3.2	
	Abflussmengen-Messstationen	1	3.3.2	
Grundwasser	Piezometer	48	3.4.1	z.T. Beilage 1 Beilage 1
	Bohrungen	12	3.4.1	

3.2 Ermittlung der Hydrologischen Grundlagendaten

3.2.1 Niederschlag

Vom nationalen Messstellennetz der SMA liegen die Klimastation Napf am Rande, die Klimastationen Langnau und Menzberg, die Niederschlagsstationen Badschwändi, Escholzmatt und Kurzenei ausserhalb des Untersuchungsgebietes (vgl. Beilage 2). In der Tabelle 3.2 werden die Koordinaten und Höhen dieser Stationen und in Fig. 6.3 die täglichen Niederschlagshöhen der SMA-Station Napf der Jahre 1990 - 1992 aufgeführt.

Tabelle 3.2 Niederschlags- und Klimastationen am Rande oder in der Umgebung des Untersuchungsgebietes

Messstation (SMA)	Koordinaten [km]	Höhe [m ü.M.]	Messdaten [Jahre]
Klima : Langnau Menzberg Napf	626.940/198.870	685	1901-26
	626.775/198.925	692	1926-70
	626.850/198.790	695	1971-80
	627.520/198.710	700	1980-92
	642.450/209.660	1035	1974-92
	638.130/205.970	1408	1978-88
	638.130/206.075	1407	1989-92
Niederschlag : Badschwändi Escholzmatt Kurzenei	634.140/207.460	1084	1903-57/74-92
	638.140/195.110	910	1901-92
	630.590/207.010	894	1901-92

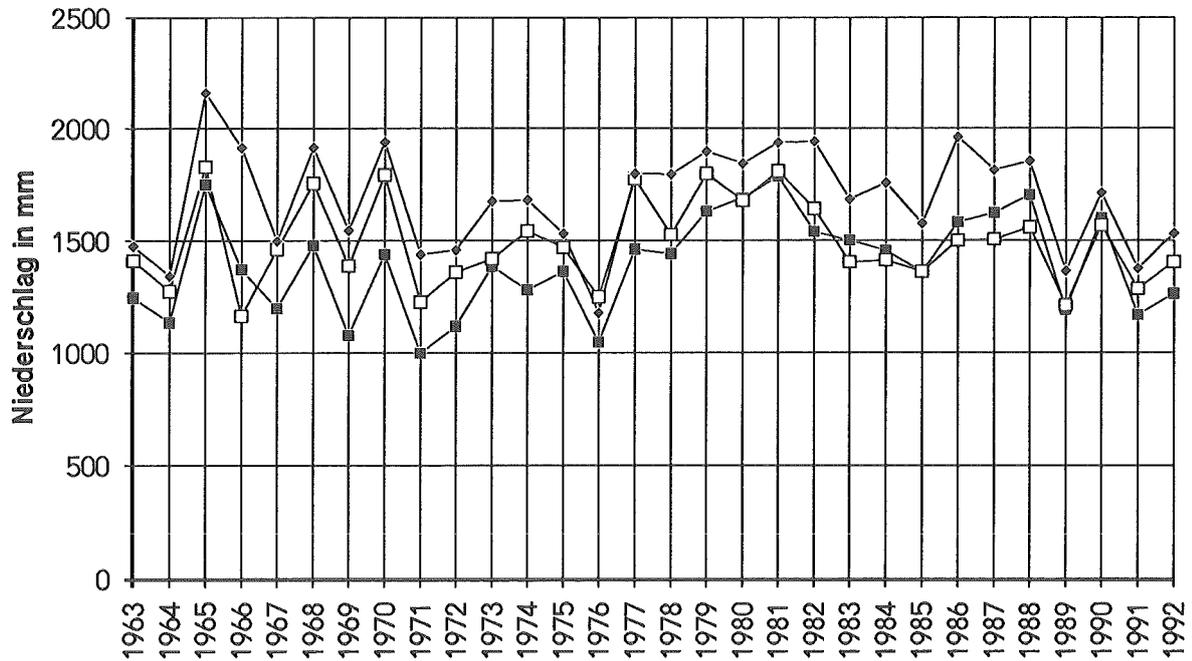
Die folgende Tabelle enthält für die letzten 30 Jahre die jährlichen Niederschlagssummen der drei Stationen Langnau, Escholzmatt, Kurzenei und die entsprechenden Mittelwerte. Die drei übrigen Stationen wurden später in Betrieb genommen.

In der Figur 3.1 werden die jährlichen Niederschlagssummen der Stationen Langnau, Escholzmatt und Kurzenei graphisch dargestellt.

Tabelle 3.3 Jährliche Niederschlagssummen der Klimastation Langnau, der Niederschlagsstationen Escholzmatt und Kurzenei der Jahre 1963 bis 1992

Jahr	Jahresniederschlagssummen [mm]			
	Langnau [700 m ü.M.]	Escholzmatt [910 m ü.M.]	Kurzenei [894 m ü.M.]	Mittel
1963	1244	1408	1473	1375
1964	1134	1273	1339	1249
1965	1749	1828	2159	1912
1966	1369	1161	1914	1481
1967	1196	1461	1497	1385
1968	1477	1754	1914	1715
1969	1076	1385	1546	1336
1970	1436	1790	1938	1721
1971	996	1224	1436	1219
1972	1116	1357	1457	1310
1973	1382	1416	1674	1491
1974	1278	1543	1681	1501
1975	1361	1469	1530	1453
1976	1047	1246	1175	1156
1977	1459	1774	1796	1676
1978	1440	1526	1795	1587
1979	1631	1798	1897	1775
1980	1688	1677	1843	1736
1981	1785	1809	1936	1843
1982	1540	1641	1943	1708
1983	1500	1402	1683	1528
1984	1453	1412	1756	1540
1985	1360	1360	1575	1432
1986	1581	1498	1962	1680
1987	1624	1504	1814	1647
1988	1704	1558	1855	1706
1989	1191	1210	1364	1255
1990	1600	1567	1713	1627
1991	1166	1284	1376	1275
1992	1261	1404	1532	1399
Mittel 1963-1992	1395	1491	1686	1524

Figur 3.1 Ganglinien der jährlichen Niederschlagssummen der Klimastation Langnau (■), der Niederschlagsstationen Escholzmatt (□) und Kurzenei (◆) für die Jahre 1963 - 1992



Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme der drei Stationen beträgt für die Periode 1963 - 1992 1524 mm. In den Jahren 1977 bis 1988 fielen relativ viele Niederschläge, im Mittel der 12 Jahre 1655 mm.

Im Jahr 1990 war der Mittelwert der Stationen mit 1627 mm ähnlich hoch. Demgegenüber erreichte er im Jahr 1989 bzw. 1991 lediglich 1255 mm bzw. 1275 mm. Der Mittelwert für 1992 liegt mit 1399 mm etwas höher, aber immer noch unter dem langjährigen Durchschnitt.

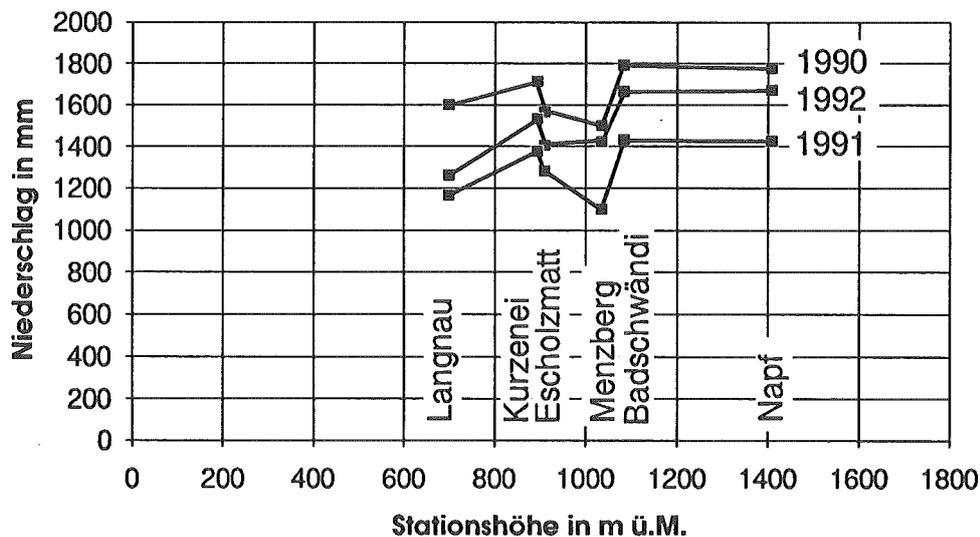
Für den eigentlichen Untersuchungszeitraum 1990 bis 1992 beträgt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe 1434 mm. Die Mittelwerte der Perioden 1977 bis 1988 bzw. 1963 bis 1992 liegen ca. 15 bzw. 6 % höher.

Normalerweise nimmt mit zunehmender Höhe die Niederschlagssumme deutlich zu. In Tabelle 3.4 werden für die sechs in Tabelle 3.2 angegebenen Stationen die Niederschlagssummen der Jahre 1990 bis 1992 zusammengestellt. In Figur 3.2 wird die Höhenabhängigkeit graphisch dargestellt.

Tabelle 3.4 Jährliche Niederschlagssummen 1990 - 1992

Niederschlagsstation	Höhe [m ü.M.]	Niederschlagssummen [mm]		
		1990	1991	1992
Langnau	700	1600	1166	1261
Menzberg	1035	1500	1099	1422
Napf	1408	1776	1427	1669
Badschwändi	1084	1791	1431	1665
Escholzmatt	910	1567	1284	1404
Kurzenei	894	1713	1376	1532

Figur 3.2 Stationshöhen der 6 Niederschlags- und Klimastationen in m ü.M. in Abhängigkeit der Niederschlagssummen für die Jahre 1990 bis 1992



Die Jahresniederschläge der Stationen Langnau, Kurzenei und Badschwändi zeigen eine relativ logische Höhenabhängigkeit. Diejenigen der Stationen Napf, Menzberg und in geringerer Masse auch Escholzmatt sind im Vergleich zur Höhenabhängigkeit der anderen Stationen zu klein.

Für die Ermittlung der Grundwasserzu- und -wegflüsse (Kapitel 4 bzw. Abschnitt 4.1) müssen die monatlichen Niederschlags- und Verdunstungshöhen bekannt sein. In den folgenden Tabellen 3.5, 3.6 und den Figuren 3.3, 3.4 sind die monatlichen Niederschlagshöhen der Klima- und der Niederschlagsstationen ersichtlich. Die Niederschlagshöhen der Klimastation Menzberg werden infolge ihrer schlechten Höhenabhängigkeit (vgl. Fig. 3.2) nicht weiter berücksichtigt; von Interesse sind lediglich, wie noch gezeigt wird, die entsprechenden Niederschlagskorrekturen (vgl. Tab. 3.7 und Abschnitt 3.2.2).

Tabelle 3.5 Monatliche Niederschlagssummen in mm der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf

Station/Jahr	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Langnau													
1990	27	220	78	108	164	281	80	102	161	139	151	89	1600
1991	71	36	64	56	135	229	149	21	128	62	122	93	1166
1992	31	96	115	69	98	138	150	102	67	171	145	79	1261
Mittel 1990-1992	43	117	86	78	132	216	126	75	119	124	139	87	1342
Menzberg													
1990	49	287	110	91	201	209	99	75	134	161	200	101	1717
1991	124	48	79	112	176	175	134	22	87	61	156	83	1257
1992	22	79	168	83	61	135	166	115	76	196	190	131	1422
Mittel 1990-1992	65	138	119	95	146	173	133	71	99	139	182	105	1465
Napf													
1990	30	291	113	71	178	286	109	107	162	169	163	98	1777
1991	97	37	71	102	163	231	172	42	127	86	164	135	1427
1992	19	118	202	103	122	163	221	137	86	180	232	86	1669
Mittel 1990-1992	49	149	129	92	154	227	167	95	125	145	186	106	1624

Figur 3.3 Monatliche Niederschlagssummen der Klimastationen Langnau (—), Menzberg (---) und Napf (....)

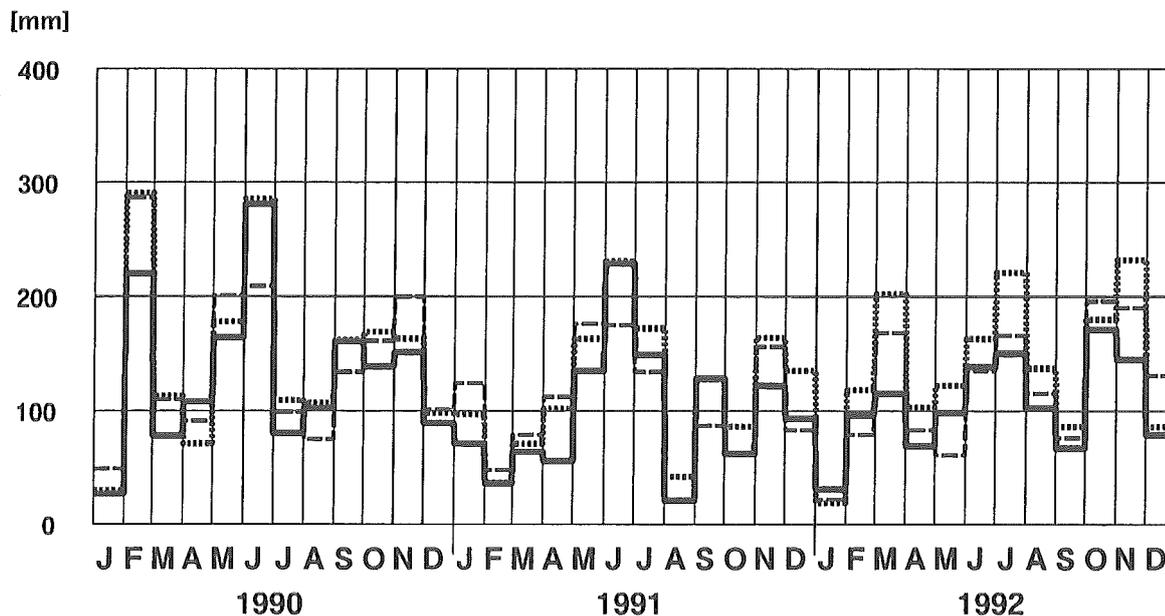
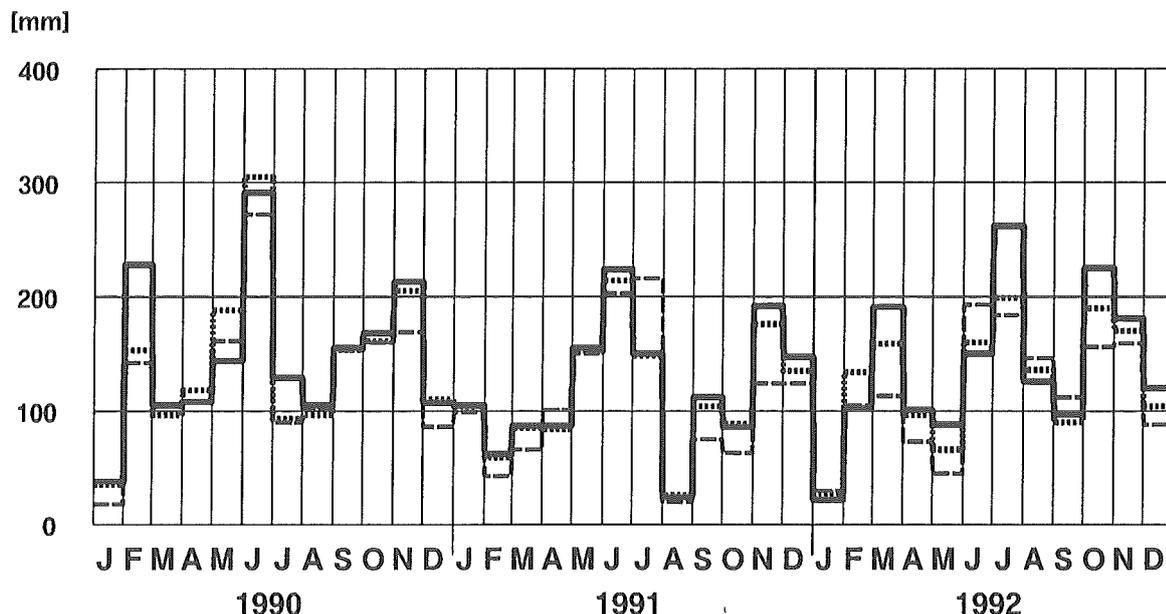


Tabelle 3.6 Monatliche Niederschlagssummen in mm der Niederschlagsstationen Badschwändi, Escholzmatt und Kurzenei

Station/Jahr	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Badschwändi													
1990	38	228	105	108	144	291	129	105	155	168	213	107	1791
1991	105	62	87	87	155	224	150	24	112	86	192	147	1431
1992	22	102	191	101	88	150	262	126	97	225	181	120	1665
Mittel 1990-1992	55	131	128	99	129	222	180	85	121	160	195	125	1629
Escholzmatt													
1990	18	142	104	109	161	272	90	103	153	160	169	86	1567
1991	99	43	66	101	150	203	216	20	75	63	124	124	1284
1992	30	105	113	73	45	193	184	146	112	156	159	88	1404
Mittel 1990-1992	49	97	94	94	119	223	163	90	113	126	151	99	1418
Kurzenei													
1990	35	153	96	118	188	305	93	96	153	161	205	110	1713
1991	104	59	85	84	152	214	148	26	104	89	176	135	1376
1992	28	134	159	96	66	160	199	136	90	190	170	104	1532
Mittel 1990-1992	56	115	113	99	135	226	147	86	116	147	184	116	1540

Figur 3.4 Monatliche Niederschlagssummen der Niederschlagsstationen Badschwändi (—), Escholzmatt (---) und Kurzenei (···)



Die Monatswerte schwanken innerhalb der einzelnen Monate und Jahre zum Teil beträchtlich. Die Monatssummen sind vor allem im Januar 1990 und 1992 und in den Monaten Februar und August 1991 klein. Hohe Monatswerte werden vor allem im Februar und Juni 1990, im Juni 1991 und im Juli 1992 erreicht.

Bei allen Niederschlags-Messgeräten werden die Messungen durch Wind, Verdunstung, Benetzungsverluste, Rückpralleffekte usw. gestört. Die gemessenen Niederschlagsmengen sind deshalb systematisch zu klein und müssen korrigiert werden. In der Schweiz hat sich SEVRUK ausführlich mit dieser Problematik beschäftigt und Korrekturformeln entwickelt [19]. Die korrigierten Niederschläge sind im Mittel etwa 10 - 15 % grösser als die gemessenen, wobei die Korrekturen in den Wintermonaten etwa doppelt so gross sind wie in den Sommermonaten. Damit die Niederschlagssummen korrigiert werden können, müssen verschiedene meteorologische Kennziffern (die wichtigsten sind Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit), die Aufstellhöhe des Wind- und des Niederschlagsmessers und der Abschirmungswinkel der Messstation (durchschnittlicher Winkel zwischen der waagrechten Ebene auf der Höhe des Niederschlagsmessers und dem Horizont in maximal 300 m Distanz) bekannt sein. Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur werden lediglich in Klimastationen gemessen. Somit können nur deren Korrekturfaktoren direkt bestimmt werden. Die Korrekturfaktoren der Niederschlagsmessstationen müssen über diejenigen der Klimastationen berechnet werden.

Im folgenden sind die Korrekturfaktoren für die 3 Klimastationen monatsweise aufgeführt.

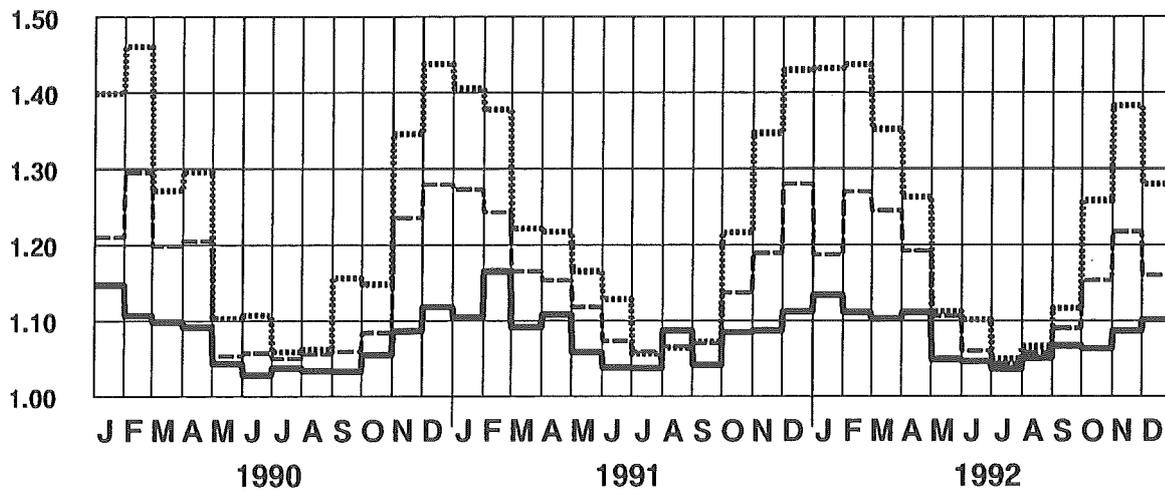
Tabelle 3.7 Monatliche Niederschlagskorrekturen nach SEVRUK der Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf

Jahr	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Langnau													
1990	1.147	1.107	1.098	1.091	1.043	1.028	1.037	1.034	1.033	1.055	1.086	1.118	1.073
1991	1.104	1.165	1.091	1.108	1.058	1.038	1.037	1.087	1.041	1.085	1.087	1.112	1.084
1992	1.134	1.111	1.102	1.111	1.049	1.046	1.036	1.051	1.067	1.063	1.086	1.101	1.079
Mittel	1.128	1.128	1.097	1.103	1.050	1.037	1.037	1.057	1.047	1.068	1.086	1.110	1.079
Menzberg													
1990	1.210	1.295	1.198	1.205	1.053	1.057	1.050	1.056	1.059	1.084	1.235	1.279	1.148
1991	1.273	1.243	1.165	1.153	1.118	1.073	1.059	1.066	1.070	1.137	1.189	1.280	1.152
1992	1.187	1.270	1.245	1.192	1.106	1.060	1.044	1.058	1.090	1.153	1.217	1.160	1.149
Mittel	1.223	1.269	1.203	1.183	1.092	1.063	1.051	1.060	1.073	1.125	1.214	1.239	1.150
Napf													
1990	1.399	1.461	1.271	1.296	1.103	1.107	1.059	1.062	1.156	1.148	1.346	1.438	1.237
1991	1.406	1.378	1.221	1.217	1.165	1.128	1.056	1.064	1.072	1.216	1.347	1.430	1.225
1992	1.432	1.437	1.352	1.263	1.112	1.101	1.049	1.066	1.116	1.258	1.383	1.280	1.237
Mittel	1.412	1.425	1.281	1.259	1.127	1.110	1.055	1.064	1.115	1.207	1.359	1.383	1.233

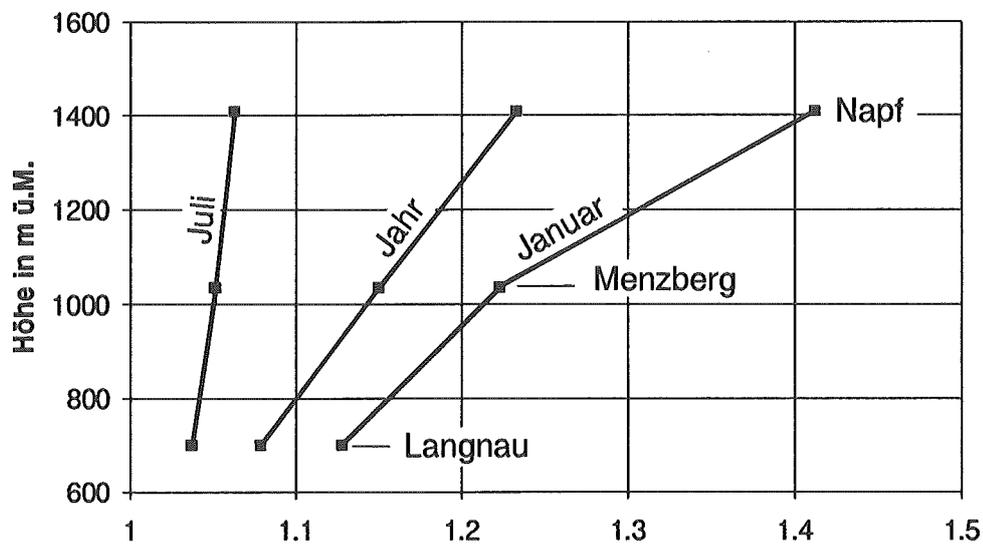
Die Jahresmittel der Korrekturwerte der einzelnen Stationen schwanken nur sehr wenig. Die monatlichen können von Jahr zu Jahr beträchtliche Unterschiede aufweisen.

Die dargestellten monatlichen SEVRUK-Korrekturen sind vor allem im Winter relativ gross (vgl. Figur 3.5) und steigen auch mit der Stationshöhe praktisch linear an (vgl. Fig. 3.6). Der Januarwert betrug für den Napf 1992 1.43, in Langnau 1.13, der Juliwert 1.05 bzw. 1.04. Für das Untersuchungsgebiet beträgt die SEVRUK-Korrektur durchschnittlich ca. 15 %.

Figur 3.5 Monatliche Niederschlagskorrekturen nach SEVRUK der Klimastationen Langnau (—), Menzberg (---) und Napf (....)



Figur 3.6 Höhenabhängigkeit der SEVRUK - Korrekturen



3.2.2 Verdunstung

Die Verdunstung kann im Gegensatz zum Niederschlag höchstens mit sehr grossem Aufwand einigermaßen zuverlässig direkt gemessen werden. Für unsere Untersuchungen wurde sie daher mit der halbempirischen Formel von PENMAN [20] berechnet. Diese Methode hat sich bisher verschiedentlich bewährt [17], [21], [22]. In der PENMAN-Formel Eingang finden die in der SMA-Klimastation gemessenen Daten, Luftdruck, Lufttemperatur, Dampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer. Sie erlaubt, die sog. potentielle Verdunstung, d.h. die von den klimatischen Bedingungen her maximal mögliche, zu bestimmen die für Jahresbilanzen genügt (vgl. Kapitel 6).

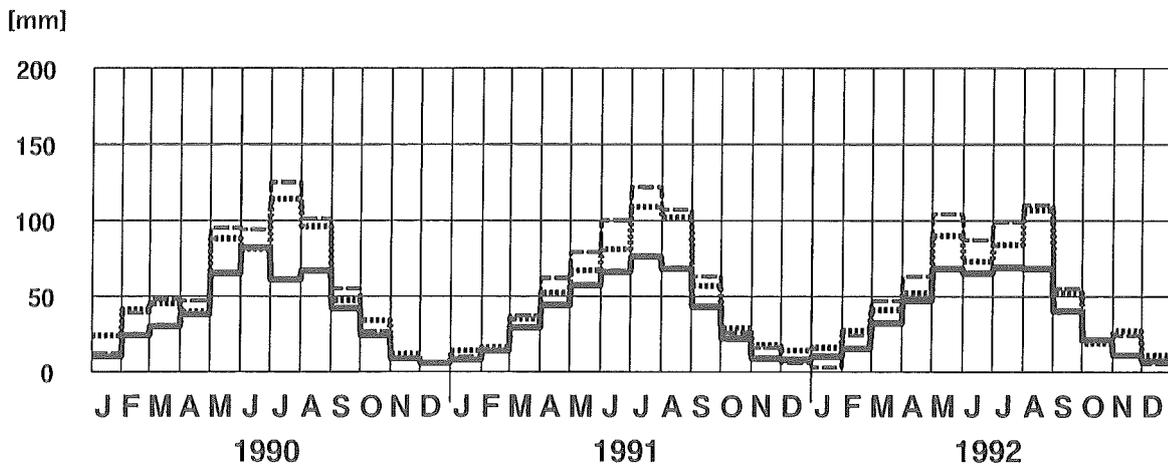
Tabelle 3.8 Potentielle Verdunstung nach PENMAN für die Klimastationen Langnau, Menzberg und Napf in mm

Jahr	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Langnau													
1990	10	24	30	38	65	82	61	67	42	24	9	6	458
1991	8	14	29	44	57	66	76	68	43	22	9	8	444
1992	10	15	32	47	68	65	69	68	40	21	11	7	453
Mittel	9	18	30	43	63	71	69	68	42	22	10	7	452
Menzberg													
1990	12	39	48	47	95	94	125	101	55	27	9	6	658
1991	10	14	37	62	79	100	122	107	63	26	16	6	642
1992	3	24	47	63	104	87	99	110	55	22	24	5	643
Mittel	8	26	44	57	93	94	115	106	58	25	16	6	648
Napf													
1990	24	41	45	40	88	81	114	96	47	34	12	6	628
1991	14	16	35	52	67	81	109	102	57	29	18	14	594
1992	16	27	41	52	90	73	84	107	52	19	27	11	599
Mittel	18	28	40	48	82	78	102	102	52	27	19	10	607

Die für die drei Klimastationen berechneten Verdunstungswerte sind in der obenstehenden Tabelle sowie in der Figur 3.7 dargestellt. Die Verdunstungen in Menzberg und auf dem Napf sind im Mittel der Jahre 1990 bis 1992 ca. 43 bis 35 % grösser als in Langnau. In den Sommermonaten April bis September verdunsten in Langnau jedoch ca. 45 % auf dem Napf ca. 48 % der Niederschläge, in den Wintermonaten ca. 15 bzw. 14 %.

Im Jahr 1991 beträgt die potentielle Verdunstung in Langnau ca. 36 % der Niederschläge, auf dem Napf ca. 34 %. Für 1992 ergeben sich für diese beiden Stationen ca. 34 bzw. 29 %.

Figur 3.7 Potentielle Verdunstung nach PENMAN für die Klimastationen Langnau (—), Menzberg (— —) und Napf (....)



3.2.3 Testgebiete Rappengraben und Sperbelgraben

Wichtige Anhaltspunkte für die Abschätzung der zu erwartenden Verdunstungshöhe für das Truebtal liefern die Untersuchungen von BURGER [5] über den Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt in den beiden Testgebieten Sperbel- und Rappengraben von 1915 bis 1952 und die anschliessende Fortsetzung der Messungen durch die Landeshydrologie [7]. Die Niederschläge wurden in den Niederschlagsmessstationen Kurzenei (Sperbelgraben) und Badschwändi (Rappengraben), die oberirdischen Abflussmengen am Ausgang der Testgebiete kontinuierlich gemessen. In den Testgebieten können im Grundwasserleiter nur sehr kleine Wassermengen gespeichert werden, die Bäche verlassen die Testgebiete auf Molassefels, ein unterirdischer Abfluss aus den Testgebieten ist nicht möglich: Die Differenz zwischen Niederschlag und oberirdischem Abfluss entspricht im Durchschnitt der Verdunstungsmenge.

Die Testgebiete liegen in nur 2.5 bzw. 1.5 km Distanz zur nordwestlichen Begrenzung des Untersuchungsgebiets, in der Gemeinde Sumiswald. Ihre Niederschlagssummen entsprechen ungefähr denjenigen des Untersuchungsgebietes.

Das Testgebiet Sperbelgraben hat eine Fläche von 0.544 km², 97 % sind mit Wald bedeckt. Es liegt auf durchschnittlich 1063 m ü.M. Das Abflussdefizit betrug von 1915 bis 1952 bei einer unkorrigierten mittleren Jahresniederschlagssumme von 1685 mm durchschnittlich 849 mm.

Im Rappengraben wurde im gleichen Zeitraum bei einem unkorrigierten durchschnittlichen Jahresniederschlag von 1738 mm ein mittleres Abflussdefizit von 657 mm bestimmt. Das Gebiet, das zu 31 % mit Wald bedeckt ist, hat eine Fläche von 0.596 km², die durchschnittliche Höhe beträgt 1141 m ü.M.

In der folgenden Tabelle sind für die beiden Testgebiete in mm die Jahresmittel 1990 bis 1992 der gemessenen und korrigierten Niederschläge, die Abflussmengen, und das Abflussdefizit, welches praktisch der Verdunstung entspricht, angegeben.

Tabelle 3.9 Niederschlag, Abfluss und Abflussdefizit in den Testgebieten Rappen- und Sperbelgraben in mm

Jahr	Niederschlag gemessen [mm]	Niederschlag korrigiert [mm]	Abfluss [mm]	Abflussdefizit (Verdunstung) [mm]
Rappengraben				
1990	1791	2048	1028	1020
1991	1431	1644	952	692
1992	1665	1902	(1476)	(426)
Sperbelgraben				
1990	1713	1947	852	1095
1991	1376	1580	754	826
1992	1532	1755	921	834

In Tabelle 3.10 werden die nach PENMAN berechneten Verdunstungshöhen der Klimastation Menzberg und der beiden Testgebiete mit dem entsprechenden Abflussdefizit verglichen. Die Niederschläge wurden mit den Werten der Klimastation Menzberg korrigiert. Für die Berechnung der Verdunstungshöhen der Testgebiete wurde der Einfluss des Waldes mit einer um 30 % höheren Verdunstung berücksichtigt.

Tabelle 3.10 Vergleich von Abflussdefizit und Verdunstungshöhen in mm

Jahr	Verdunstung nach PENMAN [mm]			Abflussdefizit [mm]	
	Menzberg	Sperbelgraben	Rappengraben	Sperbelgraben	Rappengraben
1990	658	849	719	1095	1020
1991	642	829	702	826	692
1992	643	830	703	834	(426)
Mittel	648	836	708	918	712

Für das Jahr 1990 liegt in den Testgebieten das Abflussdefizit deutlich über den nach PENMAN errechneten Verdunstungshöhen. Dies dürfte vor allem auf das trockene Jahr 1989 und speziell auf die sehr niederschlagsarmen Monate November und Dezember zurückzuführen sein. Dadurch bestand anfangs 1990 ein Defizit an Bodenwasser, welches zuerst wieder abgebaut werden musste. Dieses gespeicherte Wasser fehlte im Abfluss 1990 und erhöhte das Abflussdefizit.

Das sehr kleine Abflussdefizit von 1992 im Testgebiet Rappengraben ist auf den hohen gemessenen Oberflächenwasserabfluss zurückzuführen, der, verglichen mit anderen Stationen, wenig plausibel erscheint. Ein offensichtlicher Fehler liess sich aber nach Rücksprache mit der Landeshydrologie nicht finden. Allerdings sind die entsprechenden Daten der Landeshydrologie für 1992 noch nicht definitiv.

Die gemessenen Abflussdefizite für 1991 und 1992 im Rappengraben und 1991 im Sperbelgraben stimmen sehr gut mit den nach PENMAN berechneten Verdunstungswerten überein. Die entsprechenden Verdunstungswerte für die Klimastation Menzberg, welche höhenmässig mit den Testgebieten generell verglichen werden kann, liegen durchwegs tiefer, jedoch gegenüber dem Rappengraben lediglich um ca. 8 %.

3.3 Messungen an Oberflächengewässern

3.3.1 Wasserstände

Wasserstandsmessungen an Oberflächengewässern werden bei Abstichpunkten und Abflussmessstationen durchgeführt. Sie sind notwendig, um:

- zusammen mit den simultan durchgeführten Grundwasserspiegelmessungen (vgl. Abschnitt 3.4.1) die Wechselbeziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser zu beurteilen, die In- und Exfiltrationsstrecken auszuscheiden
- zusammen mit Pegel-Abflussbeziehungen die Abflussmengen zu bestimmen.

Die Oberflächenwasserstände im Untersuchungsgebiet wurden in 62 Messstellen mit einzelnen Messungen, in der Messstation TRQ50 kontinuierlich erhoben. Soweit es sinnvoll war, wurden die Wasserstandsmessstellen mit Abflussmessstellen vereint.

Der ab Ende August 1990 im Einsatz stehende Schreibpegel für die kontinuierliche Aufzeichnung der Wasserstände der Trueb (TRQ50), wurde ab 1993 ins Netz der permanenten hydrometrischen Stationen des Kantons Bern integriert. Die Wasserstandsaufzeichnungen dieser Station wurden digitalisiert und zu Jahrbuchblättern (Tabelle mit Tagesmittel- und Extremwerten sowie Ganglinien) verarbeitet und in die weiteren Auswertungen einbezogen.

3.3.2 Abflussmengen

Abflussmengen wurden gemessen bzw. berechnet um :

- den oberirdischen Abfluss aus den seitlichen Einzugsgebieten und aus dem ganzen Untersuchungsgebiet zu ermitteln
- ex- bzw. infiltrierende Gewässerabschnitte mit Differenzmessungen detailliert zu erfassen.

Soweit möglich wurden die Abflussmessungen vorwiegend mit dem hydrometrischen Flügel nach dem Handbuch der Landeshydrologie [23] durchgeführt, zum Teil auch mit dem Tauchstab [24] oder mit Gefässen.

Die Messungen der Abflussmengen erfolgten an Brandöschbach, Fankhusbach, Äschengraben, Trueb, Sältenbach, Twärengraben (Lageübersicht vgl. Fig. 1.1) und in 13 weiteren kleinen Zuflüssen, vor allem im Gebiet des Grundwasserleiters zwischen Hüseren und Trubschachen. Insgesamt sind je zwischen 5 und 20 Abflussmessungen vorgenommen worden. Diejenigen bei der Abflussmengen-Messstation TRQ50 dienten als sog. Eichmessungen, um mit Hilfe der Pegel-Aufzeichnungen das zeitliche Abflussgeschehen bestimmen zu können. In Fig. 3.9 sind die einzelnen Tagesmittelwerte der Trueb bis Ende 1992 ersichtlich.

In Tabelle 3.11 werden die Abflussmessstellen an Brandöschbach, Fankhusbach und Trueb zusammengestellt. Auf die Angabe der Standortdaten der Abfluss-Messstellen an den kleinen Zuflüssen wird verzichtet.

Tabelle 3.11 Abflussmessstellen an Brandöschbach, Fankhusbach und Trueb (Situation vgl. Beilage 1)

Feld-bezeichnung	WEA-Nummer	Koordinaten		Messpunkt-höhe	Gewässer
BRQ01	634/200.007	634190.00	200580.00	836.76	Brandöschbach
BRQ02	634/199.002	634440.00	199910.00	-	Brandöschbach
FAQ00	634/200.016	634500.00	200445.00	833.30	Fankhusbach
FAQ07	634/199.013	634485.00	199965.00	821.60	Fankhusbach
TRQ11	634/199.009	634265.00	199660.00	814.26	Trueb
TRQ19	633/199.007	633905.00	199215.00	801.46	Trueb
TRQ34	633/198.002	633165.00	198600.00	777.72	Trueb
TRQ41	632/197.012	632410.00	197960.00	765.32	Trueb
TRQ50*	631/197.034	631742.00	197595.00	750.88	Trueb
TRQ61**	631/197.012	631290.00	197230.00	739.69	Kanal
TRQ62**	631/197.011	631260.00	197225.00	736.24	Trueb
TRQ67	630/196.036	630820.00	196720.00	726.81	Trueb

* Abflussmengenmessstation (Kontinuierliche Aufzeichnung)

** Die im folgenden verwendeten Abflussmengen TRQ60 setzen sich aus den Abflussmengen von TRQ61 und TRQ62 zusammen

Tabelle 3.12 gibt eine Uebersicht über die gemessenen Abflussmengen. Auf die Messwerte und die Abflussunterschiede zwischen den einzelnen Messstellen wird in Abschnitt 3.5 eingetreten.

Tabelle 3.12 Abflussmessungen an Fankhusbach, Brandöschgraben und Trueb
(WEA Nr. vgl. Tabelle 3.11)

Datum	FAQ00	FAQ07	BRQ01	BRQ02	TRQ11	TRQ19	TRQ34	TRQ41	TRQ50	TRQ60	TRQ67*
29.08.1989					0.369	0.434				0.754	
3.10.1989							0.229	0.245	0.397		
13.10.1989								0.396	0.546	0.556	
26.04.1990					0.574		0.864	1.126	1.275		
27.04.1990									1.103	1.101	
20.06.1990		0.491	0.434		0.946	0.911			2.051		
24.07.1990					0.460	0.563	0.632	0.732	0.875	0.843	
25.07.1990	0.212	0.267	0.168	0.188	0.468						0.168
26.09.1990					0.280	0.420	0.489	0.681	0.786		
10.12.1990					0.524	0.544	0.692	0.759	0.957		
14.01.1991					1.282	1.378	1.558	1.901	2.024		
26.02.1991		0.273			0.740	0.735	1.039	1.265	1.779		
12.06.1991									1.198		
30.07.1991					0.735	0.676	0.877	0.956	1.080		
20.09.1991	0.002				0.050						
17.10.1991	0.000	0.000			0.050		0.100		0.300		
24.10.1991	0.000	0.000			0.010	0.030	0.070	0.130	0.253		
15.11.1991	0.000	0.000		0.001	0.015	0.080	0.150	0.200	0.350		
24.02.1992		0.150		0.076		0.273	0.435		0.688	0.679	
25.02.1992	0.069		0.062								0.062
1.06.1992		0.174		0.119		0.357	0.450	0.478	0.620		
23.07.1992		1.372		0.647					3.130		
20.08.1992		0.071		0.077							
12.10.1992	0.000			0.008	0.063		0.175	0.175	0.353		
7.12.1992		0.790		0.410					2.119		
Mittel	0.040	0.326	0.221	0.191	0.438	0.533	0.554	0.696	1.094	0.787	0.115
Anzahl	7	11	3	8	15	12	14	13	20	5	2
Minimum	0.000	0.000	0.062	0.001	0.010	0.030	0.070	0.130	0.253	0.556	-
Maximum	0.212	1.372	0.434	0.647	1.282	1.378	1.558	1.901	3.130	1.101	-

* Abfluss in der Trueb ohne Kanal

In der folgenden Tabelle werden die Abfluss-Messwerte in den Seitenbächen Äschengraben, Sältenbach und Twärengraben, die grössere Einzugsgebiete entwässern, zusammengestellt. Für die Quantifizierung der indirekten Grundwasserneubildung (vgl. Abschnitt 4.1.2) ist auch die generelle Kenntnis der Abflüsse dieser Bäche wichtig.

Tabelle 3.13 Abflussmessungen an Äschengraben, Sältenbach und Twärengraben

Datum	Äschen- graben	Sälten- bach	Twären- graben
29.08.1989	43	0	0
3.10.1989			0
13.10.1989		0	0
26.04.1990	68	20	66
20.06.1990	21		
24.07.1990	0	0	1
26.09.1990	81	20	0
10.12.1990	10	0	12
14.01.1991	55	80	150
26.02.1991	52	37	13
30.07.1991	48	0	0
20.09.1991	0		
17.10.1991	0	0	0
24.10.1991	0	0	0
15.11.1991	15	15	0
24.02.1991	13	0	0
27.05.1992		0	0
1.06.1992	0	0	0
2.06.1992		230	300
25.06.1992		150	200
23.07.1992	100	170	315
12.10.1992	1		0
7.12.1992	100	60	150
Mittel	33.7	41.2	57.5
Anzahl	18	19	21
Minimum	0	0	0
Maximum	100	230	315

Die Landeshydrologie betreibt in der Umgebung des Untersuchungsgebietes drei Abflussmessstationen, welche in die Auswertungen miteinbezogen wurden. Die Abflussmengen dieser Stationen werden jährlich publiziert. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Standortdaten dieser drei Abflussmessstationen.

Tabelle 3.14 Abflussmessstationen der Landeshydrologie (Standort vgl. Beilage 2)

Bezeichnung, Ort	Koordinaten [m]	Höhe [m ü.M.]	Einzugs- gebiet [km ²]	im Betrieb seit [Jahr]
Ilfis, Langnau	627320/198600	685	188	1989
Rappengraben, Wasen Riedbad	634340/207350	997	0.596	1957*
Sperbelgraben, Wasen Kurzeneialp	630725/207270	911	0.544	1957*

* Wasserstandsbeobachtungen und Abflussmengenbestimmung 1900 bis 1957 durch Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

3.3.3 Oberflächenwasserqualität

Das Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern untersucht periodisch die Wasserqualität der Oberflächengewässer im Kanton Bern. Eine Probenahmestelle befindet sich an der Ilfis in Trubschachen (630405/196840).

Im Rahmen der Qualitätsuntersuchungen des Grundwassers (vgl. Abschnitt 3.4.3) wurden an 3 Stellen aus der Trueb Wasserproben entnommen und physikalisch-chemisch im Kantonalen Laboratorium (Trinkwasserkontrolle) untersucht. Tabelle 3.15 gibt über die Probenahmestellen und -daten Auskunft. Die Standorte sind aus Beilage 2 ersichtlich. Die Untersuchungsergebnisse werden in Abschnitt 6.3 beschrieben.

Tabelle 3.15 Qualitätsuntersuchungen in Oberflächengewässern (WEA-Nr. vgl. Tabelle 3.11)

Feldbez.	Datum der Probenahme/Untersuchungsziel					
	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92
TRQ50	CP	C	C	C	C	C
TRQ11	CP*	C	C	C	C	C

* Fassungsstandort für die Probenahme am 19.02.90 ca. 2.9 km unterhalb TRQ11, Längengrund

C = Physikalisch - chemische Standarduntersuchungen

P = Pestiziduntersuchungen (Chlorpyrifos, a-Endosulfan, b-Endosulfan, Endosulfansulfat)

3.4 Messungen im Grundwasser

3.4.1 Grundwasserstände

Grundwasserstands-Messungen werden vor allem durchgeführt, um die Höhenlage des Grundwasserspiegels, das Spiegelgefälle und die Fliessrichtung des Grundwassers zu erfassen, zusammen mit den Oberflächenwasserstands-Messungen die Wechselbeziehung zwischen Grund- und Oberflächenwasser aufzuzeigen, wichtige Grundlagen für die Berechnung der Fliessgeschwindigkeit, die Grundwasserbilanzierung und die Erstellung des Grundwassermodells zu erhalten.

Der Grundwasserstand ist sowohl orts- wie auch zeitabhängig. Bei Simultanmessungen werden an möglichst vielen geeigneten Messstellen die Grundwasserstände gleichzeitig, d.h. in der Regel innerhalb eines Tages, erhoben, um für dieses Datum die Grundwasserspiegelfläche mit Höhenkurven bzw. Isohypsen darstellen zu können. Die zeitlichen Schwankungen werden dagegen aus Kostengründen nicht im ganzen Messstellennetz detailliert erfasst, sondern lediglich in wenigen repräsentativen Messstellen mit Schreibpegeln aufgezeichnet.

Mit Ausnahme von TSB50 waren alle neu erstellten Bohrungen zeitweise mit Schreibpegeln für die kontinuierliche Aufzeichnung der Grundwasserstände ausgerüstet. Die Tabelle 3.16 gibt einen Überblick über die Dauer ihres Betriebes. Im Frühjahr 1993 wurde TRB61 ins Netz der permanenten hydrometrischen Stationen des Kantons Bern integriert, die übrigen Stationen wurden aufgehoben.

Tabelle 3.16 Messperiode der Grundwasser-Schreibpegel

Feld- bezeichnung	WEA- Nummer	1990	1991	1992
TRB61	631/197.023	=====	=====	=====>
TRB62	631/197.031	=====	=====	=====>
TRB63	632/198.017	=====	=====	=====>
TRB64	632/198.025	=====	=====	=====>
TRB65	633/198.007	=====	=====	=====>

Neben der kontinuierlichen Aufzeichnung der Grundwasserstände gemäss Tabelle 3.16 wurden an 23 Messterminen zwischen 29.12.1989 und 27.5.1992 in den übrigen Bohrungen, im sukzessiv mit 48 Piezometern (vgl. Tabelle 3.17) ergänzten Grundwasser- und im gesamten Oberflächengewässer-Messstellennetz die Wasserstände erhoben.

Die im Kapitel 5 beschriebene stationäre Eichung des numerischen Grundwassermodells Truebtal und die in Beilage 1 mit Isohypsen dargestellte Grundwasserspiegelfläche basieren auf der Messtour vom 22.04.1991. Im Abschnitt 6.1 werden die Grundwasserverhältnisse für dieses Datum detailliert beschrieben.

Tabelle 3.17 Standorte der Piezometer

Feld- bezeichnung	WEA- Nummer	Koordinaten		Messpunkt- höhe	Terrain- höhe	Erstellungs- datum
TRP61	631/197.020	631570.00	197620.00	749.17	748.15	30.10.89
TRP62	631/197.027	631745.00	197605.00	751.85	750.90	18.12.89
TRP63	631/197.028	631925.00	197725.00	758.27	757.35	18.12.89
TRP64	631/197.030	631955.00	197675.00	756.86	756.20	30.10.89
TRP65	631/197.029	631950.00	197610.00	755.09	754.15	18.12.89
TRP66	632/197.005	632045.00	197735.00	758.83	757.95	18.12.89
TRP67	632/197.006	632120.00	197690.00	758.44	757.45	18.12.89
TRP68	632/197.009	632200.00	197925.00	763.64	762.70	18.12.89
TRP69	632/198.018	632355.00	198040.00	766.89	765.90	18.12.89
TRP70	632/197.011	632400.00	197955.00	764.82	764.25	18.12.89
TRP71	632/198.019	632430.00	198255.00	773.10	772.30	07.03.90
TRP72	632/198.021	632640.00	198155.00	770.50	769.70	07.03.90
TRP73	632/198.022	632655.00	198325.00	771.88	771.25	07.03.90
TRP74	633/198.001	633065.00	198555.00	779.92	779.10	07.03.90
TRP76	633/199.001	633735.00	199085.00	799.98	799.10	13.03.90
TRP77	633/199.008	633915.00	199350.00	805.97	805.15	13.03.90
TRP78	634/199.003	634070.00	199530.00	810.78	810.50	13.03.90
TRP79	634/199.010	634325.00	199800.00	815.93	-	-
TRP80	634/200.013	634465.00	200120.00	824.23	823.55	13.03.90
TRP81	634/200.017	634540.00	200195.00	826.79	826.15	13.03.90
TRP82	634/200.014	634485.00	200350.00	831.16	830.45	13.03.90
TRP83	634/200.004	634330.00	200045.00	823.53	822.75	25.04.90
TRP84	634/200.010	634455.00	200060.00	822.66	821.90	25.04.90
TRP85	634/200.007	634440.00	200175.00	824.95	824.15	25.04.90
TRP86	633/198.003	633685.00	198920.00	794.23	793.45	16.03.92
TRP87	633/198.004	633775.00	198975.00	795.74	795.00	16.03.92
TRP88	633/199.002	633805.00	199050.00	798.05	797.20	16.03.92
TRP89	633/199.003	633925.00	199210.00	802.46	802.05	16.03.92
TRP90	633/199.004	633930.00	199250.00	803.04	802.25	16.03.92
TSP05	630/196.015	630980.00	196820.00	731.56	730.00	-
TSP15	630/196.014	630972.00	196730.00	729.73	729.45	-
TSP17	630/196.017	630995.00	196950.00	733.44	732.85	-
TSP51	631/197.010	631255.00	197305.00	741.37	740.45	30.10.89
TSP52	631/197.013	631320.00	197300.00	741.61	740.75	30.10.89
TSP53	631/197.014	631365.00	197535.00	745.48	744.70	30.10.89
TSP54	631/197.018	631430.00	197330.00	744.51	743.45	30.10.89
TSP55	631/197.019	631485.00	197450.00	744.74	743.95	30.10.89
TSP56	631/197.022	631570.00	197595.00	748.92	748.00	18.12.89
TSP57	631/197.024	631685.00	197555.00	750.90	750.15	30.10.89
TSP58	631/197.009	631195.00	197125.00	738.22	737.35	07.03.90
TSP59	631/197.017	631395.00	197440.00	744.15	743.15	07.03.90
TSHP1	630/196.034	630725.00	196860.00	728.14	727.60	14.11.89
TSHP2	630/196.033	630705.00	196760.00	727.74	726.75	14.11.89
TSHP3	630/196.032	630640.00	196840.00	726.26	725.55	14.11.89
TSHP4	630/196.031	630635.00	196780.00	726.96	725.85	14.11.89
TSKP1	631/196.018	631160.00	196738.00	732.93	733.10	-
TSKP2	631/196.019	631125.00	196813.00	733.92	733.75	-

3.4.2 Entnahmemengen

Die öffentlichen und privaten Grundwasserfassungen im Untersuchungsgebiet gehen aus der Tabelle 3.18 hervor. Die Standorte sind zum Teil in den Beilagen 1 und 2 ersichtlich. Die gesamte konzessionierte Entnahmemenge beträgt ca. 45 l/s. In den Fassungen werden bedarfsweise die Grundwasserstände erhoben und die Wasserqualität untersucht. Die effektiven Entnahmemengen werden grösstenteils nicht gemessen.

Tabelle 3.18 Öffentliche und private Grundwasserfassungen

Feld- bezeichnung	WEA- Nummer	Fassungs- anlage	Standort- gemeinde	Wasser- versorgung	Konz. Entnahme [l/min]
TRRF1	634/200.001	PW Hüseren*	Trub	WV Trueb	320
TRSF1	634/200.007	Schwiter	Trub	Schwiter Bau	375
TRLF1	632/197.001	PW Längengrund*	Trub	WVG Längengrund	150
TSHF1	630/196.001	PW Hasenlehnmatte*	Trubschachen	WV Trubschachen	660
TSKF1-3	631/196.001	Fassungen Kambly	Trubschachen	Kambly AG	300
	631/197.-	Corti-Schärer	Trubschachen		170
	630/196.-	Jakob AG	Trubschachen		104
	630/770.-	Stiftung Hasenlehn	Trubschachen		164
	631/197.001	Reber	Trubschachen		70
	630/196.024	Einwohnergemeinde	Trubschachen		287
	630/196.-	Bärtschi	Trubschachen		30
	630/196.-	Frey	Trubschachen		30
	631/196.024	Leuenberger	Trubschachen		55
TSLF1					

* Öffentliche Wasserversorgung

3.4.3 Chemische Untersuchungen

Die Qualität des in den öffentlichen Fassungsanlagen geförderten Grundwassers wird durch das Kantonale Laboratorium (Trinkwasserkontrolle) überwacht. Dazu werden jährlich mehrere Wasserproben entnommen, bakteriologisch und zum Teil auch physikalisch-chemisch untersucht. Die dabei normalerweise untersuchten Parameter sind in Tabelle 6.3 als sog. Standardparameter aufgeführt. Daneben werden seit einigen Jahren vereinzelt und nach Bedarf noch spezielle chemische Untersuchungen z.B. nach Chlor-Kohlenwasserstoffen und Pestiziden durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse können im Kantonalen Laboratorium eingesehen werden.

Im Rahmen der Hydrogeologie Truebtal beschränkten sich die Qualitätsuntersuchungen des Grundwassers, wie beim Oberflächenwasser gemäss Abschnitt 3.3.3, auf den Hauptgrundwasserleiter im Truebtal. Die Untersuchungskampagnen erfolgten nach Abschluss der Bohrarbeiten zwischen Februar 1990 und September 1992 hauptsächlich in fünf Bohrungen und im Pumpwerk Hüseren, Trub. Im Jahr 1990 wurde das Messstellennetz vor allem für Pestiziduntersuchungen auf die Piezometerrohre TRP62 bis TRP66 sowie das Pumpwerk

Längengrund ausgedehnt. Tabelle 3.19 gibt Auskunft über die Probenahmestellen, die Zeitpunkte und die untersuchten Parameter. Die Probenahme erfolgte in den Bohrungen mit einer Saugpumpe nach einer Vorpumpmenge von minimal 3 m³, im Pumpwerk Längengrund ab Hahn. Die Analysen wurden im Kantonalen Laboratorium, Bern, durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse werden in Abschnitt 6.3 besprochen.

Tabelle 3.19 Qualitätsuntersuchungen im Grundwasser (WEA-Nr. vgl. Tabelle 2.1, 3.17 und 3.18)

Feldbez.	Datum der Probenahme / Untersuchungsziel							
	19.02.90	10.04.90	30.04.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92
TSB50	CP1			CSBP2	C	C	C	C
TRB61	CP1			CSBP2	C	C	C	C
TRB62	CP1	P1	P1	CSBP2	C	C	C	C
TRB63	CP1			C	C	C	C	C
TRB64	CP1			C	C	C	C	C
TRP62		P1						
TRP63		P1						
TRP64		P1	P1					
TRP66			P1					
TRRF1 (PW Hüseren)	CP			C	C	C	C	C
TRLF1 (PW Längengrund)	CP		P1	CBP2				

C = Physikalisch - chemische Standarduntersuchungen

P1 = Pestizide (Chlorpyrifos, a-Endosulfan, b-Endosulfan, Endosulfansulfat)

P2 = Pestizide (Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, a-Endosulfan, b-Endosulfan, Endosulfansulfat)

S = Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zink)

B = Polychlor. Biphenyle

3.5 Beziehung zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser

Die Strömungsverhältnisse im Grundwasserleiter dürfen nicht losgelöst von den Abflussverhältnissen in den Oberflächengewässern betrachtet werden, da die Gewässerbette in Lockergesteinen kaum je völlig dicht sind.

Aus den meisten Oberflächengewässern sickert Wasser in den Grundwasserleiter (Infiltration) oder sie werden von austretendem Grundwasser gespeist (Exfiltration). Innerhalb einer Gewässerstrecke, selbst innerhalb eines Gewässerquerschnittes können sowohl In- wie auch Exfiltrationen vorhanden sein.

Hauptsächlich mit Hilfe von Wasserstands- und Abflussmessungen, aber auch mit chemischen Analysen u.a. können die In- und Exfiltrationsverhältnisse beurteilt werden.

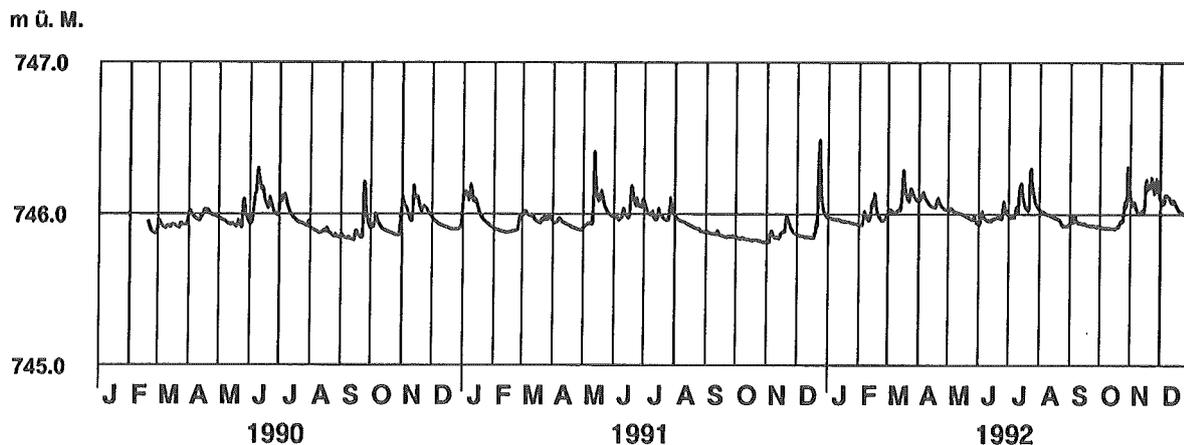
Vorerst wird mit zwei Ganglinien gezeigt, wie die Grundwasserstände im unteren Truebtal stark von der Abflussmenge der Trueb beeinflusst werden. Die Figur 3.8 zeigt die Tagesmittelwerte der Grundwasserstände der Messstation TRB61, Figur 3.9 diejenigen der Abflussmenge der Abflussmessstation TRQ50. Bereits visuell ist ein sehr ähnlicher Verlauf der beiden Ganglinien ersichtlich, der sich statistisch auch bestätigt. In Figur 3.10 werden die Grundwasserstände und Abflussmengen gegeneinander aufgetragen und die entsprechende Regressionskurve ermittelt. Bei 855 Wertepaaren (September 1990 bis Dezember 1992) ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0.84.

Innerhalb einer Gewässerstrecke können In- und Exfiltrationsbereiche auftreten. Um sie abzugrenzen und die In- bzw. Exfiltrationsmengen abzuschätzen, müssen die Wasserstände, die Abflussmengen sämtlicher oberirdischer Zu- und Wegflüsse und abschnittsweise auch des Hauptgewässers gemessen werden.

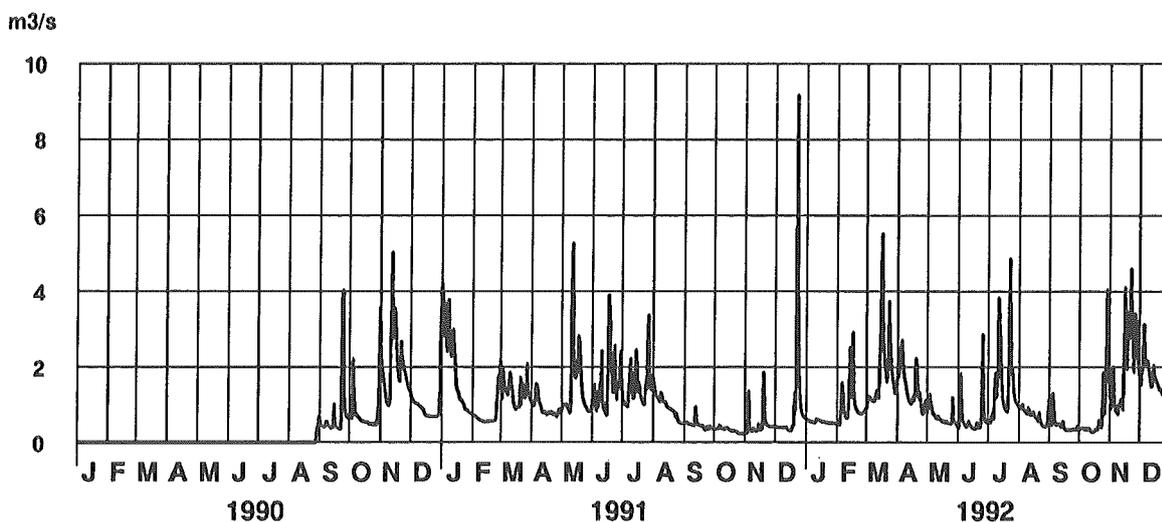
Das Messen der Abflussmengen ermöglicht eine Abflussbilanz, welche allfällige In- bzw. Exfiltrationsüberschüsse aufzeigt. Die Messgenauigkeit der Abflussmessungen muss bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Sie beträgt ca. $\pm 5\%$. Demzufolge können In- und Exfiltrationsüberschüsse in einem Flussabschnitt nur eindeutig nachgewiesen werden, wenn sie mehr als $\pm 5\%$ der Abflussmenge betragen.

In Figur 3.11 ist die Lage der Messstellen generell ersichtlich, zwischen welchen die Differenzmessungen erfolgten deren Resultate in der Tabelle 3.12 zusammengestellt sind. Die Standorte der Abflussmessstellen sind auch in Beilage 1 zu finden. In den Tabellen 3.20 bis 3.24 werden für die Gewässerabschnitte zwischen den Messstellen die weiteren gemessenen Zuflüsse, die positiven (Exfiltrationsüberschuss) und negativen (Infiltrationsüberschuss) Differenzmengen angegeben. Die gerundeten Mittelwerte der Differenzmengen wurden in die Figur 3.11 übertragen.

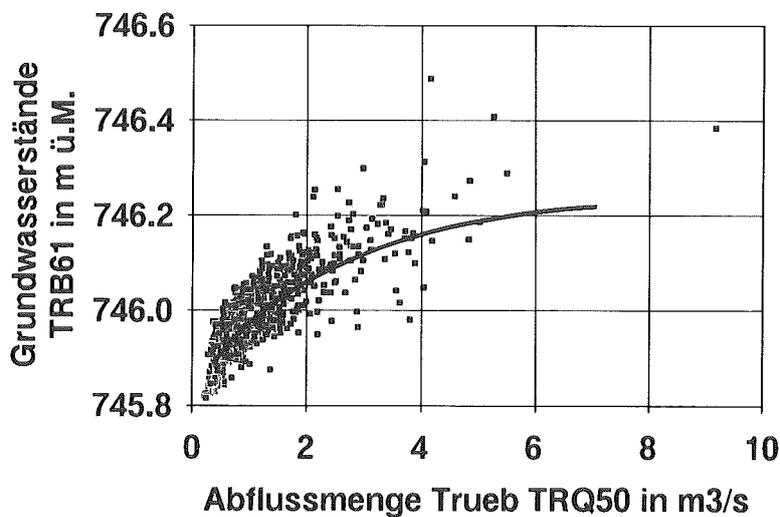
Figur 3.8 Tagesmittelwerte der Grundwasserstände TRB61



Figur 3.9 Tagesmittelwerte der Abflussmengen in der Trueb TRQ50



Figur 3.10 Grundwasserstände TRB61 und Abflussmengen TRQ50 mit Regressionskurve



Figur 3.11 Lage der Abflussmessstellen, gerundete Mittelwerte der Differenzmengen

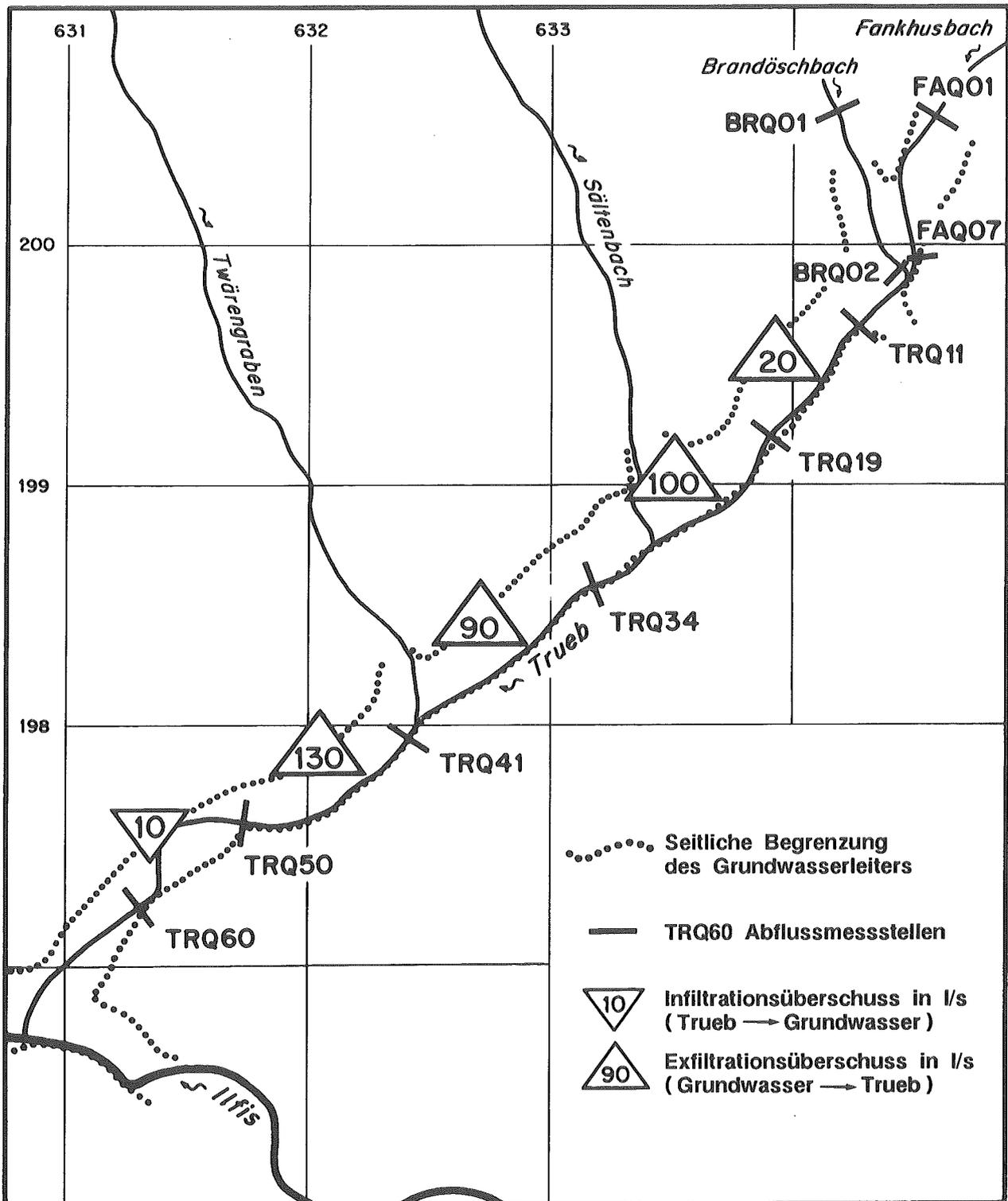


Tabelle 3.20 Differenzmessungen zwischen TRQ11 und TRQ19, Mengen in m³/s

Datum	TRQ11	TRQ19	Zuflüsse	Differenzmenge
29.08.1989	0.369	0.434	0.043	0.022
20.06.1990	0.946	0.911	0.021	-0.056
24.07.1990	0.460	0.563	0.000	0.103
26.09.1990	0.280	0.420	0.081	0.059
10.12.1990	0.524	0.544	0.010	0.010
14.01.1991	1.282	1.378	0.055	0.041
26.02.1991	0.740	0.735	0.052	-0.057
30.07.1991	0.735	0.676	0.048	-0.107
24.10.1991	0.010	0.030	0.000	0.020
15.11.1991	0.015	0.080	0.015	0.050
24.02.1992	0.226	0.273	0.013	0.034
1.06.1992	0.293	0.357	0.000	0.064
Mittel	0.490	0.533	0.028	0.015

Tabelle 3.21 Differenzmessungen zwischen TRQ19 und TRQ34, Mengen in m³/s

Datum	TRQ19	TRQ34	Zuflüsse	Differenzmenge
24.07.1990	0.563	0.632	0.005	0.064
26.09.1990	0.420	0.489	0.049	0.020
10.12.1990	0.544	0.692	0.025	0.123
14.01.1991	1.378	1.558	0.120	0.060
26.02.1991	0.735	1.039	0.060	0.244
30.07.1991	0.676	0.877	0.051	0.150
24.10.1991	0.030	0.070	0.002	0.038
15.11.1991	0.080	0.150	0.017	0.053
24.02.1992	0.273	0.435	0.006	0.156
1.06.1992	0.357	0.450	0.003	0.090
Mittel	0.505	0.639	0.034	0.100

Tabelle 3.22 Differenzmessungen zwischen TRQ34 und TRQ41, Mengen in m³/s

Datum	TRQ34	TRQ41	Zuflüsse	Differenzmenge
3.10.1989	0.229	0.245	0.003	0.013
26.04.1990	0.864	1.126	0.092	0.170
24.07.1990	0.632	0.732	0.004	0.096
26.09.1990	0.489	0.681	0.017	0.175
10.12.1990	0.692	0.759	0.028	0.039
14.01.1991	1.558	1.901	0.168	0.175
26.02.1991	1.039	1.265	0.032	0.194
30.07.1991	0.877	0.956	0.011	0.068
24.10.1991	0.070	0.130	0.000	0.060
15.11.1991	0.150	0.200	0.000	0.050
1.06.1992	0.450	0.478	0.008	0.020
12.10.1992	0.175	0.175	0.000	0.000
Mittel	0.602	0.720	0.030	0.088

Tabelle 3.23 Differenzmessungen zwischen TRQ41 und TRQ50, Mengen in m³/s

Datum	TRQ41	TRQ50	Zuflüsse	Differenzmenge
3.10.1989	0.245	0.397	0.006	0.146
13.10.1989	0.396	0.546	0.010	0.140
26.04.1990	1.126	1.275	0.035	0.114
24.07.1990	0.732	0.875	0.011	0.132
26.09.1990	0.681	0.786	0.020	0.085
10.12.1990	0.759	0.957	0.024	0.174
14.01.1991	1.901	2.024	0.062	0.061
26.02.1991	(1.265)	1.779*	(0.036)	(0.478)
30.07.1991	0.956	1.080	0.019	0.105
24.10.1991	0.130	0.253	0.002	0.121
15.11.1991	0.200	0.350	0.003	0.147
1.06.1992	0.478	0.620	0.007	0.135
12.10.1992	0.175	0.353	0.002	0.176
Mittel	0.648	0.793	0.017	0.128

* Messung durch Schneeschmelze verfälscht

Tabelle 3.24 Differenzmessungen zwischen TRQ50 und TRQ60, Mengen in m³/s

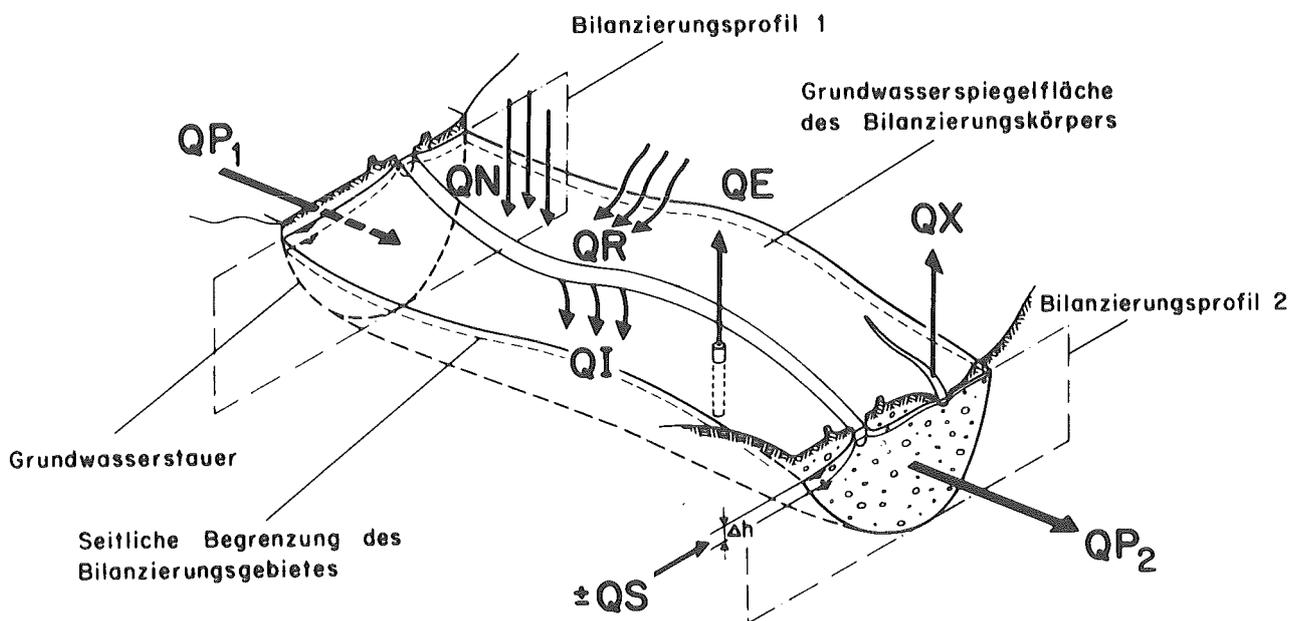
Datum	TRQ50	TRQ60	Zuflüsse	Differenzmenge
13.10.1989	0.546	0.556	0.003	0.007
27.04.1990	1.103	1.101	0.010	-0.012
24.07.1990	0.875	0.843	0.002	-0.034
24.02.1992	0.688	0.679	0.002	-0.011
Mittel	0.803	0.795	0.004	-0.012

Die Exfiltration aus dem Grundwasserleiter in die Trueb überwiegt klar gegenüber der Infiltration. Zwischen TRQ19 und TRQ50 beträgt der Exfiltrationsüberschuss ca. 330 l/s. In den Gewässerabschnitten zwischen TRQ11 und TRQ19 bzw. TRQ50 und TRQ60 sind die Differenzmengen für eindeutige Mengenangaben zu klein. Oberhalb TRQ11 bis zu den Messstellen am Fankhus- und Brandöschbach, welche über dem Grundwasserspiegel liegen, geben die Abflussmessungen ebenfalls zu ungenaue Resultate.

4 ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERZU- UND -WEGFLÜSSE

Grundwasser-Dargebotsstudien, Nutzungs- und Schutzkonzepte erfordern, dass die Grundwasserzu- und -wegflüsse des Grundwasservorkommens erfasst bzw. gemessen werden. Dies gilt auch, wenn für die Grundwasserbilanzierung und die Überwachung des Grundwasservorkommens ein numerisches Grundwassermodell erstellt wird (vgl. Kapitel 5), denn die (unabhängig vom numerischen Modell) berechneten Zu- und Wegflüsse werden bei den Modellarbeiten entweder als Eingabedaten oder Kontrollgrößen benötigt. Die Figur 4.1 zeigt schematisch die zu beachtenden Zu- und Wegflüsse (Bilanzierungskennziffern) in einem Schotter-Grundwasserleiter.

Figur 4.1 Schematischer Bilanzierungskörper mit Grundwasserzu- und -wegflüssen im Grundwasserleiter des Truebtals.



Zuflüsse

- QP1 = Zufluss durch Bilanzierungsprofil (z.B. Fankhusgraben)
- QN = direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag
- QR = indirekte Grundwasserneubildung (Randzufluss)
- QI = Infiltration aus Oberflächengewässern

Wegflüsse

- QP2 = Wegfluss durch das Bilanzierungsprofil (z.B. Trubschachen)
- QX = Exfiltration von Grundwasser
- QE = Grundwasserentnahme (Trink- und Brauchwasserversorgung)

Speicheränderung

- ±QS = Speichermengen (+) bzw. Zehrmengen (-)

Die Ermittlung der Grundwasserzu- und -wegflüsse, basiert auf den in Kapitel 2 und 3 aufgeführten Hydrologischen Kennziffern und Grundlagedaten und wurde im wesentlichen mit den Methoden, wie sie in [17] beschrieben sind, durchgeführt. Auf ihre Berechnung wird im Detail nicht eingetreten, in erster Linie werden die Resultate dargestellt.

Der Bilanzierungskörper, für den die Grundwasserzu- und -wegflüsse berechnet werden, entspricht der Unterwasserspiegelzone des Grundwasserleiters des Truebtals. Er wird begrenzt durch die Bilanzierungsprofile (BP) Fankhusgraben, Brandöschgraben, Äschengraben, Sältenbach, Twärengraben, Trubschachen und die seitliche Berandung. Für die Grundwasserneubildung sind 11 Teileinzugsgebiete massgebend (vgl. Figur 4.2).

In der folgenden Tabelle werden für die Teileinzugsgebiete (im folgenden kurz Teilgebiete genannt) die Mittlere Höhe, die Gesamtfläche und der Waldanteil aufgeführt.

Tabelle 4.1 Teileinzugsgebiete im Truebtal

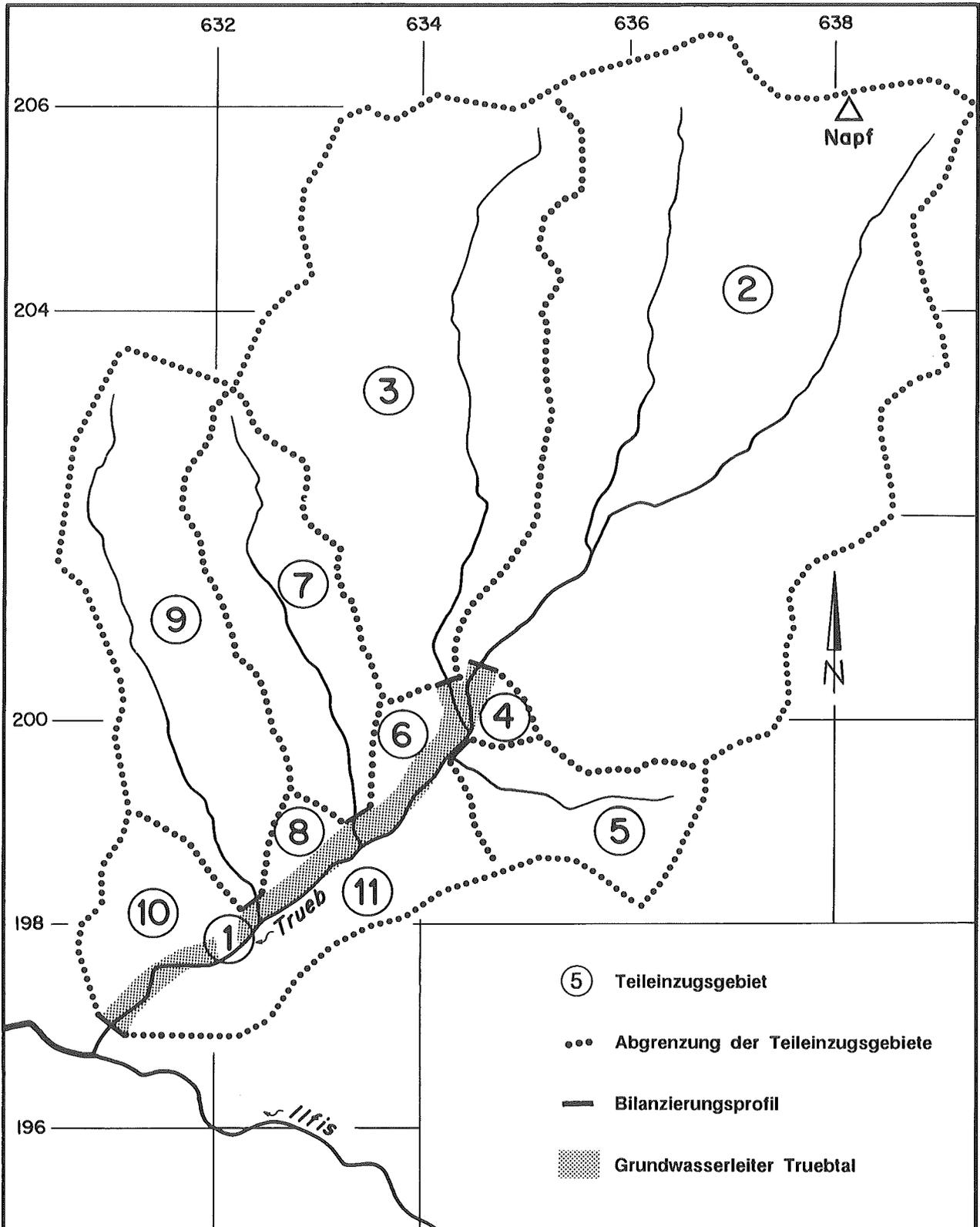
Nr.	Fläche km ²	Mittlere Höhe m ü.M.	Wald- anteil km ²	Bemerkungen
1	1.26	786	-	Grundwasserleiter Truebtal
2	22.28	1031	11.82	Fankhusgraben
3	12.66	1066	7.95	Brandöschgraben
4	0.30	932	0.13	
5	2.32	1027	1.19	Äschengraben
6	0.48	903	0.18	
7	4.05	1002	2.29	Sältenbach
8	0.39	896	0.17	
9	6.39	985	3.27	Twärengraben
10	1.57	899	0.62	
11	2.76	923	1.49	
Total	54.46	1020	29.09	

Das Teilgebiet 1 entspricht dem mit dem Grundwassermodell erfassten Grundwasserleiter. Der Zufluss aus den Teilgebieten 2, 3, 5, 7 und 9 ins Bilanzierungs- bzw. Teilgebiet 1 erfolgt praktisch ausschliesslich konzentriert durch die jeweiligen Bilanzierungsprofile. Die Teilgebiete 4, 6, 8, 10 und 11 entwässern randlich dispers ins Teilgebiet 1.

Im folgenden werden die mittleren Grundwasserzu- und -wegflüsse für die Jahre 1991 und 1992 erörtert. Sie bilden eine Grundlage für die stationäre Eichung des Grundwassermodells Truebtal. Die Grundwasserzu- und -wegflüsse sind für die Jahresmittel praktisch gleich gross.

Die Grundwasserzuflüsse bestehen aus der direkten Grundwasserneubildung in Teilgebiet 1 (vgl. Abschnitt 4.1.1) und der indirekten Grundwasserneubildung aus den Teilgebieten 2 - 11 (vgl. Abschnitt 4.1.2). Mit den Differenzmessungen im Oberflächengewässernetz konnten eindeutig, lediglich Exfiltrationsüberschüsse nachgewiesen werden (vgl. Abschnitt 3.5). Die örtliche Infiltration der Trueb, wie sie aus den Spiegelisohypsen in Beilage 1 hervorgeht, fällt für die Bilanz daher nicht ins Gewicht.

Figur 4.2 Teileinzugsgebiete im Truebtal



Die Grundwasserwegflüsse setzen sich zusammen aus dem oben erwähnten Exfiltrationsüberschuss (vgl. Abschnitt 4.2.2), der Grundwassernutzung (vgl. Abschnitt 4.2.3) und dem Wegfluss durch das Bilanzierungsprofil Trubschachen, welches dem Grundwasserzufluss ins Ifistal entspricht.

4.1 Grundwasserzuflüsse

4.1.1 Direkte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Der Anteil des Niederschlags, der direkt auf den Grundwasserleiter (Teilgebiet 1, Talsohle Trueb) fällt und über eine kurze, mehr oder weniger vertikale Sickerstrecke (im Bilanzierungsgebiet hauptsächlich ca. 3 bis 9 m) den Grundwasserspiegel erreicht, entspricht der sogenannten direkten Grundwasserneubildung GN (bezogen auf Einheitsfläche) bzw. QN (bezogen auf den ganzen Grundwasserleiter oder auf einen Teil). GN und QN können für einen Zeitabschnitt in mm (wie die tägliche Niederschlagshöhe) oder für eine Fläche in m³/s bzw. l/s angegeben werden.

Für die Ermittlung der direkten Grundwasserneubildung wie auch der in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen indirekten Grundwasserneubildung wurden in erster Linie folgende Parameter berücksichtigt :

- Niederschläge (N) korrigiert nach SEVRUK
- potentielle Verdunstung (V) nach PENMAN
- Oberflächenwasserabfluss des betrachteten Bilanzierungsgebietes (AO)

Im langzeitlichen Mittel berechnet sich die direkte Grundwasserneubildung zu:

$$QN = N - AO - V$$

Die Berechnung der Grundwasserneubildung basiert auf den in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 behandelten Niederschlags- und Verdunstungsdaten. Für den Grundwasserleiter im Teilgebiet 1 werden die Werte der Klimastation Langnau verwendet. Für die übrigen Teilgebiete werden aufgrund ihrer Lage und Höhe anteilmässig die Daten sämtlicher erwähnter Messstationen berücksichtigt.

Der oberflächliche, kurzfristige Abfluss kann aufgrund der abflusswirksamen Flächen, Überbauungsdichte, Geländeverhältnisse und Bewirtschaftung über entsprechende Abflussbeiwerte ermittelt werden [25]. Der Abflussbeiwert gibt an, wieviel des Niederschlags oberflächlich abfließt und damit weder für die Verdunstung noch für die Versickerung zur Verfügung steht. Es sind folgende Beiwerte (Mittelwerte) berücksichtigt worden:

- | | |
|-----------------------|------|
| - Siedlungsgebiet | 0.35 |
| - Landwirtschaftszone | 0.03 |

Für den Grundwasserleiter im Truebtal (Teilgebiet 1) ergibt sich ein mittlerer Abflussbeiwert von ca. 6 %.

In Tabelle 4.2 werden die mit den erwähnten Grundlagen berechneten Jahresmittel der Jahre 1991 und 1992 zusammengestellt. Die direkte Grundwasserneubildung beträgt im Mittel beider Jahre 32 l/s.

Tabelle 4.2 Direkte Grundwasserneubildung, Jahresmittelwert 1991 und 1992.

Jahr	Fläche Grundwasserleiter (Teilgebiet 1) [km ²]	Niederschlag abzüglich Verdunstung [l/s]	Oberflächenwasserabfluss [l/s]	Direkte Grundwasserneubildung [l/s]
1991	1.26	32	2	30
1992	1.26	36	2	34
Mittel 91/92	1.26	34	2	32

4.1.2 Indirekte Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Als indirekte Grundwasserneubildung QR werden die Zuflüsse bezeichnet, die dem betrachteten Grundwasservorkommen über die seitlichen Ränder zusickern, entweder konzentriert aus Grundwasserleitern der Seitentäler und/oder dispers auf Grundwasserstauern der angrenzenden Talflanken. Sie werden durch Niederschlagswasser gespeist, das im seitlichen Einzugsgebiet direkt versickert oder aus Bächen und Gräben in den Untergrund infiltriert.

Aus den höherliegenden Talabschnitten der Seitentäler Fankhusgraben, Brandöschgraben, Äschengraben, Sältenbach und Twärengraben strömt QR konzentriert in den Bilanzierungskörper. Diese Profillüsse könnten nach dem Gesetz von DARCY (vgl. Abschnitt 4.2.1) berechnet werden, wenn Durchlässigkeitsbeiwert, Grundwasserspiegelgefälle und Durchflussfläche des Bilanzierungsprofils bekannt wären. In den obengenannten Bilanzierungsprofilen sind diese Daten nicht oder nur unzureichend bekannt. Die indirekte Grundwasserneubildung wird daher durchwegs, wie in Abschnitt 4.1.1 angegeben, über Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenwasserabfluss berechnet.

Die Tabelle 4.3 gibt einen Überblick über die Berechnungsgrößen der einzelnen Teilgebiete. Der Oberflächenabfluss wurde soweit möglich aufgrund der Abflussmessungen, andernfalls aufgrund von Hangneigung und Waldanteilen bestimmt. Die angegebenen Mengen sind Jahresmittelwerte.

Tabelle 4.3 Indirekte Grundwasserneubildung, Jahresmittelwerte 1991 und 1992

Jahr / Teilgebiet	Fläche [km ²]	Niederschlag abzüglich Verdunstung [l/s]	Oberflächen- wasserabfluss [l/s]	Indirekte Grundwasser- neubildung [l/s]
1991				
2	22.28	681	330	351*
3	12.66	349	200	149*
4	0.30	8	4	4
5	2.32	65	35	30*
6	0.48	14	7	7
7	4.05	102	40	62*
8	0.39	9	6	3
9	6.39	140	60	80*
10	1.57	38	12	26
11	2.76	64	47	17
Total 1991	53.20	1470	741	729
1992				
2	22.28	876	330	546*
3	12.66	445	200	245*
4	0.30	10	4	6
5	2.32	80	35	45*
6	0.48	18	7	11
7	4.05	124	40	84*
8	0.39	11	6	5
9	6.39	165	60	105*
10	1.57	44	12	32
11	2.76	75	47	28
Total 1992	53.20	1848	741	1107
Mittel 1991/92		1659	741	918

* Profilzufluss

In den Jahren 1991 und 1992 beträgt die mittlere indirekte Grundwasserneubildung ca. 730 bzw. 1110 l/s, im Mittel der beiden Jahre ca. 918 l/s.

4.2 Grundwasserwegflüsse

4.2.1 Wegfluss durch das Bilanzierungsprofil Trubschachen

Profilflüsse in Bilanzierungsprofilen, welche senkrecht zur Strömungsrichtung des Grundwassers liegen, lassen sich nach dem Gesetz von DARCY [26], [17] berechnen:

$$Q = k \cdot J \cdot F$$

Q : Grundwasserfluss (Profilfluss) [m³/s]

k : Durchlässigkeitsbeiwert des Bilanzierungsprofils [m/s]

J : Grundwasserspiegelgefälle beim Bilanzierungsprofil

F : Durchflussfläche des Bilanzierungsprofils [m²]

Für das Bilanzierungsprofil Trubschachen können folgende Daten eingesetzt werden:

$$k = 0.0045 \text{ m/s}$$

$$J = 0.015$$

$$F = 9000 \text{ m}^2$$

Der k-Wert von 0.0045 m/s basiert auf den drei Grosspumpversuchen im Raum Trubschachen (vgl. Abschnitt 2.6). Das Gefälle von 0.015 ergibt sich aus den Spiegelisohypsen vom 22.4.1991 in Beilage 1. Die Fläche von ca. 9000 m² kann aus dem Grundwasserspiegel und den Stauerisohypsen berechnet werden. Der Schwankungsbereich der Grundwasserstände im Profil Trubschachen ist sehr gering: Spiegelgefälle und Durchflussfläche sind relativ konstant.

Der Grundwasserwegfluss vom Truebtal ins Ilfistal beträgt ca. 600 l/s.

4.2.2 Grundwasserexfiltration

Die Differenzmessungen im Oberflächengewässernetz haben einen beachtlichen Exfiltrationsüberschuss in die Trueb ergeben (vgl. Abschnitt 3.5). Im Mittel dürfte er total ca. 330 l/s betragen.

Allfällige zeitliche Schwankungen des Exfiltrationsüberschusses, z.B. infolge Grundwasserstandsbewegungen, veränderter Wasserführung der Trueb, Sohlenbewegungen des Gerinnes nach Hochwasserereignissen, lassen sich mit den Differenzmessungen nicht ermitteln. Für die stationäre Eichung des Grundwassermodells genügt jedoch die örtliche Abhängigkeit, wie sie gemäss Abschnitt 3.5 erfasst wurde.

4.2.3 Grundwassernutzung

In Abschnitt 3.4.2 sind die Entnahmemengen der öffentlichen und privaten Grundwasserfassungen im Truebtal aufgeführt. Die aus dem Grundwasserleiter im Truebtal entnommen Mengen sind im Vergleich zu den übrigen Flüssen relativ klein (weniger als 10 l/s) und wurden für das Grundwassermodell nicht berücksichtigt.

5 NUMERISCHES GRUNDWASSERMODELL

5.1 Ziel der Modellbetrachtungen

Wir können unsere Grundwasservorkommen nur ausreichend schützen und optimal bewirtschaften, wenn ihre wichtigsten von Zeit und Raum abhängigen Eigenschaften, wie z.B. die Speisungsmechanismen, das nutzbare Grundwasserdargebot zuverlässig beurteilt und langfristig überwacht werden können. Um dies zu erreichen, muss in Zukunft vermehrt mit geichteten, instationären Grundwassermodellen gearbeitet werden. Die Erfahrung zeigt deutlich, dass es in der Regel nicht genügt, die Messresultate wie bis anhin visuell zu beurteilen. Sie müssen umfassend ausgewertet werden. Grundwassermodelle bieten dazu das beste Hilfsmittel [17].

Im Truebtal galt es vor allem die Wechselbeziehungen Trueb-Grundwasser zu überblicken, Grundwasser-Bewirtschaftungsszenarien zu prüfen und den Einfluss von Grundwasser-Entnahmen auf die vom Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer von 1991 geforderten Restwassermengen zuverlässig zu ermitteln.

5.2 Aufbau des Grundwassermodells

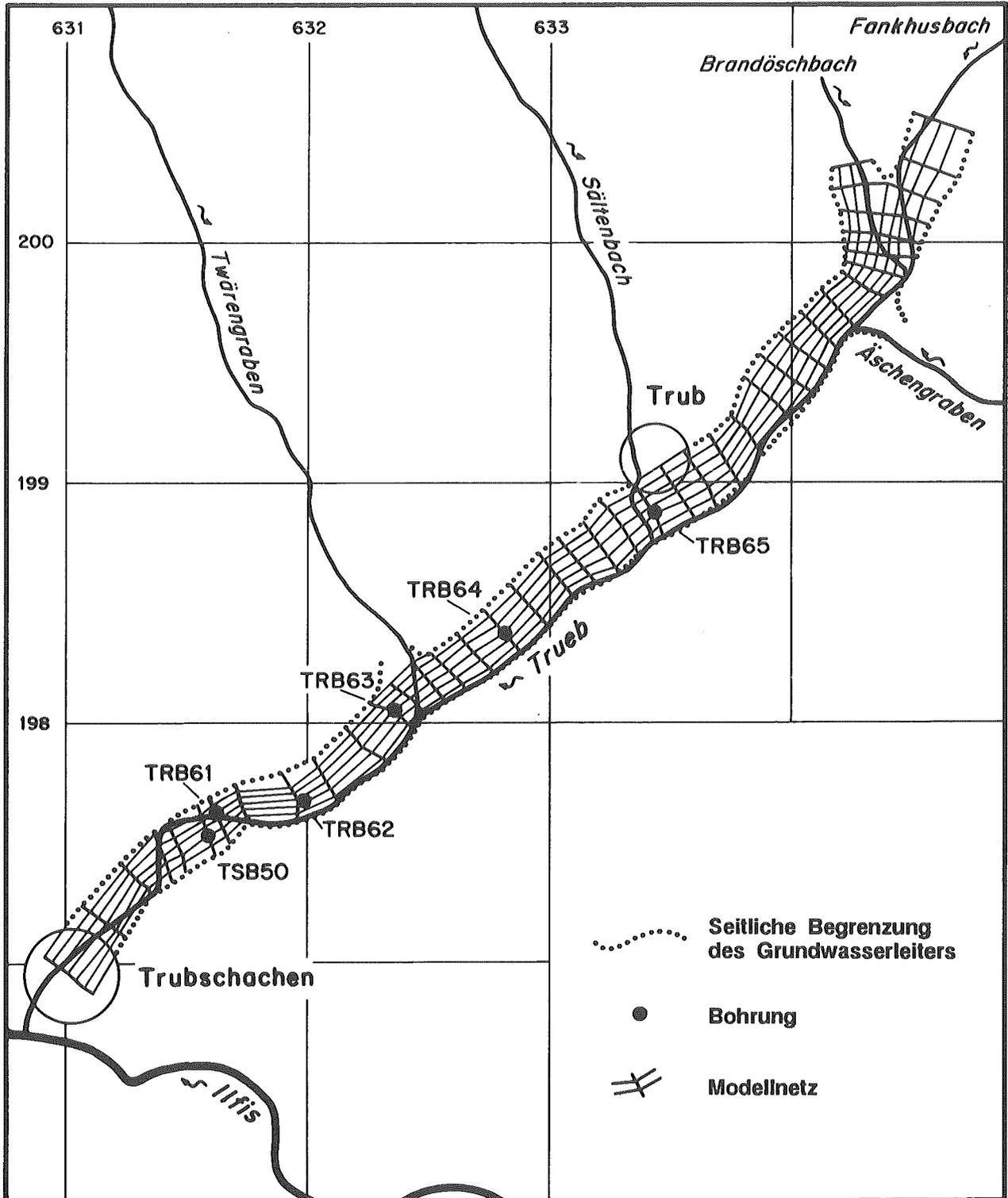
Das Grundwasser-Strömungsmodell, kurz Grundwassermodell Truebtal genannt, basiert auf den an der VAW [27] entwickelten, im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms ergänzten [17] und erfolgreich eingesetzten Computerprogrammen für die numerischen Simulationen der Grundwasserströmungen. Es löst die Differentialgleichung der Grundwasserströmung für den zweidimensionalen, horizontal-ebenen Fall mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente.

Obschon die Eigenschaften des realen Grundwasserleiters über die Höhe variieren, sind für regionale Ueberlegungen zweidimensionale, horizontal-ebene Modellberechnungen zulässig, weil für rein mengenmässige Betrachtungen der mittlere Grundwasserfluss der gesamten Mächtigkeit interessiert und Geschwindigkeitsunterschiede des Wassers innerhalb der Grundwassermächtigkeit nicht relevant sind.

Figur 5.1 zeigt die Diskretisierung bzw. Netzeinteilung des untersuchten Grundwasserleiters für die Modellberechnungen. Das Modellnetz umfasst 242 Elemente und 291 Knoten. Der seitliche Modellrand entspricht relativ gut der seitlichen Begrenzung des Grundwasserleiters gemäss den Beilagen 1 und 2. Die Netzeinteilung ist so vorgenommen worden, dass die Längsseiten der Elemente generell der Strömungsrichtung des Grundwassers folgen und die Querseiten senkrecht dazu verlaufen. Zudem wurde beachtet, dass die Knoten möglichst auf bestehende Aufschlüsse (Piezometer, Bohrungen und Grundwasserfassungen) oder das Gewässernetz zu liegen kamen.

Damit mit dem Modell gearbeitet werden kann, müssen für jeden Knoten die Lagekoordinaten und die Kote des Grundwasserstauers, für jedes Element der Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert) und der Speicherkoeffizient bekannt sein. Für sämtliche Randknoten sind sogenannte Randbedingungen zu formulieren, die die Kenntnis des Grundwasserstandes oder -flusses voraussetzen. Weiter sind Informationen über Grundwasserzu- und -wegflüsse für jeden Knoten notwendig.

Figur 5.1 Grundwassermodell Trubetal: Netzeinteilung



Die Grundwasserstauer-Koten sind aus dem Situationsplan mit den Isohypsen des Grundwasserstauers (Beilage 1) entnommen worden. Die definitiven k-Werte gehen aus der Modelleichung (vgl. Abschnitt 5.2) hervor. Als Randbedingung wurden im Profil Trubschachen die Grundwasserstände, entlang der seitlichen Ränder als Zufluss die indirekte Grundwasserneubildung vorgegeben. Die direkte Grundwasserneubildung wirkt als Flächenfluss auf das Modellgebiet. Die Exfiltrationsmengen wurden als Knotenflüsse berücksichtigt.

Für den stationären Betrieb des Grundwassermodells Truebtal müssen folgende Angaben vorliegen:

Wasserstände: - Grundwasserstände im Profil Trubschachen und im Profil Fankhusgraben

Grundwasserflüsse : - Direkte und indirekte Grundwasserneubildung
- Exfiltrationsmenge in die Trueb

Im stationären Fall sind Grundwasserzu- und -wegflüsse gleich gross; es wird weder Grundwasser gespeichert noch gezehrt und es treten keine Schwankungen des Grundwasserspiegels auf. Dies trifft in Wirklichkeit am ehesten zu während ausgedehnten Trockenwetterperioden mit nur noch geringfügigen Grundwasserspiegelrückgängen.

5.3 Eichung des Grundwassermodells

Mit Hilfe der stationären Eichung werden die k-Werte für das Grundwassermodell elementweise bestimmt. Ausgehend von den versuchsmässig bestimmten Kennziffern werden die Element-k-Werte innerhalb einer wahrscheinlichen Bandbreite verändert, bis die mit dem Modell berechneten Daten genügend gut mit den sogenannten Kontrolldaten übereinstimmen [17]. Als Kontrolldaten dienen z.B. gemessene Grundwasserstände, In- und Exfiltrationsmengen oder gut abgesicherte Profizu- und -wegflüsse. Der Eichvorgang ist ein iterativer Prozess. Die Annäherung an die Kontrolldaten erfolgt im allgemeinen nur schrittweise und auch mit Rückschlägen.

Eine vollständige Übereinstimmung zwischen Eingabe- bzw. Modell- und Kontrolldaten lässt sich vor allem infolge lokaler Inhomogenitäten und der vereinfachenden Modellkonfigurationen nicht erreichen. Die Standardabweichung der Differenzen zwischen den mit dem Grundwassermodell berechneten und den gemessenen Grundwasserständen kann bei unterschiedlichen Spiegelgefällen oder grossen konzentrierten Randzuflüssen und Exfiltrationen mehrere Dezimeter erreichen.

Als Resultat liefern die numerischen Berechnungen für jeden Knoten einen Grundwasserstand (Potential) und einen -fluss, soweit diese nicht vorgegeben wurden, sowie für jedes Element einen Durchlässigkeitsbeiwert.

Wenn mit Hilfe der Modelleichung keine befriedigende Annäherung zwischen den berechneten Werten und den Kontrolldaten gefunden werden kann, ist anzunehmen, dass die Geometrie des Grundwasserleiters und/oder die Grundwasserzu- und -wegflüsse nicht genügend genau erfasst sind.

Das Grundwassermodell wurde mit den Mittelwerten der Jahre 1991/92 der berechneten direkten und indirekten Grundwasserneubildung, den gemessenen Exfiltrationsüberschüssen (vgl. Abschnitt 4) und den Grundwasserständen vom 22.04.1991 (Beilage 1) stationär geeicht.

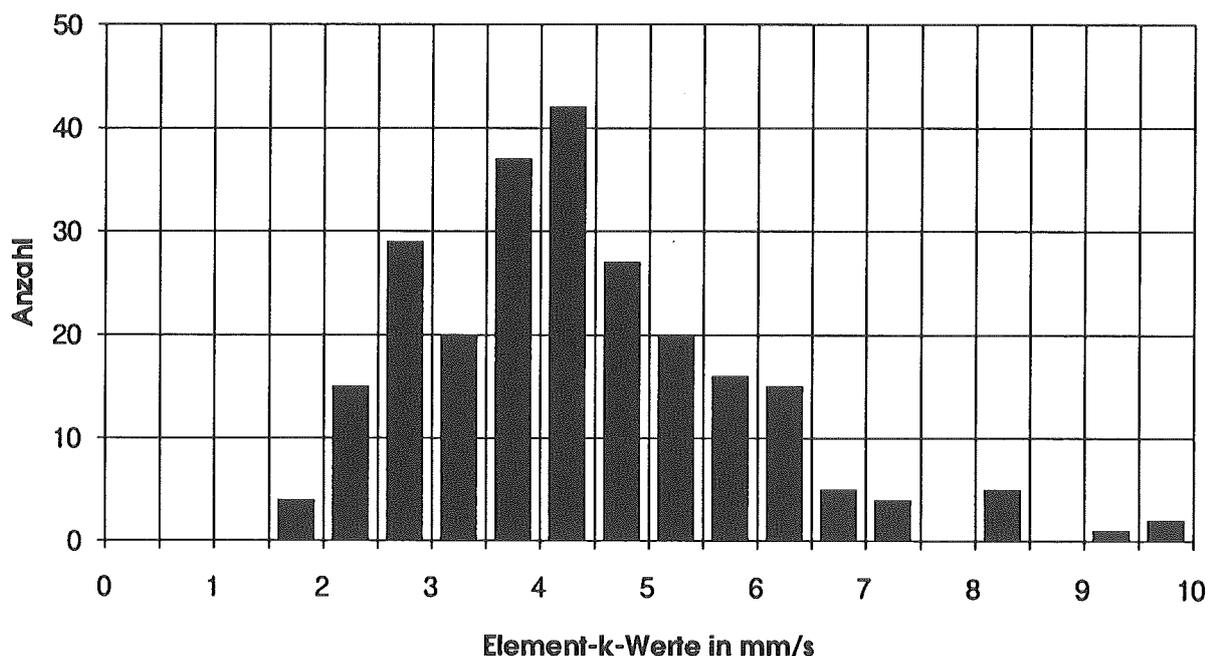
Am Eichdatum wurden die Grundwasserstände in allen Messstellen des Modellgebietes gemessen und 25 davon direkt einem Modellknoten zugeordnet. 2 Wasserstände dienen als Eingabedaten, die restlichen 23 als Kontrolldaten. Als weitere Kontrolle wurde der Profilwegfluss aus dem Profil Trubschachen verwendet und mit dem nach DARCY berechneten Profilwegfluss verglichen (vgl. Abschnitt 4.2.1).

Die gemessenen und die mit dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserstände zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Bei 22 von 23 Messstellen liegen die Abweichungen innerhalb von ± 1 cm. 1 Messstelle weist eine Abweichung von -2.5 cm auf.

Der Unterschied zwischen dem nach DARCY berechneten Profilwegfluss in Trubschachen und dem entsprechenden Modellergebnis beträgt ca. 20 l/s und ist damit ebenfalls unbedeutend klein. Diese guten Übereinstimmungen zeigen, dass das Modell für die Simulation von Bewirtschaftungsszenarien eingesetzt werden kann.

Die bei der Modelleichung erhaltenen Element-k-Werte variieren in relativ engen Grenzen zwischen 1.6 und 9.8 mm/s, das arithmetische Mittel beträgt 4.3 mm/s. Die entsprechende Häufigkeitsverteilung ist in Figur 5.2 ersichtlich. Die örtliche Verteilung ist sehr regelmässig und deutet nicht auf grosse gebietsspezifische Durchlässigkeitsunterschiede hin.

Figur 5.2 Häufigkeitsverteilung der Element-k-Werte in mm/s



6 BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERVORKOMMENS

Ein Grundwasservorkommen kann umfassend charakterisiert werden mit:

- den räumlichen Abmessungen (Grundwasserspiegel, Oberfläche des Grundwasserstauers, Mächtigkeit, seitliche Ausdehnung, Flurabstand)
- den Strömungsverhältnissen (Fließrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers, Durchlässigkeitsverhältnisse)
- der Grundwasserbilanz (Grundwasserzu- und -wegflüsse, im Grundwasserleiter strömende Wassermengen)
- der Grundwasserqualität (physikalisch-chemische, bakteriologische Eigenschaften).

Im folgenden wird für den Zeitschnitt 22.04.1991, den Zeitraum 1990 und 1992 vor allem das Grundwasservorkommen im Truebtal (das mit dem Grundwassermodell Truebtal erfasste sog. Modellgebiet) beschrieben.

6.1 Grundwasserverhältnisse am 22.04.1991

Die Grundwasserstände vom 22.04.1991 entsprechen etwa einem mittleren Grundwasserstand für den Untersuchungszeitraum. Die beschriebenen Strömungsverhältnisse, Grundwassermächtigkeiten und Flurabstände können als repräsentativ für mittlere Grundwasserverhältnisse betrachtet werden.

Die Gefälle des Grundwasserspiegels und damit auch die Strömungsrichtungen sind bei höheren und tieferen natürlichen Grundwasserständen grösstenteils ähnlich wie bei mittleren. Die für den 22.04.1991 erläuterten Verhältnisse haben deshalb generell Gültigkeit.

6.1.1 Isohypsen des Grundwasserspiegels

Auf die Bedeutung der Simultanmessung vom 22.04.1991 für die stationäre Eichung des Grundwassermodells und die gute Übereinstimmung der gemessenen mit den mit dem Modell berechneten Grundwasserstände, wurde in Abschnitt 5.2 hingewiesen. Die mit dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserstände beschreiben die über die Tiefe gemittelte Grundwasserströmung. Sie werden als mittlere Potentiale bezeichnet und entsprechen den in den weitgehend verfilterten Bohrungen gemessenen Wasserständen. Im Truebtal fallen die festgestellten Abweichungen zwischen dem Grundwasserspiegel und den Wasserständen in den Bohrungen lediglich in TRB61 mit ca. 30 cm und in TRB65 mit ca. 90 cm ins Gewicht.

Der Grundwasserspiegel kann anschaulich mit Höhenkurven, sogenannten Isohypsen, dargestellt werden. Das Grundwasser strömt im Bereich des Grundwasserspiegels senkrecht zu den Isohypsen.

In der Beilage 1 sind die Isohypsen der Grund- und Truebwasserspiegel für die Simultanmessungen vom 22.04.1991 dargestellt worden. Ihr Verlauf in der Nähe der Trueb und des Fankhusbaches zeigt einen engen Zusammenhang zwischen Oberflächen- und Grundwasser mit intensiven Wechselbeziehungen. Die Exfiltrationsstrecken, wo Grundwasser in die Oberflächengewässer austritt, dominieren gegenüber den Infiltrationsstrecken wo Oberflächenwasser versickert. Da Trueb und Fankhusbach stark verbaut sind, kommt es auch zu typischen Wehrumströmungen. Oberhalb der Wehre fliesst Wasser in den Grundwasserleiter, unterhalb ins Bachbett zurück.

Die Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers variiert infolge des heterogenen Aufbaus des Grundwasserleiters normalerweise nicht nur von Ort zu Ort, sondern auch über die Tiefe relativ stark. Die mittlere kann bekanntlich mit der erweiterten Gleichung nach DARCY berechnet werden. Die im folgenden angegebenen Fliessgeschwindigkeiten sind daher als generelle, über die Tiefe gemittelte Werte zu verstehen.

Das durchschnittliche Gefälle des Grundwasserspiegels zwischen Hüseren und Trubschachen beträgt ca. 2 %. Dies bewirkt mit einem mittleren k-Wert von 4.3 mm/s und einer durchflusswirksamen Porosität von ca. 12 % [17], [22] eine durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit von ca. 60 m/Tag.

6.1.2 Grundwassermächtigkeit

Die Grundwassermächtigkeit entspricht der Differenz zwischen dem Grundwasserspiegel und dem Grundwasserstauer (vgl. Fig. 2.1).

Bei der Fassung Hüseren (TRRF1) im obersten Teil des Untersuchungsgebietes beträgt die maximale Grundwassermächtigkeit ca. 35 m. Sie wird talabwärts bis unterhalb Trub grösser, erreicht dort knapp 60 m und bleibt bis Trubschachen annähernd konstant (vgl. Fig. 6.1).

In der Mitte des Grundwasserleiters im Truebtal erreicht die Grundwassermächtigkeit die grössten Werte. Sie nimmt an den seitlichen Rändern schnell ab (vgl. Beilage 1, Querprofile). Die durchschnittliche, aufgrund der Isohypsen in Beilage 1 berechnete Grundwassermächtigkeit beträgt im Truebtal ca. 34 m. Die relativ kleinen beobachteten Grundwasserstandsschwankungen (vgl. Abschnitt 6.1.4) verändern die Grundwassermächtigkeit nur unbedeutend.

Das Volumen des mit dem Grundwassermodell erfassten Grundwasservorkommens beträgt ca. 43 Mio. m³.

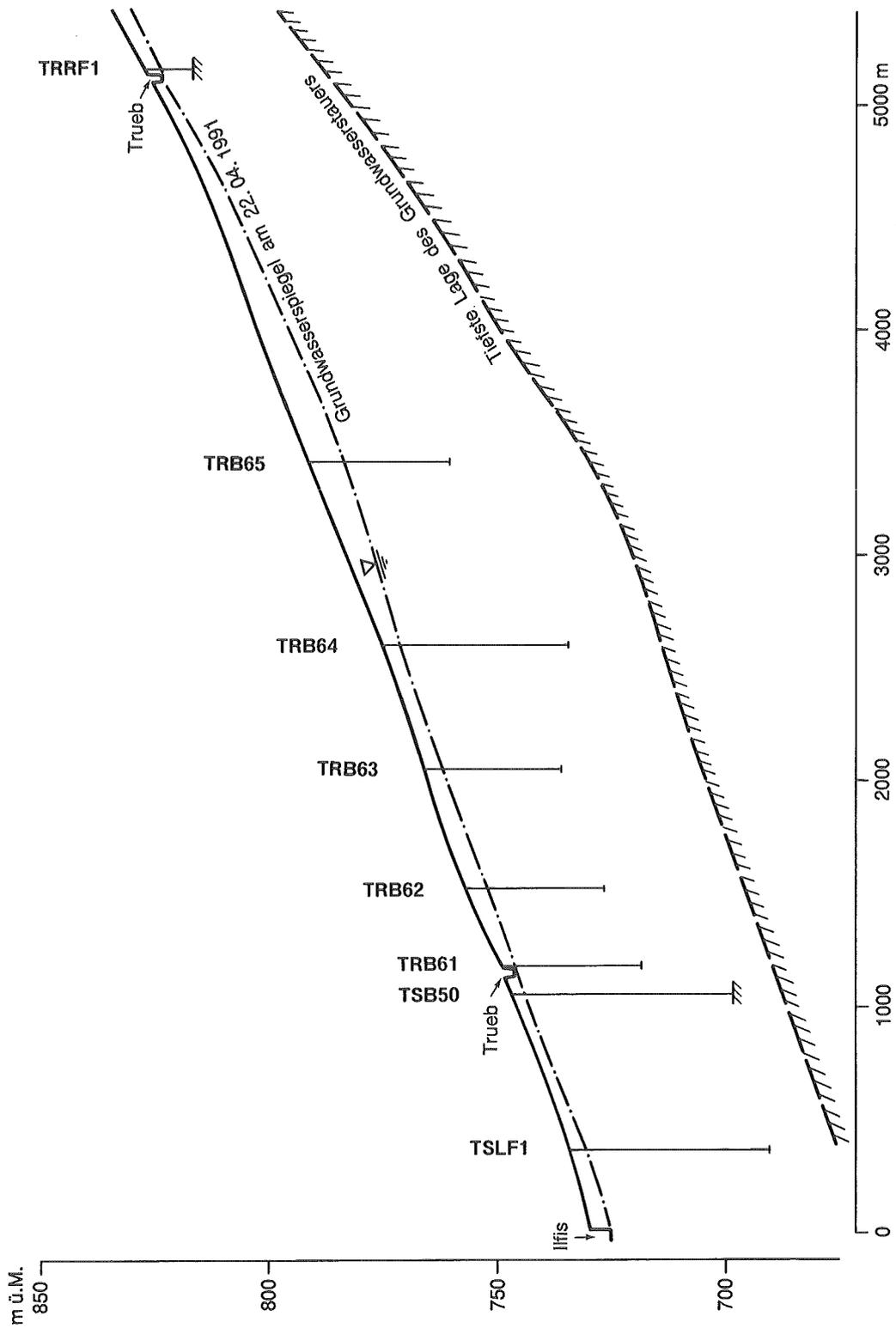
6.1.3 Flurabstand

Der Flurabstand entspricht der Mächtigkeit der Überwasserspiegelzone, also der Differenz zwischen Terrainoberfläche und Grundwasserspiegel (vgl. Figur 2.1). Er zeigt, wie tief das Grundwasservorkommen unter Terrain liegt.

Grosse Flurabstände in der Grössenordnung von ca. 10 bis 20 m bewirken, dass das versickerte Niederschlagswasser und die mit ihm transportierten Stoffe zeitlich verzögert und gedämpft ins Grundwasser gelangen. Grosse Flurabstände begünstigen den qualitativen Schutz des Grundwassers. Bei kleinen Flurabständen sind häufig die Voraussetzungen für Exfiltration gegeben.

Die Flurabstände sind im Untersuchungsgebiet in Talmitte grösstenteils relativ klein und betragen ca. 2 bis 10 m (vgl. Fig. 6.1). Gegen die Talflanken, werden sie vor allem im Bereich von Schuttkegeln der Seitentäler grösser, gegen die Trueb kleiner.

Figur 6.1 Genereller Längsschnitt durch das Truebtal



6.2 Grundwasserverhältnisse 1990 bis 1992

Die Grundwasserstände können örtlich und zeitlich variieren. Basierend auf den Daten der Periode 1990 bis 1992 werden im folgenden ihre Veränderungen aufgezeigt und die Grundwasserflüsse anhand der Modellresultate, der Grund- und Oberflächenwasserbilanz 1991/92 generell beschrieben.

6.2.1 Grundwasserspiegelbewegungen

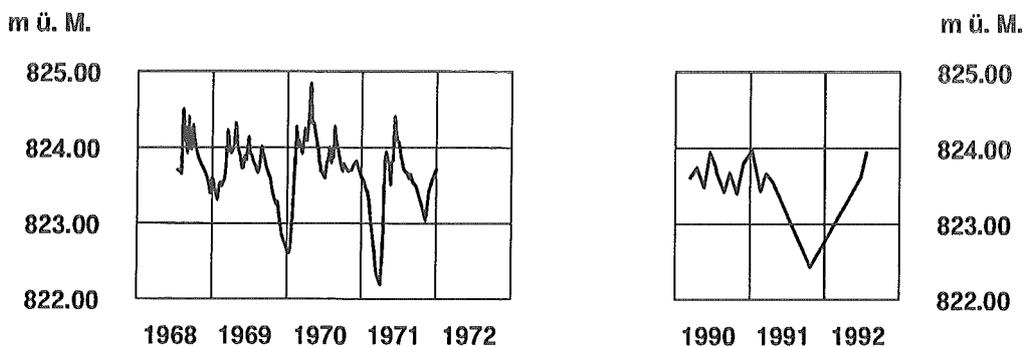
Mit den Isohypsen des Grundwasserspiegels kann eine Momentaufnahme der Grundwasser-oberfläche anschaulich dargestellt werden. Über den zeiträumlichen Verlauf der Grundwasser- spiegel vermögen Isohypsenkarten jedoch keine Auskunft zu geben. Am zweckmässigsten veranschaulichen sog. Ganglinien, basierend auf den mit Schreibpegeln kontinuierlich oder mit Einzelmessungen periodisch erhobenen Grundwasserständen, das instationäre Geschehen. Sie zeigen bei einer horizontalen Zeitachse die effektiven Grundwasserstände oder ihre Tages- mittelwerte in m ü.M.

Die einfachsten statistischen Kennwerte einer Ganglinie sind Mittelwert, Maximum, Minimum und Schwankungsbereich, die im allgemeinen auf eine Zeitperiode von einem Jahr bezogen werden. Der Mittelwert entspricht normalerweise dem arithmetischen Mittel der Tageswerte. Der Schwankungsbereich ist definiert als Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum.

Von Mitte 1968 bis Ende 1971 wurden in der Grundwasserfassung Hüseren mit wöchentlichen Messungen die Grundwasserstände erhoben [8]. In der Figur 6.2 werden sie mit den Einzelmessungen von 1990 bis 1992 verglichen.

Der Mittelwert aus den 181 Messungen der Beobachtungsperiode 1968 bis 1971 beträgt 823.67 m ü.M., derjenige der 17 Messungen von 1990 bis 1992 823.59 m ü.M. Aufgrund der kleinen Differenz von 8 cm kann davon ausgegangen werden, dass sich die mittleren Grund- wasserstände seit 1968 nicht wesentlich verändert haben.

Figur 6.2 Grundwasserstände in der Grundwasserfassung Hüseren in m ü.M.



Die kontinuierliche Aufzeichnung der Grundwasserstände im Truebtal zwischen Trubschachen und Trub wurde unmittelbar nach dem Abtiefen der entsprechenden Sondierbohrung begonnen. Während ca. 3 Jahren waren Schreibpegel in Betrieb (vgl. Tab. 3.16).

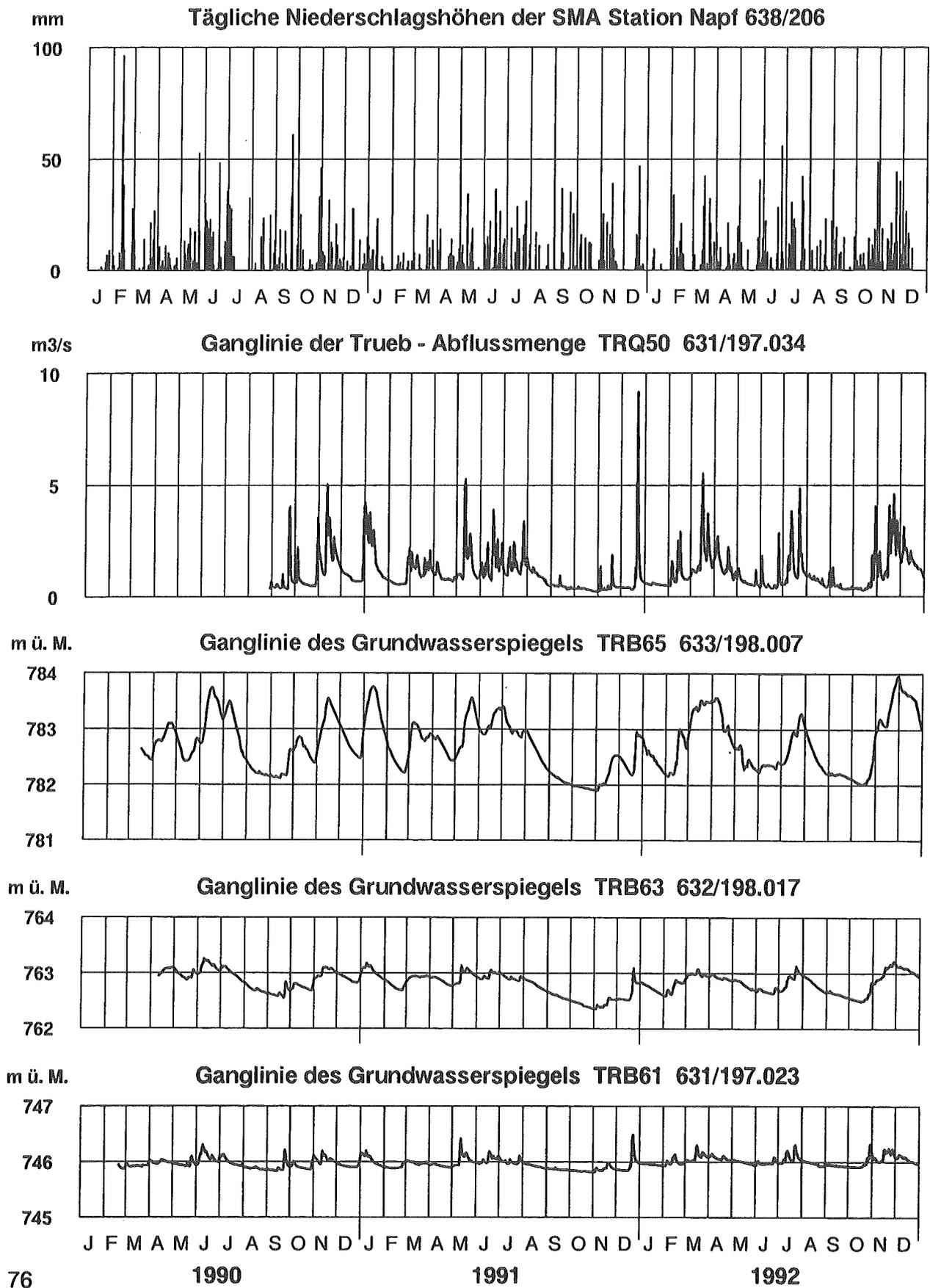
Die aufgezeichneten Grundwasserstände der 3 Messstationen TRB61, TRB63 und TRB65 sind in Figur 6.3 als Ganglinien dargestellt. Sie zeigen, dass mit zunehmender Entfernung vom Ilfistal (in Figur 6.3 von unten nach oben) ihr Schwankungsbereich grösser wird. In TRB61 (oberhalb Trubschachen) beträgt er ca. 0.9 m, in TRB65 (bei Trub) ca. 2 m und nach Figur 6.2 in Hüseren über 2.5 m.

Ein ausgeprägter jahreszeitlicher Schwankungsverlauf ist nicht erkennbar. Die Höchststände können über das ganze Jahr verteilt auftreten. Tiefststände wurden vor allem im Herbst nach längeren Trockenwetterperioden registriert.

Die Anstiege der Grundwasserstände erfolgen teilweise sehr rasch und werden durch Truebhochwasser hervorgerufen. Die Rückgänge nach Hochwasserereignissen sind ebenfalls steil. Dieser Gang der Grundwasserstände, der sich vor allem in den Messstationen TRB61 und TRB63 zeigt, widerspiegelt die Exfiltrationsverhältnisse: Ein Anstieg des Wasserstandes in der Trueb bewirkt einen sofortigen Rückstau und Anstiege des Grundwasser im Exfiltrationsgebiet. Parallel zum Rückgang der Trueb geht auch der Grundwasserstand wieder zurück.

In Figur 6.3 wurden neben den Grundwasserständen der drei Messstationen die Tagesmittel der Abflussmengen in der Trueb (TRQ50 bei Trubschachen) und die täglichen Niederschlagshöhen der Klimastation Napf aufgezeichnet. In Abschnitt 3.5 wurde bereits der Zusammenhang zwischen Grundwasser und Trueb beschrieben. Der Vergleich der Grundwasserstände und der Abflussmengen der Trueb mit dem Niederschlagsgeschehen zeigt keinerlei charakteristische Abhängigkeiten.

Figur 6.3 Niederschlagshöhen, Ganglinien der Abflussmengen und Grundwasserstände



6.2.2 Grundwasserbilanz 1991/92

Die quantitative Beschreibung der Zu- und Wegflüsse in einem Grundwasserleiter wird als Grundwasserbilanzierung, ihr Resultat als Grundwasserbilanz bezeichnet. Die stationäre Grundwasserbilanz gilt für einen Zeitschnitt und die zufließenden Wassermengen sind gleich gross wie die wegfließenden.

Für die stationäre Modelleichung wurden mittlere Wasserstände (22.04.1991) sowie die Mittelwerte der Zu- und Wegflüsse für 1991/92 verwendet. Diese Daten erlauben für das Grundwasservorkommen als Ganzes eine Grundwasserbilanzierung wie sie Tabelle 6.1 zeigt. Da die Differenz der Grundwasserstände zwischen Anfang 1991 und Ende 1992 sehr klein ist, werden für die Bilanzierung die Zehr- oder Speichermengen unbedeutend. Die angegebene Grundwasserbilanz ergibt Mittelwerte für die betrachtete Zeitperiode.

Die Grundwasserzuflüsse von 950 l/s stammen zu ca. 97 % aus den Seitentälern und Talflanken. Die restlichen 3 % lieferte die direkte Grundwasserneubildung.

Aus dem Grundwasserleiter exfiltrieren ca. 330 l/s (35 %) in die Trueb. Die restlichen 620 l/s (65 %) fließen durch das Profil Truebschachen in den Grundwasserleiter des Ilfistals. Die für die Trink- und Brauchwasserversorgung im Truebtal entnommenen Grundwassermengen sind für die Bilanz unbedeutend klein und werden nicht berücksichtigt.

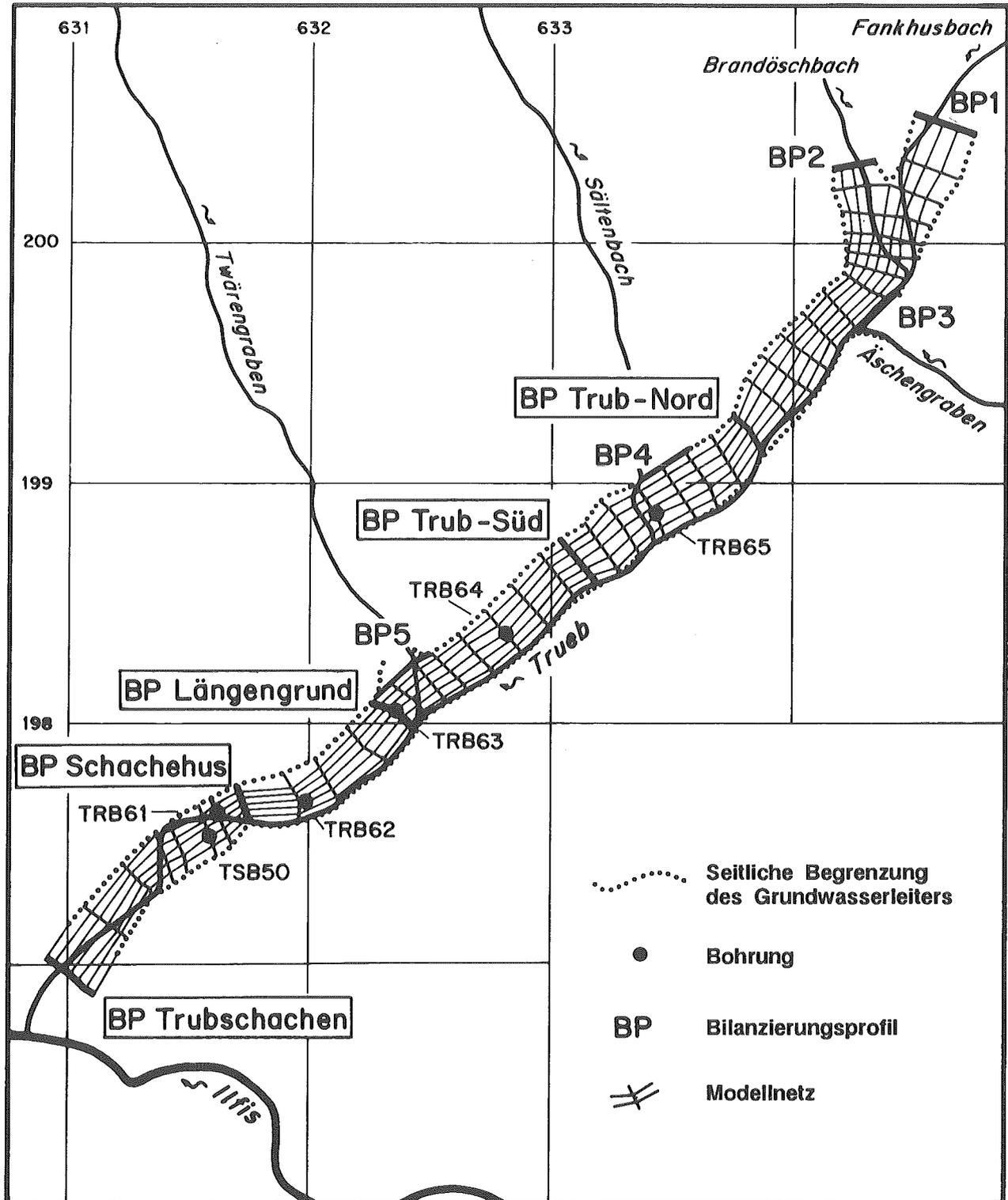
Aus der beschriebenen Grundwasserbilanz für das ganze Grundwasservorkommen als Einzelmodell gehen mit Ausnahme der Zu- und Wegflussprofile die örtlich im Grundwasserleiter strömenden Wassermengen nicht hervor. Um hier Einblick zu erhalten, muss der untersuchte Grundwasserleiter mit zusätzlichen Profilen ungefähr senkrecht zur Strömungsrichtung aufgeteilt werden. Für diese Profile lassen sich die durchströmenden Wassermengen berechnen. Mit dem Grundwassermodell kann für jede der 37 resp. 38 Elementreihen, d.h. für Abstände in Fließrichtung von ca. 140 m, der Grundwasserfluss berechnet werden. Im folgenden werden für vier Profile (Schachehus, Längengrund, Trub - Süd und Trub - Nord) die Grundwassermengen angegeben. Die Profilsuren der vier Bilanzierungsprofile sind aus der Figur 6.4 ersichtlich.

Mittels einer sogenannten Bilanzierungsschlange werden in der Figur 6.5 die Grundwassermengen in den vier Bilanzierungsprofilen zusammen mit den mittleren Zu- und Wegflüssen dargestellt. Die Breite der Strömungsbalken sind massstäblich gezeichnet und ermöglichen damit einen raschen visuellen Vergleich.

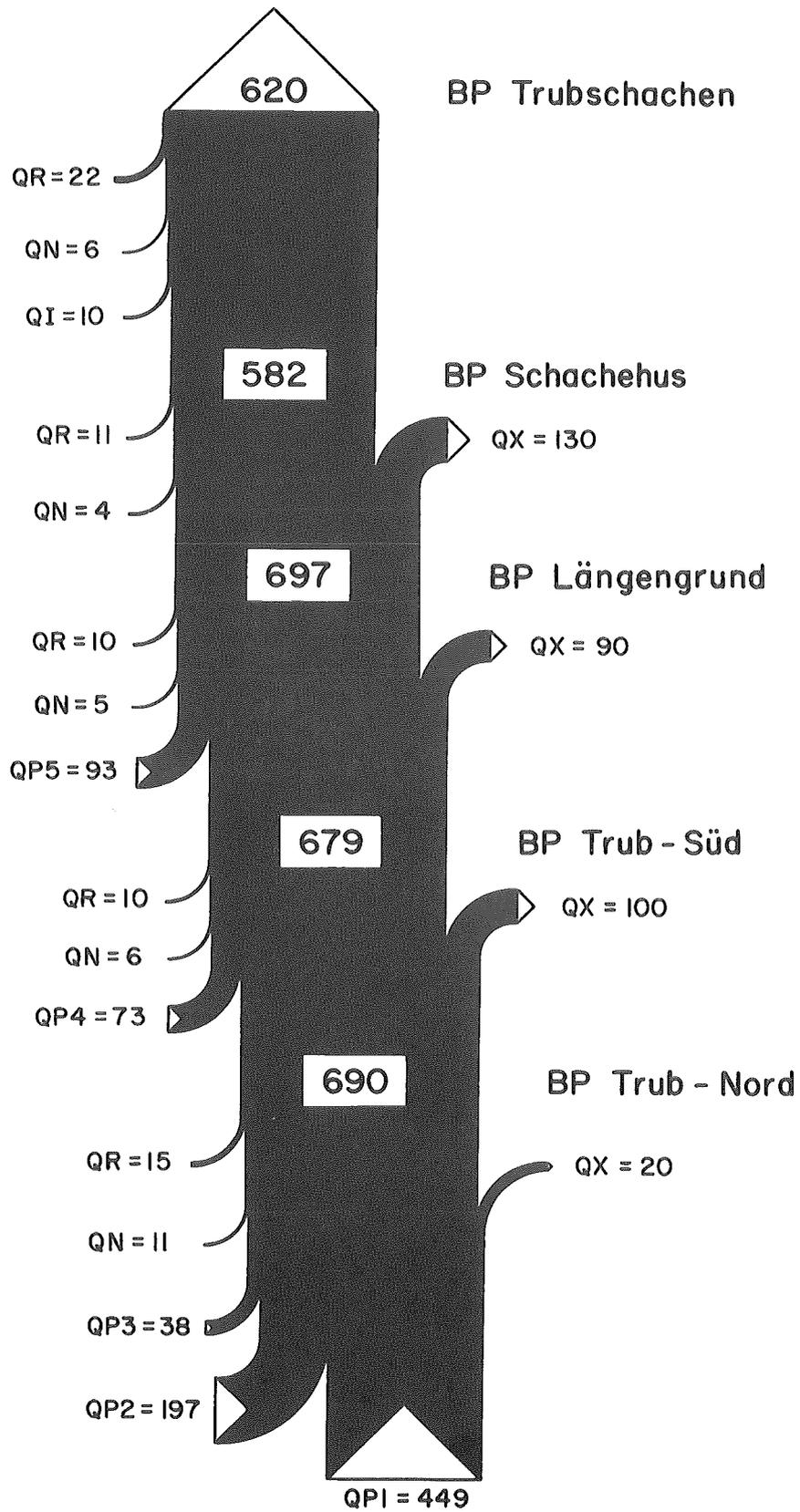
Tabelle 6.1 Grundwasserbilanz 1991/92

Bilanzierungskennzifferen	Symbol	Grundwasserfluss [l/s]
Grundwasserzuflüsse		
Zufluss durch Bilanzierungsprofil Fankhusgraben BP1	QP1	449
Zufluss durch Bilanzierungsprofil Brandöschgraben BP2	QP2	197
Zufluss durch Bilanzierungsprofil Äschengraben BP3	QP3	38
Zufluss durch Bilanzierungsprofil Sältenbach BP4	QP4	73
Zufluss durch Bilanzierungsprofil Twärengraben BP5	QP5	93
Indirekte Grundwasserneubildung	QR	68
Direkte Grundwasserneubildung	QN	32
Grundwasserwegflüsse		
Exfiltration Trueb	QX	330
Wegfluss durch Bilanzierungsprofil Trubschachen	QP	620
Summe der Zuflüsse		950
Summe der Wegflüsse		950
Speicher- oder Zehrmenge aus Grundwasserstandsänderungen	QS	-

Figur 6.4 Bilanzierungsprofile Schachehus, Längengrund, Trub - Süd und Trub - Nord



Figur 6.5 Bilanzierungsschlange für den Grundwasserleiter im Truebtal, Mengen in l/s



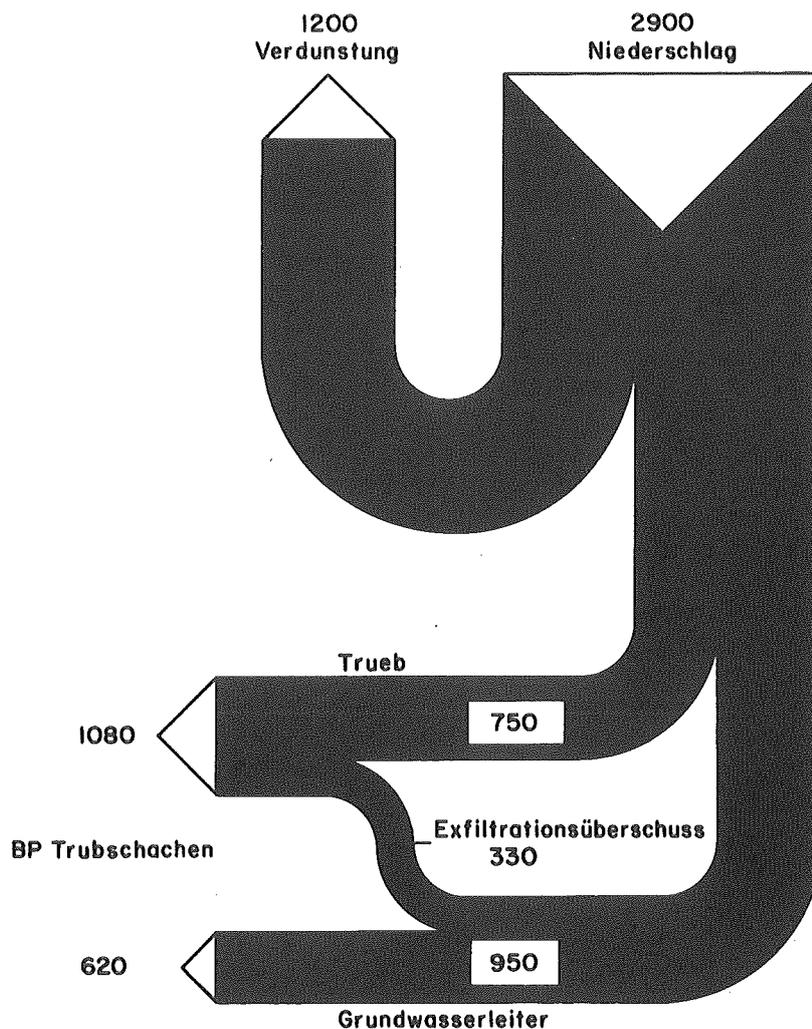
6.2.3 Wasserbilanz

Eine fachgerechte Grundwasserbilanzierung erfordert den Einbezug der Oberflächenwasserbilanz und der Hydrologischen Bilanz. Die Verknüpfung der drei Bilanzen ermöglicht, allfällige Fehler zu erkennen und zu ergründen sowie die Bilanzierungsergebnisse zu verbessern. Gewisse Differenzen gegenüber den einzelnen Bilanzen sind naturgemäss möglich.

In Figur 6.6 wurde für den Durchschnitt der Jahresmittelwerte 1991/92, die Verknüpfung der drei Bilanzen für den Grundwasserleiter im Truebtal als Einzelzellenmodell bildlich dargestellt.

Auf das Untersuchungsgebiet fielen in den beiden betrachteten Jahren durchschnittlich ca. 2900 l/s Niederschläge. Davon verdunsteten ca. 1200 l/s (41 %), 950 l/s (33 %) gelangten als Profiltrüflüsse, direkte und indirekte Grundwasserneubildung in den Grundwasserleiter im Truebtal zwischen Hüseren und Truebschachen (Modellgebiet). Die Grundwasserexfiltration vermindert den Grundwasserfluss um 330 l/s und speist die Trueb. Der Abfluss in der Trueb bei TRQ50 betrug ca. 1080 l/s, d.h. ca. 37 % der Niederschlagsmenge.

Figur 6.6 Wasserbilanz: Verknüpfung der durchschnittlichen Jahresmittelwerte 1991/92 der Grundwasser-, Oberflächenwasser- und Hydrologischen-Bilanz, Mengen in l/s



6.3 Grund- und Oberflächenwasserqualität

6.3.1 Uebersicht über die untersuchten Parameter

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Grund- und Oberflächenwasser werden einerseits durch Gestein und Boden im Einzugsgebiet und im Grundwasserleiter, andererseits aber auch durch menschliche (anthropogene) Einflüsse, vor allem Abgänge aus Haushalt, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft massgebend bestimmt.

Mit den physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen gemäss Tabelle 6.2 kann normalerweise die qualitative Beschaffenheit generell beschrieben werden. Zugleich können sie erste Hinweise geben, ob anthropogene Einflüsse vorliegen. Allerdings lassen sich mit den Standarduntersuchungen nicht alle Verunreinigungen erkennen. So werden vor allem die synthetischen, die schwer abbaubaren organischen Stoffe und wesentliche Schwermetalle nicht erfasst, die zum Teil bereits in sehr kleinen Konzentrationen die Grund- und Oberflächenwasserqualität erheblich beeinträchtigen. Sie müssen mit speziellen Untersuchungsverfahren nachgewiesen werden (vgl. Tab. 6.3).

Im Schweizerischen Lebensmittelbuch (LMB) [28] im Abschnitt "Trinkwasser" werden für einzelne Untersuchungsparameter sog. Qualitätsziele und Toleranzwerte, in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung [29] Toleranz- und Grenzwerte angegeben.

Qualitätsziele nennen Mengen einzelner Inhaltsstoffe, die in der Regel auf wenig oder nicht anthropogen beeinflusstes Grundwasser hindeuten. Toleranzwerte sind Höchstkonzentrationen von Stoffen, bei deren Ueberschreitung das Trinkwasser von den Vollzugsbehörden beanstandet wird. Grenzwerte sind Höchstkonzentrationen von Stoffen, bei deren Ueberschreitung das Trinkwasser für die menschliche Ernährung als ungeeignet gilt.

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Grund- und Oberflächenwasser sind oft eng miteinander verknüpft. Auf die hydraulischen Beziehungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser wurde in den Abschnitten 3.5 und 6.2.1 hingewiesen. Der aufgezeigte teilweise beachtliche Exfiltrationsüberschuss dürfte qualitativ vor allem bei Niedrigwasser die Qualität der Trueb beeinflussen. Die Untersuchungsergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchungen an den Oberflächengewässern werden im folgenden zusammen mit der Grundwasserqualität behandelt.

Die Tabellen 3.15 und 3.19 in den Abschnitten 3.3.3 und 3.4.3 geben einen generellen Ueberblick über den Umfang und den Zeitpunkt der Untersuchungen. Beilage 1 zeigt die Probenahmestellen. Die wesentlichsten Untersuchungsergebnisse werden im folgenden zusammengestellt und beurteilt.

Die physikalisch-chemischen Analysenwerte der periodischen Untersuchungen des kantonalen Laboratoriums, Bern, in den Grundwasserfassungen Längengrund und Hüseren stimmen mit den folgenden Untersuchungsergebnissen praktisch überein. Sie werden daher nicht speziell aufgeführt. Für die bakteriologische Qualitätsbeurteilung werden hingegen in Abschnitt 6.3.6 die Untersuchungsergebnisse der offiziellen Trinkwasserkontrolle zusammengestellt.

Tabelle 6.2 Untersuchte Parameter der physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen

Bezeichnung	Abkürzung	Einheit
Aussehen		
Trübung		TE/F
Gesamthärte		°f
Calcium	Ca	mg/l
Magnesium	Mg	mg/l
Säureverbrauch (pH 4.3)		mmol/l
Chlorid	Cl	mg/l
Nitrat	NO ₃	mg/l
Sulfat	SO ₄	mg/l
KMnO ₄ -Verbrauch	KMnO ₄	mg/l
Nitrit	NO ₂	mg/l
Ammonium	NH ₄	mg/l
Ortho-Phosphat als P		mg/l
Gesamt-Eisen	Fe	mg/l
Gesamt-Mangan	Mn	mg/l
Sauerstoff	O ₂	mg/l
Sauerstoffsättigung		%
Leitfähigkeit (20°C)		µS/cm
pH-Wert		

TE/F : Trübungseinheiten Formazin (Standardsuspension)

°f : Französische Härtegrade

Tabelle 6.3 Spezialuntersuchungen

Bezeichnung	Abkürzung	Einheit
<u>Schwermetalle</u>		
Zink	Zn	mg/l
Blei	Pb	mg/l
Cadmium	Cd	mg/l
<u>Polychlorierte Biphenyle</u>		
Summe PCB	PCB	µg/l
<u>Pestizide (Holzschutzmittel)</u>		
Chlorpyrifos		µg/l
a-Endosulfan		µg/l
b-Endosulfan		µg/l
Endosulfansulfat		µg/l
Chlorpyrifos-methyl		µg/l

6.3.2 Wesentliche Standardparameter

Aus den Standarduntersuchungen sind meistens die Parameter Nitrat, Chlorid, Sulfat und Gesamthärte besonders wichtig für eine erste Beurteilung der Grundwasserqualität; die Parameter Sauerstoffsättigung und Leitfähigkeit geben oft ebenfalls wesentliche Qualitätshinweise. Die Bedeutung wird im folgenden teilweise anhand der Ausführungen im LMB kurz erläutert.

Die Analysenergebnisse der Untersuchungskampagnen 1990-1992 werden in Tabellenform zusammengestellt. Auf die Wiedergabe der übrigen erhobenen physikalisch-chemischen Standardparameter wird verzichtet.

Nitrat (NO_3^-) Qualitätsziel: < 25 mg/l, Toleranzwert: 40 mg/l [28, 29]

Nitrat ist ein natürlicher in den meisten Trinkwassern vorkommender Inhaltsstoff. Schädlich ist nur das Uebermass. Das Nitrat selbst ist nicht gesundheitsgefährdend. Problematisch werden erhöhte Gehalte dann, wenn das Nitrat im menschlichen Körper oder unter Umständen schon in Vorratsgefäßen bakteriell zu Nitrit (NO_2^-) umgewandelt wird. Dieses reagiert mit dem Hämoglobin des Blutes, der Sauerstoff wird nicht mehr an das Blut abgegeben sondern verbindet sich mit dem Eisen des Blutfarbstoffes. Es kommt zur Sekundärtoxizität mit den Krankheitsbildern der Methämoglobinämie, vor allem gefürchtet als "Blausucht" für den Säugling. Daneben tritt, dies ist für die meisten Hygieniker heute sicher, eine Tertiärtoxizität auf. Das sekundär gebildete Nitrit setzt sich im menschlichen Körper mit organischen Aminen oder Amiden aus der Nahrung um und bildet Nitrosamine sowie Nitrosamide, die krebserregend sein können.

Wasser mit hohem Nitratgehalt liefert einen wesentlichen Beitrag zum Gesamt-Nitratgehalt der Nahrung. Die Trinkwasserbelastung mit Nitrat ist daher so gering wie möglich zu halten [30].

Ein erhöhter Nitratgehalt deutet meist auf eine Ueberlastung des Bodens mit Hof- und Kunstdünger hin. Sofern kein oder höchstens in Spuren Ammonium und Nitrit vorhanden sind (wie im Truebtal) und der Toleranzwert nicht überschritten wird, kann angenommen werden, dass eine vollständige Oxidation der Stickstoffverbindungen vorliegt und das Wasser den hygienischen Anforderungen noch entspricht.

Tabelle 6.4 Nitratgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992;
(Lage der Messstellen: vgl. Tabelle 2.1, 2.2, 3.11 und Beilage 1)

NITRAT							
NO ₃ ⁻ [mg/l]							
Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser							
TRRF1 (PW Hüseren)	5	8	8	6	7	8	7.0
TRB64	6	10	9	7	8	8	8.0
TRB63	6	10	10	9	9	9	8.8
TRLF1 (PW Längengrund)	(10*)	(11)	-	-	-	-	-
TRB62	5	7	8	7	8	7	7.0
TRB61	7	8	9	7	8	8	7.8
TSB50	8	9	10	7	7	8	8.2
Mittel	6.2	8.7	9.0	7.2	7.8	8.0	7.8
Oberflächenwasser							
TRQ11	5	5	6	7	7	6	6.0
TRQ50	6	6	6	7	7	6	6.3
Mittel	5.5	5.5	6.0	7.0	7.0	6.0	6.2

* 21.02.90

Von den in Tabelle 6.4 aufgeführten Untersuchungsergebnissen erfüllen alle bei weitem das Qualitätsziel für Trinkwasser von 25 mg Nitrat pro Liter.

Die Nitratgehalte im Grundwasser sind im ganzen Untersuchungsgebiet ähnlich. Im Mittel betragen sie ca. 8.0 mg/l. Räumliche Unterschiede sind kaum zu erkennen. Zwischen den verschiedenen Fassungsdaten zeigen sich gewisse Schwankungen. Sie sind allerdings sehr gering.

Die Nitratgehalte in der Trueb sind im Mittel ca. 2 mg/l kleiner als im Grundwasser. Bei tiefen Wasserständen der Trueb besteht praktisch die gesamte Abflussmenge wie am 02.12.1991 aus exfiltrierendem Grundwasser. Die Nitratwerte bestätigen dies.

Sulfat (SO_4^{2-}) Qualitätsziel: 10 bis 50 mg/l, Toleranzwert: 200 mg/l [28]

Wasser, das bestimmte geologische Ablagerungen (z.B. Gips) oder aber Bauschuttdeponien durchfließt, kann erhöhte Sulfatgehalte aufweisen.

Der Toleranzwert nimmt Rücksicht auf die erhöhte Korrosionsanfälligkeit von Leitungen und Beton. Gesundheitlich sind höhere Werte unbedenklich, falls sie auf einem calciumsulfathaltigen Untergrund beruhen und der Magnesiumgehalt gleichzeitig 50 mg/l nicht überschreitet. Die Magnesiumgehalte, die hier nicht speziell aufgeführt sind, liegen im Truebtal zwischen 2 und 6 mg/l.

Tabelle 6.5 Sulfatgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992

SULFAT	SO_4^{2-} [mg/l]							
	Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser								
TRRF1 (PW Hüseren)	4	5	5	4	5	5	4.7	
TRB64	4	5	5	4	5	4	4.5	
TRB63	4	5	5	5	5	5	4.8	
TRLF1 (PW Längengrund)	(6*)	(5)	-	-	-	-	-	
TRB62	5	5	5	4	5	5	4.8	
TRB61	5	5	5	5	5	5	5.0	
TSB50	5	5	6	5	5	5	5.2	
Mittel	4.5	5.0	5.2	4.5	5	4.8	4.8	
Oberflächenwasser								
TRQ11	5	5	5	5	5	5	5.0	
TRQ50	5	5	5	5	5	5	5.0	
Mittel	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	

* 21.02.90

Von den 49 in Tabelle 6.5 aufgeführten Sulfatwerten liegen alle unterhalb der unteren Grenze des Qualitätsziels für Trinkwasser. Der Mittelwert beträgt im Grund- und Oberflächenwasser 5 mg/l. Der Sulfatgehalt variiert weder räumlich noch zeitlich.

Sulfat hat sich als Indikator für Bauschutt bewährt. Bauschutt kommt auf fast jeder Altdeponie vor [31]. Aufgrund der vorliegenden Resultate lässt sich eine Beeinflussung des Grundwassers durch Bauschutt (Altdeponie) praktisch ausschliessen.

Chlorid (Cl⁻) Qualitätsziel: < 20 mg/l, Toleranzwert: 200 mg/l [28]

Erhöhte Chloridgehalte, die nicht geologisch bedingt sind (Nähe des Meeres, Vorkommen von Steinsalz usw.), können auf anthropogene Einflüsse durch Düngestoffe, Abwasser aller Art oder Abfalldeponien hindeuten. Gehalte über 80 mg/l können die Korrosion von Leitungen fördern, solche über 200 mg/l machen sich im Geschmack bemerkbar.

Die folgende Tabelle zeigt die sehr tiefen Chloridgehalte der Messkampagnen von 1990 bis 1992. Die Einzelwerte variieren zwischen 2 und 4 mg/l, das Mittel liegt bei 3 mg/l.

Tabelle 6.6 Chloridgehalte der Untersuchungskampagnen 1990-1992

CHLORID		Cl ⁻ [mg/l]					
Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser							
TRRF1 (PW Hüseren)	2	3	4	3	3	3	3.0
TRB64	2	4	3	3	3	3	3.0
TRB63	3	3	3	3	3	3	3.0
TRLF1 (PW Längengrund)	(3*)	(4)	-	-	-	-	-
TRB62	2	2	3	3	3	3	2.7
TRB61	2	3	3	3	3	3	2.8
TSB50	3	3	4	3	3	3	3.2
Mittel	2.3	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	2.9
Oberflächenwasser							
TRQ11	3	3	2	3	3	2	2.7
TRQ50	3	4	3	3	3	3	3.2
Mittel	2.6	3.5	3.1	3	3	2.9	3.0

* 21.02.90

Gesamthärte Qualitätsziel: 1.5 bis 2.5 mmol/l bzw. 15 bis 25 °f, Toleranzwert: - [28]

Die Gesamthärte vermittelt ein Bild über den Gehalt an Erdalkalien. Sie wird in mmol/l oder z.B. in franz. Härtegraden [°f] angegeben. Im Volksmund sind Bezeichnungen weich, hart etc. üblich. Die Zusammenhänge gehen aus Tabelle 6.7 hervor.

Tabelle 6.7 Gesamthärte in [mmol/l] und [°f] mit den dazugehörigen Bezeichnungen

Gesamthärte [mmol/l]	Gesamthärte in franz. Härtegraden [°f]	Bezeichnung
0 bis 0.7	0 bis 7	sehr weich
0.7 bis 1.5	7 bis 15	weich
1.5 bis 2.5	15 bis 25	mittelhart
2.5 bis 3.2	25 bis 32	ziemlich hart
3.2 bis 4.2	32 bis 42	hart
über 4.2	über 42	sehr hart

Für die Gesundheit spielt die Härte des Wassers keine Rolle. Jedoch in vielen technischen Bereichen, z.B. bei Wasch- und Reinigungsprozessen, bei Mischvorgängen von Wasser unterschiedlicher Härte sind die Härteeigenschaften bedeutsam.

Beim Waschen gehen die Calcium- und Magnesiumsalze, welche im wesentlichen die Gesamthärte bestimmen, mit den Fettsäuren der Seifen oder Seifenersatzprodukte unlösliche Verbindungen ein. So werden beispielsweise durch 1000 Liter hartes Wasser etwa 2.5 bis 3.5 kg Waschpulver gebunden, ohne die Reinigung der Wäsche zu fördern, lediglich als erheblicher Mehrverbrauch.

Mischwasser mit stark unterschiedlicher Härte der Komponenten, z.B. die Vermischung von hartem Grund- mit weichem Seewasser, sind in der Regel aggressiv und fördern die Korrosion.

Tabelle 6.8 Gesamthärte der Untersuchungskampagnen 1990-1992

GESAMTHÄRTE		[°]					
Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser							
TRRF1 (PW Hüseren)	19.6	20.1	20.7	20.5	19.7	19.8	20.1
TRB64	20.0	21.8	20.6	20.7	20.2	20.2	20.6
TRB63	19.7	21.9	21.7	21.1	21.8	20.9	21.2
TRLF1 (PW Längengrund)	(21.7*)	(22.3)	-	-	-	-	-
TRB62	19.6	19.8	20.3	19.8	20.4	19.6	19.9
TRB61	20.2	20.5	20.7	20.3	20.6	20.3	20.4
TSB50	20.8	21.3	21.2	20.7	20.4	20.2	20.8
Mittel	20.0	20.9	20.9	20.5	20.5	20.2	20.5
Oberflächenwasser							
TRQ11	16.1	17.5	17.6	19.5	17.5	16.9	17.5
TRQ50	18.1	18.2	18.2	19.7	17.5	17.5	18.2
Mittel	17.1	17.9	17.9	19.6	17.5	17.2	17.9

* 21.02.90

Im Mittel beträgt die Gesamthärte der gemäss obenstehender Tabelle untersuchten Grundwasserproben 2.07 mmol/l oder 20.7 franz. Härtegrade und liegt im Bereich von mittelhartem Wasser. Der Mittelwert in der Trueb liegt bei 17.9 franz. Härtegraden ebenfalls im Bereich von mittelhartem Wasser.

Sauerstoffsättigung Qualitätsziel: > 60 %, Toleranzwert: - [28]

Der Gehalt an gelöstem Sauerstoff ist vom hygienischen Standpunkt aus ohne Bedeutung. Das Qualitätsziel für Trinkwasser liegt bei 60 % Sättigung. Für die Begünstigung einer Schutzschichtbildung in Leitungen ist eine relative Sauerstoffsättigung von 30 bis 100 % anzustreben.

In Tabelle 6.9 sind die Sauerstoffsättigungen der sechs Kampagnen zusammengestellt. Die Variationsbreite von 75 % bis 89 % ist relativ gering. Das Qualitätsziel von 60 % für Trinkwasser erreichen alle Proben.

Tabelle 6.9 Sauerstoffsättigung der Messkampagnen 1990-1992

SAUERSTOFFSÄTTIGUNG							
	[%]						
Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser							
TRRF1 (PW Hüseren)	80	90	84	82	84	82	84
TRB64	84	81	82	85	83	82	83
TRB63	76	79	82	85	81	79	80
TRLF1 (PW Längengrund)	-	(84)	-	-	-	-	-
TRB62	85	87	84	88	85	81	85
TRB61	80	82	80	89	77	84	82
TSB50	80	82	75	80	78	80	79
Mittel	81	84	81	85	81	81	82
Oberflächenwasser							
TRQ11	97	98	94	98	96	96	97
TRQ50	100	100	92	100	93	94	96
Mittel	99	99	93	99	95	95	97

Leitfähigkeit Qualitätsziel: -, Toleranzwert: -

Mit der elektrischen Leitfähigkeit kann der Gesamtgehalt an dissoziierten Ionen einer Wasserprobe bestimmt werden. Sie ist abhängig vom Salzgehalt und der Temperatur des Wassers. Die Werte werden auf 20° C bezogen, in $\mu\text{S}/\text{cm}$ angegeben und entsprechen annähernd dem gelösten Feststoffinhalt in mg/l .

In der folgenden Tabelle sind die Analysenresultate der Leitfähigkeitsmessungen zusammengestellt.

Der Mittelwert der Proben im Grundwasser liegt bei $355 \mu\text{S}/\text{cm}$. Die Messwerte schwanken zwischen 355 und $380 \mu\text{S}/\text{cm}$. In der Trueb beträgt der Mittelwert 309 , der Schwankungsbereich 290 bis $336 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabelle 6.10 Leitfähigkeit der Messkampagnen 1990-1992

LEITFÄHIGKEIT		[$\mu\text{S}/\text{cm}$]					
Fassungsdatum	19.02.90	29.10.90	29.05.91	02.12.91	13.04.92	14.09.92	Mittel
Grundwasser							
TRRF1 (PW Hüseren)	335	344	364	354	339	338	346
TRB64	340	370	363	355	337	343	351
TRB63	335	373	380	360	370	357	363
TRLF1 (PW Längengrund)	(374*)	(378)	-	-	-	-	-
TRB62	336	338	356	340	344	332	341
TRB61	355	349	362	349	347	344	351
TSB50	372	361	372	357	340	343	358
Mittel	346	356	366	353	346	343	352
Oberflächenwasser							
TRQ11	293	303	306	335	306	290	306
TRQ50	311	306	315	336	299	300	311
Mittel	302	305	311	336	303	295	309

* 21.02.90

6.3.3 Schwermetalle

Unter Schwermetallen versteht man jene metallischen Elemente mit einer Dichte von mehr als 6 g/cm³. Dazu gehören die essentiellen, biologisch benötigten Metalle Eisen, Kupfer und Zink, aber auch Metalle wie Cadmium, Quecksilber und Blei. Sowohl die essentiellen als auch die nicht essentiellen Metalle können in erhöhter Konzentration Schäden wie Wachstumshemmungen und Stoffwechselstörungen hervorrufen.

Die Schwermetalle stammen fast ausschliesslich aus industriellen und gewerblichen Gewässern. Zink kann auch von Wasserleitungsrohren herrühren. Beim Blei spielen neben dem Industrieanteil auch die Abschwemmungen aus Strassen- und Siedlungsflächen eine Rolle. Beim Cadmium können neben der Textil, Papier- und Elektroindustrie auch Spitäler als Verunreiniger auftreten [32].

Im Rahmen der physikalisch-chemischen Standarduntersuchungen wurden die Gehalte an den Schwermetallen Eisen (Fe) und Mangan (Mn) bestimmt. Die zusätzlichen Analysen auf Zink (Zn), Blei (Pb) und Cadmium (Cd) (vgl. Tab. 3.19) brachten weitere Ergebnisse über das Auftreten von Schwermetallen.

Tabelle 6.11 Qualitätsziele, Toleranz- und Grenzwerte für Trinkwasser der untersuchten Schwermetalle [28], [29]

SCHWERMETALL	Qualitätsziel	Toleranzwert	Grenzwert
Gesamteisen (Fe)	bis 0.05 mg Fe/l	0.3 mg Fe/l	
Gesamt-mangan (Mn)	bis 0.02 mg Mn/l	0.05 mg Mn/l	
Zink (Zn)	bis 0.1 mg Zn ²⁺ /l	5.0 mg Zn ²⁺ /l	
Blei (Pb)	bis 0.001 mg Pb ²⁺ /l		0.05 mg Pb ²⁺ /l
Cadmium (Cd)	bis 0.0005 mg Cd ²⁺ /l		0.005 mg Cd ²⁺ /l

Im folgenden werden die Untersuchungsergebnisse kurz beschrieben:

Gesamteisen

Von 50 Analysen wurde in 8 Gesamteisen nachgewiesen. Die Gehalte variieren zwischen <0.01 mg/l und 0.13 mg/l. Dabei liegen 5 Untersuchungsergebnisse unter dem Qualitätsziel, 3 zwischen dem Qualitätsziel und dem Toleranzwert.

Gesamt-mangan

Bei der eingesetzten Analysenmethode liegt die Nachweisgrenze bei 0.05 mg/l. 49 der 50 Analysen lieferten tiefere Werte, d.h. sie lagen unter dem Toleranzwert. Der einzige höher liegende Wert (TSB 50 am 13.04.1992) ist nicht signifikant: Das Grundwasser war zu trübe, um mit der angewandten Methodik aussagekräftige Resultate zu gewinnen.

Zink

In 2 der 3 untersuchten Proben wurde Zink (0.003 und 0.004 mg/l) nachgewiesen. Diese Werte liegen weit unter dem Qualitätsziel.

Blei

Mit der angewandten Analysenmethode wurde die Nachweisgrenze von 0.002 mg Pb²⁺/l in keiner der drei Proben erreicht.

Cadmium

Allfällige Gehalte der drei untersuchten Proben liegen weit unter dem Qualitätsziel.

6.3.4 Polychlorierte Biphenyle ¹⁾

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind industriell hergestellte organische Chemikalien, die äusserst stabil sind, in Nahrungsketten angereichert werden und für Tiere und Menschen äusserst giftig wirken. Die PCB gelangen entweder wenn sie angewendet werden (Weichmacher, Stabilisierungsmittel, Imprägnierungsmittel) oder bei Störfällen sowie durch unsachgerechte Abfallbeseitigung (z.B. Transformatoren und Kondensatoren) in die Umwelt [32].

Im Rahmen der Messkampagne vom 29.10.90 wurde vom Kantonalen Laboratorium gezielt in 4 Grundwasserproben nach PCB gesucht (vgl. Tab. 3.19).

Im Truebtal konnte in keiner der vier Proben PCB nachgewiesen werden.

6.3.5 Pestizide

Nach der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung und dem Schweizerischen Lebensmittelbuch sollten Pestizide und ähnliche Substanzen im Trinkwasser nicht nachweisbar sein. Werden Pestizide festgestellt, so ist den Ursachen nachzugehen. Der Toleranzwert für den Gehalt eines bestimmten Pestizides oder einer ähnlichen Substanz liegt für Trinkwasser bei 0.1 mg/l. Insgesamt dürfen nicht mehr als 0.5 mg/l Pestizide im Wasser vorliegen [28, 29].

Am 19. Februar und 29. Oktober 1990 wurden in den Messstellen TSB50, TRB61, TRB62, TRB63, TRB64, PW Längengrund und PW Hüseren (nur 29.10.90) das Grund- bzw. Trinkwasser auf Pestizide untersucht. Am 19. Februar 1990 wurden auch in der Trueb Proben entnommen und entsprechend analysiert.

Am 10. und 30. April 1990 wurden zudem in der Umgebung der Sägerei in Lägengrund Pestizidproben entnommen. In der Sägerei wird Holz zum Schutz gegen Schädlinge mit dem Pestizid Pentocid (Wirkstoffe: Chlorpyrifos, Chlorpyrifos-methyl, a-Endosulfan, b-Endosulfan, Endosulfansulfat) behandelt. Der Umfang und die untersuchten Pestizide sind in den Tabellen 3.15 und 3.19 ersichtlich.

In keiner der insgesamt 19 Proben konnten die gesuchten Wirkstoffe nachgewiesen werden.

¹⁾ Das Herstellen, Abgeben, Einführen und Verwenden von PCB ist seit 1986 in der Schweiz verboten. PCB enthaltende Transformatoren und Kondensatoren (Gesamtgewicht unter 1 kg) müssen bis zum 31.08.1998 ausser Betrieb genommen werden (vgl. eidg. Verordnung über umweltgefährdende Stoffe vom 09.06.1986, Anhänge 3.1 und 4.8)

6.3.6 Bakteriologische Grundwasserqualität

Die folgende Tabelle zeigt die bakteriologischen Untersuchungsergebnisse der periodischen Trinkwasserkontrolle seit 1990 im Truebtal des Kantonalen Laboratoriums. Die Untersuchungsergebnisse zeigen bakteriologisch einwandfreies Trinkwasser.

Tabelle 6.12 Bakteriologische Grundwasserqualität

Datum	Keimzahl in 1 ml	Escherichia coli in 100 ml	Enterokokken in 100 ml
Toleranzwerte KBE	100/ml	nn/100 ml	nn/100 ml
TRRF1 (PW Längengrund)			
09.05.90	0	0	0
09.10.90	1	0	0
30.05.91	0	0	0
05.08.91	0	0	0
19.08.91	0	0	0
22.06.92	3	0	0
03.11.93	5	0	0
04.05.93	1	0	0
TRLF1 (PW Hüseren)			
07.05.90	0	0	0
08.10.90	3	0	0
27.05.91	5	0	0
22.06.92	1	0	0
04.11.92	7	0	0
03.05.93	1	0	0

nn = Nicht nachweisbar
KBE = Koloniebildende Einheit

6.3.7 Beurteilung

Wirkstoffe von Pestiziden und Polychlorierte Biphenyle (PCB) konnten keine nachgewiesen werden.

Die chemische und bakteriologische Wasserqualität weist weder räumlich noch zeitlich grössere Schwankungen auf.

Die Grund- und Oberflächenwasserqualität im Truebtal kann in jeder Hinsicht als sehr gut bezeichnet werden.

7 NUTZUNGS- UND SCHUTZKONZEPT

7.1 Nutzungs- und Schutzkonzept Grundlagen für die künftige Trinkwassergewinnung aus Grundwasservorkommen

Ueber 95 % des Trink- und Brauchwassers werden heute im Kanton Bern aus Grundwasservorkommen gewonnen (Schweiz: 82 %). Wir haben aber zunehmend Schwierigkeiten eine hygienisch einwandfreie, preisgünstige Trinkwasserversorgung sicherzustellen, weil immer mehr chemische Schadstoffe, vor allem Nitrate, Pflanzenschutzmittel, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, unser Grundwasser qualitativ beeinträchtigen. Eine Folge unseres in erster Linie auf wirtschaftlichen Erfolg ausgerichteten Denkens und Handelns sowie des fehlenden Einsatzes für das kostbare Gut Trinkwasser. Ein Ueberdenken der Lage ist dringend nötig, eine wirksame Schutzstrategie ist zu entwickeln.

Es ist uns heute klar: Das schweizerische Schutzzonenkonzept von 1977/82 [33] kann nicht verhindern, dass chemische Schadstoffe das Grundwasser beeinträchtigen. Künftig müssen die ganzen Zuströmbereiche besser geschützt werden [34, 35, 39, 40]. Als wichtigste Schutzmassnahmen sind zu nennen:

- Eine ordnungsgemässe, umweltgerechte Landwirtschaft ist zu betreiben, die weder ein Ausschwemmen von Düngern noch von anderen Hilfsstoffen ins Grundwasser mit sich bringt.
- Anlagen, die wassergefährdende Stoffe herstellen, lagern, umschlagen oder verwenden, müssen besser gesichert und überwacht werden.
- Die Inhaber dieser Anlagen haben zudem geeignete Ueberwachungs-, Alarm- und Bereitschaftsdispositive zu erstellen.

Dies wird von den verantwortlichen kantonalen Amtsstellen, vor allem aber von Gemeinden und Wasserversorgungen ein Umdenken und gewaltige Anstrengungen erfordern. Dessen war sich die Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern bewusst, als sie in ihrem Leitbild Ende 1989 [36] festhielt: "Unser Trinkwasser soll auch in Zukunft vorrangig aus dem Grundwasser gewonnen werden; die nutzbaren Grundwasservorkommen sind in Menge und Güte zu erhalten, wo nötig sind Sanierungen durchzuführen, die Kenntnisse über das Grundwasser, die Grundwasserleiter und ihre Einzugsgebiete sind zu vertiefen, die mengen- und gütemässigen Veränderungen im Raum und Zeit zu erfassen, sowie die Gefahrenpotentiale zu ermitteln".

Dass dieser Entscheid politisch brisant ist, liegt auf der Hand. Die zahlreichen Interessenkollisionen, die sich ergeben zwischen einem wirksamen Grundwasserschutz und der Nutzung des Landes durch Landwirtschaft, Siedlungen, Gewerbe, Industrie und Verkehr sind offensichtlich. Das Wasser- und Energiewirtschaftsamt ist daher von der Direktion beauftragt worden, gemeinsam mit dem Gewässerschutzamt, mit Regionalplanungsverbänden, Gemeinden und Wasserversorgungen Nutzungs- und Schutzkonzepte zu entwickeln.

Die Nutzungskonzepte müssen sich nach dem künftigen regionalen, allenfalls dem überregionalen Wasserbedarf richten, die übrigen Nutzungen des Landes sind so wenig als möglich einzuschränken.

7.2. Grundwassernutzung und -schutz im Truebtal (vgl. Beilage 2)

7.2.1 Öffentliche Grundwasserfassungen Hüseren und Längengrund

Aus dem Grundwasserleiter im Truebtal zwischen Hüseren und Trubschachen wird aus der Grundwasserfassung Hüseren der Einwohnergemeinde Trub und der Grundwasserfassung Längengrund der Hydrantengesellschaft Längengrund-Unterfeld, Trinkwasser gewonnen (Lage vgl. Beilage 1 + 2). Diese Grundwassernutzungen basieren auf den Konzessionsnummern 4 und 5, Gemeinde Trub. Die konzessionierte Leistung beträgt 320 l/min für die Grundwasserfassung Hüseren und 150 l/min für die Grundwasserfassung Längengrund.

Die Qualität des geförderten Wassers geht aus Abschnitt 6.3 hervor. Es erfüllt alle Qualitätsziele.

Einzig für die Grundwasserfassung Hüseren ist eine Schutzzone rechtsgültig ausgeschieden.

7.2.2 Bekannte Gefahrenherde

Im folgenden werden die uns bekannten Gefahrenherde im Truebtal zwischen Hüseren und Trubschachen kurz beschrieben.

Überbautes Gebiet

Über dem Grundwasserleiter oder in seinem Nahbereich liegen Teile der Ortschaften oder Weiler Ried, Hüseren, Trub, Längengrund, Trubschachen und Einzelbauten, vor allem landwirtschaftliche Siedlungen und Wohnhäuser. Betriebe mit einem grossen Gefahrenpotential für das Grundwasser sind nicht vorhanden.

Land- und Forstwirtschaftszone

Ein Grossteil des Grundwasserleiters liegt unter landwirtschaftlich genutzten Gebieten. Als wassergefährdende Stoffe können hier vor allem Hof- und Kunstdünger sowie Pestizide ins Grundwasser gelangen. Durch eine verantwortungsbewusste Bewirtschaftung (z.B. Vermeidung von Winterbrache, Düngergabe nur während der Vegetationsperiode abgestimmt auf den Pflanzenbedarf, massvolle Dosierung, usw.) lässt sich eine Beeinträchtigung des Grundwassers weitgehend vermeiden.

Verkehrsachsen

Im Bereich des Grundwasserleiters liegen die Strassen ins Truebtal und in die Seitentäler. Hier können vor allem Unfälle mit wassergefährdenden Flüssigkeiten und die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden die Wasserqualität gefährden.

Kanalisationsleitungen

Die über dem Grundwasserleiter liegenden Ortschaften und Ortsteile sind an die öffentliche Kanalisation angeschlossen. Allfällige Lecks bilden, je nach Art und Menge des versickernden Abwassers, eine schleichende bis akute Gefahr für das Grundwasser, vor allem bei geringen Flurabständen, wie sie im Truebtal vorliegen. Die Sammelleitung zwischen Trub und Trubschachen verläuft bis zur Schachenhausbrücke neben der Staatsstrasse, durchquert das Gebiet Antiger und kehrt im Gebiet Öli in die Staatsstrasse zurück.

7.2.3 Nutzbares Grundwasserdargebot

Aus fassungs- und schutztechnischen, rechtlichen, politischen und oekologischen Gründen ist es unmöglich, die im Grundwasserleiter des Truebtals strömenden Grundwassermengen gemäss Figur 6.5 vollständig zu nutzen. Das sogenannte nutzbare Grundwasserdargebot ist bedeutend kleiner und je nach der persönlichen Gewichtung, der sich zeitlich ändernden versorgungstechnischen und politischen Beurteilung der einzelnen Aspekte keineswegs eine unveränderliche Grösse. Zudem können allfällige künstliche Eingriffe in den Wasserkreislauf das nutzbare Grundwasserdargebot mengen- und gütemässig wesentlich beeinflussen. Im folgenden wird aus hydrogeologischer Sicht das nutzbare Grundwasserdargebot im Truebtal bzw. zwischen Hüseren und Trubschachen beurteilt. Die gemachten Angaben gelten naturgemäss für die Strömungs- und Abflussverhältnisse im Bilanzierungszeitraum 1991/92.

Vom fassungstechnischen Gesichtspunkt her gesehen, sind die Entnahmemöglichkeiten im Grundwasserleiter günstig. Die Flurabstände sind vorwiegend klein und die strömenden Grundwassermengen sind relativ gross. Der Grundwasserleiter weist nur eine geringe seitliche Ausdehnung, aber grosse Grundwassermächtigkeiten (bis über 45 m) auf. Fassungstechnisch ist es möglich, mit einem einzelnen Vertikalfilterbrunnen relativ bedeutende Grundwassermengen zu gewinnen und grosse Grundwasserabsenkungen infolge kurzer Entnahmespitzen oder während langen Trockenwetterperioden in Kauf zu nehmen.

Das Grundwasserdargebot im beschriebenen Grundwasserleiter ist sehr konstant (vgl. Figur 6.5). Ein Grossteil der Zuflüsse kommt aus dem Fankhus- und Brandöschgraben. Die talabwärts liegenden Zuflüsse (Äschengraben, Sältenbach, Twärenbach, disperse Randzuflüsse und direkte Grundwasserneubildung) sind praktisch so gross wie die Grundwasserexfiltration in die Trueb. Im Grundwasserleiter verbleiben durchwegs ca. 600 - 700 l/s.

Die Entnahmemöglichkeiten sind im Grundwasserleiter aus hydrogeologischer Sicht praktisch überall gleich gut. Flurabstände und Grundwassermächtigkeiten variieren nicht wesentlich. Zu beachten sind schutzzonentechnische Randbedingungen und die Restwassermengen in der Trueb (vgl. eidg. Gewässerschutzgesetz von 1991, Art. 29 ff).

Durch eine Grundwassernutzung im Truebtal wird der Grundwasserspiegel abgesenkt und die Exfiltration in die Trueb vermindert. Bei Normalabfluss der Trueb dürfte dies unwesentlich sein. Während längeren Trockenwetterperioden, wenn die Trueb praktisch nur durch Grundwasserexfiltration gespiesen wird, könnte der Rückgang der Exfiltration je nach Entnahmemenge und Standort der Fassungsanlage wesentlich werden. Der Minimalabfluss der Trueb oberhalb Trubschachen beträgt gemäss der ca. zweieinhalbjährigen Beobachtungsperiode 150 - 200 l/s.

Es bestehen mehrere Konzessionen zur Nutzung der Wasserkraft der Trueb zwischen Hüseren und Trubschachen. Diese Nutzungen führen in der Trueb zeitweise zu einer sehr geringen Wasserführung.

7.2.4 Neue Grundwasserfassung im Gebiet Antigier

Im Hinblick auf eine neue Grundwasserfassung für die Gemeinde Trubschachen wurde mit dem in Kapitel 5 beschriebenen Strömungsmodell eine Grundwasserentnahme im Antigier bei der Sondierbohrung TSB50 von 50 l/s simuliert.

Die berechneten Absenkungen des Grundwasserspiegels, betragen je nach Lage und Dimensionen des Entnahmebrunnens im Fassungsbereich ca. 0.3 bis 0.7 m, bis zur Trueb ca. 0.2 bis 0.1 m, ausserhalb des Antigier höchstens noch ca. 0.1 m.

Bei einer permanenten Grundwasserentnahme von 50 l/s würde im Absenkbereich die Exfiltration etwas zurückgehen und die Infiltration vor allem im nördlichen Bereich des Antigier verstärkt. Damit würden durchschnittlich in der Trueb ca. 30 l/s fehlen, bei einem Minimalabfluss von ca. 150 l/s ca. 20 %. Der Grundwasserwegfluss aus dem Truebtal ins Ilfistal würde um 20 l/s von ca. 620 auf 600 l/s zurückgehen.

Das von der Gemeinde Trubschachen gestellte Konzessionsgesuch für eine maximale Entnahme von 15 l/s im Gebiet Antigier führt bei einem mittleren Wasserabfluss aus dem Truebtal von ca. 1700 l/s (im Grundwasserleiter ca. 620 l/s, in der Trueb ca. 1080 l/s) somit zu sehr kleinen Veränderungen der Abflussverhältnisse.

7.2.5 Vorschlag für Nutzungs- und Schutzkonzept

Gemeinde Trub:

In der Gemeinde Trub wird ein Teil des Trink- und Brauchwasserbedarfs mit Grundwasser gedeckt (vgl. Abschnitt 7.2.1). Hier drängen sich bezüglich Grundwasserqualität folgende Massnahmen auf:

- Regelmässige Untersuchung der Wasserqualität der Grundwasserfassungen Hüseren und Längengrund.
- Ausscheidung einer Schutzzone für die Grundwasserfassung Längengrund.

Gemeinde Trubschachen:

Die Gemeinde Trubschachen deckt gegenwärtig einen Teil ihres Bedarfs an Trink- und Brauchwasser aus der Grundwasserfassung Hasenlehnmatte [3] (Lage vgl. Beilage 2). Die entsprechende Grundwasser-Schutzzone wurde anfangs der 70-er Jahre ausgeschieden, jedoch nie rechtskräftig erklärt. Sie umfasst zu einem grossen Teil Gewerbe- und Wohngebiete und kann deshalb langfristig keinen wirksamen Schutz gewährleisten. Die Grundwasserfassung Hasenlehnmatte muss deshalb als sehr gefährdet beurteilt werden. Kurzfristig drängen sich daher folgende Massnahme auf:

- Regelmässige Untersuchung der Wasserqualität der Grundwasserfassung Hasenlehnmatte.
- Planung und Bau einer neuen Grundwasserfassung im Gebiet Antigier.

Der Bau einer neuen Grundwasserfassung im Antigier ist von der Gemeinde geplant und eine Schutzzone ausgeschieden. Die Konzessions- und Schutzkonzeptverfahren gemäss bernischen Wassernutzungsgesetz von 1950, 64, 71 (Art. 91 und 115) sollen 1994 durchgeführt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BLAU, R.V., WERNER, A. [1991]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Truebtal. Zwischenberichte 1989 und 1990. - Bern (WEA).
- [2] HURNI A., [1991]: Geologie und Hydrogeologie des Truebtales, Philosophisch - naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Bern, Geologisches Institut, Diplomarbeit. - Unveröff.
- [3] WERNER, A. INGENIEURBÜRO [1972]: Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Wasserversorgung Trubschachen. Ausgearbeitet im Auftrag der Gemeinde Trubschachen. - Unveröff.
- [4] EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESEN EAFV [1978/79]: Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes: Bd. 3: Kt. Glarus, Schwyz, Uri, Zug, Luzern [1978]; Bd. 4: Südliche Teile Kt. Bern, Freiburg, Waadt [1979]. - Birmensdorf.
- [5] BURGER, H. [1934, 1943, 1954]: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben. - Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, XVIII/2, XXIII/1, XXXI/1. - Zürich.
- [6] SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT:
 - Annalen der Schweizerischen Meteorolog. Anstalt [jährlich].
 - Monatstabellen der meteorologischen Stationen [monatlich].
 - Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen. Quartalhefte.
 - Beiheft zu den Annalen der Schweiz. Met. Anstalt 1965: Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen 1901-60. Klimatologie der Schweiz, Niederschlag, 4. Teil. H. Uttiger.
- [7] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) [jährlich]: Hydrologisches Jahrbuch Schweiz. - Landeshydrologie und -geologie. - Bern.
- [8] WEBER, O. [1972]: Beiträge zur Hydrologie des Oberen Emmentals. - Unveröff. Diss. Univ. Bern.
- [9] WERNER, A. INGENIEURBÜRO [1985]: Mehrzweckgebäude, Gemeinde Trubschachen. Hydrologische und hydrothermische Untersuchungen für eine Wärmepumpenanlage. Ausgearbeitet im Auftrag der Gemeinde Trubschachen. - Unveröff.
- [10] WERNER, A. INGENIEURBÜRO [1988]: Wohn- und Bürohaus B. Leuenberger, Trubschachen. Hydrogeologische und hydrothermische Untersuchungen für einen Wärmeentzug aus dem Grundwasser. Ausgearbeitet im Auftrag von B. Leuenberger. - Unveröff.
- [11] WERNER, A. INGENIEURBÜRO [1989]: Kambly AG, Trubschachen. Hydrogeologische und hydrothermische Untersuchungen für einen Wärmeeintrag ins Grundwasser. Ausgearbeitet im Auftrag der Kambly AG. - Unveröff.
- [12] WEA [Periodisch]: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Bern. - Bern (WEA).

- [13] MÜLLER, I. [1983]: Field Measurements in Geomechanics. Anisotropic Properties of Rocks detected with Electromagnetic VLF Measurements. - International Symposium on Field-Measurements in Geomechanics, Zurich, Sept. 5-8.
- [14] KOLL, J. & MÜLLER, I. [1989]: Elektromagnetische Very Low Frequency-Resistivity-(VLF-R) - Prospektion zur Erkundung von Grundwasserleitern im paläozoischen Mittelgebirge am Beispiel des Oberharzes. - Steir. Beiträge zur Hydrogeologie 40, 103-122. - Graz.
- [15] MÜLLER, I. [1990]: Rapport sur la prospection géophysique sismique réflexion à Truebtal. - Unveröff.
- [16] BLAU, R.V., HUONDER, N., WERNER, A. [1975]: Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil I, Oberes Emmental. - Bern (WEA).
- [17] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., TRUEB, E., WERNER, A., WUERSTEN, M. [1984]: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental, Handbuch; erarbeitet im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms Wasserhaushalt. - GWA 64/5, 249-388.
- [18] HUFSCHMIED, P. [1983]: Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern, eine vergleichende Untersuchung verschiedener Feldmethoden.- Diss. ETH-Zürich Nr. 7397; in [17].
- [19] SEVRUK, B. [1981]: Methodische Untersuchungen des systematischen Messfehlers der Hellmann-Regenmesser im Sommerhalbjahr in der Schweiz.- Mitt. VAW 52, ETH-Zürich.
- [20] PENMAN, H.L. [1948]: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. - Proc. Roy. Soc. London Ser. A, 193.
- [21] BLAU, R.V., TRUEB, E., FISCH, W., WERNER, A. & HUFSCHMIED, P. [1983]: Grundlagen für den Schutz und die Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil IV, Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental. - Bern (WEA).
- [22] BLAU, R.V., WERNER, A. [1991]: Grundlagen für den Schutz und die Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Mittleres und Unteres Langetental. - Bern (WEA).
- [23] BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (BUS) [1982]: Handbuch für die Abflussmessung. Mitteilung Nr. 4. - Landeshydrologie, Bern.
- [24] MUCHENBERGER, F. [1979]: Abflussmessungen in Oberflächengewässern für Grundwasserbilanzierungen.- GWA 59/9, 401-407.
- [25] HOERLER, A. [1966]: Kanalisation. - In Ingenieur Handbuch II. - Zürich (Schweizer Verlagshaus).
- [26] DARCY, H.P.G. [1856]: Les fontaines publiques de la ville de Dijon. - Paris (Victor Dalmont).

- [27] TRÖSCH, J. [1975]: Numerische Simulation Dupuit'scher Grundwasserströmungen.- Mitt. VAW 14 und 15, ETH Zürich.
- [28] SCHWEIZERISCHES LEBENSMITTELBUCH [1985]: Kapitel 27: Trinkwasser und Mineralwasser. - Bern (Eidg. Lebensmittelbuch-Kommission).
- [29] EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN [1986]: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. - Bern (EDMZ).
- [30] ROHMANN, U. & SONTHEIMER, H. [1985]: Nitrat im Grundwasser. - Karlsruhe (DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität).
- [31] KERNDORFF, H. et al [1985]: Erfassung grundwassergefährdender Altablagerungen. Ergebnisse hydrogeochemischer Untersuchungen. - Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin (WaBoLu-Hefte 5/1985).
- [32] KUMMERT, R. & STUMM, W. [1989]: Gewässer als Oekosystem, Grundlagen des Gewässerschutzes. 2. überarbeitete Auflage. - Zürich (VDF).
- [33] BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ [1977/82]: Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen. - Bern (BUS).
- [34] BLAU, R.V. [1992]: Nutzungs -und Schutzkonzepte, Grundlagen für die Trinkwassergewinnung aus Grundwasservorkommen. - GWA 4/92, 248-252.
- [35] DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES [1992]: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete, 1. Teil Schutzgebiete für Grundwasser; Arbeitsblatt W 101. Vom Vorstand des DVGW am 22.01.1993 als Entwurf verabschiedet; wird voraussichtlich Ende 1994 rechtskräftig.
- [36] VEWD [1989]: Leitbild der Kantonalen Direktion für Verkehr, Energie und Wasser. - Bern (VEWD).
- [37] RUTSCH, R.F. [1967]: Leitgesteine des risseiszeitlichen Rhonegletschers im Oberemmental und Napfgebiet. - Mitt. nath. Ges. Bern NF 24, 21-36.
- [38] EIDG. FORSCHUNGSANSTALT FÜR OBST-, WEIN- UND GARTENBAU et al [1993]: Pflanzenbehandlungsmittel, Verzeichnis 1993/94. - Bern (EDMZ).
- [39] HARTMANN, D. & MICHEL, P. [1992]: Grundwasserschutz in der Schweiz. - GWA 3/93, 167-173.
- [40] HOEHN, E. et al [1994]: Der Zuströmbereich als Element eines zeitgemässen Grundwasserschutzes. - GWA 3/94.



ANHANGVERZEICHNIS

Profile der Bohrungen TSB50, TRB61, TRB62, TRB63, TRB64, TRB65
(mit WEA - Ordnungsnummern)



HYDROGEOLOGIE TRUETAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

631 / 197.21

Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: J.P. Lochet

Bohrgerät: E + M

ausgeführt vom 01.12. bis 14.12.1989

TSB50

Koordinaten: 631570/197525 OK Terrain 746.90 m ü.M. OK Rohr 747.11 m ü.M. OK Schutzrohr 747.94

Geol. Aufnahme: Dr.-R. V. Blau, A. Hurni, P. Briedermann 1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaussbeute %	Bohr- Voll- röhre Filter Ø 4,5"	m ü. M.	Tiefe ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
							Feld	Labor			
30.0		100		746.90 746.30 745.70 745.00	+0 0.60 1.20 1.90	Mittel- bis Feinsand, leicht siltig, Schichtung erkennbar, mit organ. Resten, hellbraun Kies, sandig bis stark sandig, leicht siltig, vereinz. Steine bis Ø 11 cm, hellbraun Kies, sandig bis stark sandig, leicht siltig, Steine bis Ø 10 cm, beige-braun Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, untergeordnet sauber, Schwemholz, Steine bis Ø 14 cm, beige	USCS	Schilwasserablagerungen	kP = 1.6 Gwsp. am 12.02.1990	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC Ø 4,5" Fabrikat: PBK SH: 1.0 mm	
27.0				738.90 737.10	8.00 9.80	Kies, schwach sandig, sauber, Steine bis Ø 12 cm, beige Kies, sandig, sauber, z.T. leicht siltig, vereinz. Steine bis Ø 17 cm, beige		Schotter			
24.4				732.50 731.20	14.40 15.70	Kies, sandig, leicht siltig, Grobkieskomponenten vorherrschend, Steine bis Ø 10 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, untergeordnet sauber, stellenweise siltig, gegen die Basis vereinzelt Steine bis Ø 10 cm, beige Kies, sandig (Grobsand), sauber, vereinz. Steine bis Ø 9 cm, beige-grau Kies, sandig, leicht siltig, zahlreiche Steine bis Ø 15 cm, beige		Schotter			
22.0				721.90 719.90 719.20	25.00 27.00 27.70	Kies, stark sandig, siltig, vereinz. Steine bis Ø 13 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, Magelfluhgerölle bis Ø 16 cm, geplattete Steine bis Ø 15 cm, beige Kies, schwach sandig, leicht siltig, Steine bis Ø 15 cm, beige		Schotter			
19.4				711.70 710.90 709.80	35.20 36.00 37.10	Kies, sandig, siltig bis untergeordnet stark siltig, stellenweise zahlreiche Steine bis Ø 12 cm, z.T. kaum gerundet, beige Kies, stark sandig, siltig, vereinz. Steine bis Ø 13 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, vereinz. Steine bis Ø 16 cm, Kies- und Steinkomponenten z.T. eckig, beige Kies, stark sandig, siltig, vereinz. Steine bis Ø 13 cm, beige		Schotter			
14.5				706.90 705.70	40.00 41.20	Kies, sandig, sauber bis leicht siltig, Steine bis Ø 8 cm, grau-beige Sand, siltig bis stark siltig, stellenweise tonig, mit zahlreichen Komponenten der Kiesfraktion, vereinz. Steine bis Ø 9 cm, beige					
				701.70 700.90	45.20 46.00	Kies, sandig, leicht siltig, vereinzelt Steine bis Ø 9 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, untergeordnet sauber, vereinz. Steine bis Ø 10 cm, gegen die Basis Sand- und Siltgehalt zunehmend, beige					
				697.80 695.90	49.10 51.00	Magelfluh, einzelne Bruchstücke der Matrix mit Geröllen vorhanden					

HYDROGEOLOGIE TRUETAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

TRB61

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern 631 / 197.23

Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

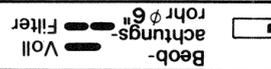
Bohrmeister: J.P. Lochet

Bohrgerät: E + M

ausgeführt vom 15.12. bis 20.12.1989

Koordinaten: 631620/197625 OK Terrain 748.50 m ü.M. OK Rohr 748.84 m ü.M.
OK Schutzrohr 749.60

Geol.Aufnahme: Dr. R.V. Blau, A. Hurmi 1:100

Bohrdurchmesser cm	Spüqt	Kernausbeute %	Bohr- achtungs- rohr \varnothing 6" Voll- Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
							Feld	Labor			
30.0		100		748.50 748.30	0.20	Humus mit Steinen, dunkelbraun Sand, stark kiesig, sauber, mit vereinz. an der Basis zahlr. Steinen bis \varnothing 16 cm, hellbraun Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis \varnothing 10 cm, dunkelbraun Kies, sandig, sauber, mit zahlr. Steinen bis \varnothing 12 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis \varnothing 8 cm, beige Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis \varnothing 9 cm, beige-hellbraun Kies, sandig, siltig, leicht tonig, mit Steinen bis \varnothing 14 cm, beige Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis \varnothing 8 cm, beige-grau Kies, sandig, siltig, leicht tonig, mit Steinen bis \varnothing 10 cm, beige Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis \varnothing 8 cm, hellbraun-beige Kies, sandig, leicht siltig, beige	USCS	USCS	USCS	USCS	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC \varnothing 6" Fabrikat: Stüwa-Bospi SW: 1.0 mm
27.0				738.90	9.60	Kies, sandig, siltig bis leicht siltig, mit Steinen bis \varnothing 14 cm, hellbraun-beige		Schotter	kP = 1.5 Gwsp. am 09.01.1990		
				732.50 731.80	16.00 16.70	Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis \varnothing 13 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis \varnothing 10 cm, beige					
				729.90 729.30	18.60 19.20	Feinkies, sandig, siltig, mit vereinz. Komponenten der Mittel- und Grobkiesfraktion, beige Kies, stark sandig, siltig, stw. leicht tonig, mit vereinz. Steinen bis \varnothing 7 cm, beige-grau					
24.4				727.40	21.10	Kies, sandig, leicht siltig bis unterg. sauber, mit Steinen bis \varnothing 12 cm, beige-grau					
				724.50 723.40	24.00 25.10	Kies, sandig, leicht siltig, mit zahlr. Steinen bis \varnothing 14 cm, beige-grau Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit vereinz. Steinen bis \varnothing 10 cm, beige					
				720.50	28.00	Kies, sandig, z.T. sauber, z.T. siltig, mit Steinen bis \varnothing 20 cm					
				718.50	30.00						

HYDROGEOLOGIE TRUEBTAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

TRB62

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern 631 / 197.31
 Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau Situation:
 Bohrverfahren: Rotationskernbohrung Logs:
 Bohrmeister: J.P. Lochet Bohrgerät: E + M
 ausgeführt vom 09.01. bis 16.01.1990
 Koordinaten: 631980/197685 OK Terrain 756.90 m ü. M. OK Bohr 757.53 m ü. M.
 Geol. Aufnahme: Dr. R.V. Blau, A. Hurni 1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernausbeute %	Bohr- röhre Ø m. ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
						Feld	Labor			
27.0		100	756.90	± 0	Humus mit Komponenten der Kiesfraktion, dunkelbraun Sand, stark kiesig, sauber, mit Steinen bis Ø 10 cm, braun Sand mit vereinz. Komponenten der Kiesfraktion, sauber, hellbraun Sand, stark kiesig, sauber bis untergeordnet leicht siltig, mit Steinen und Blöcken bis Ø 33 cm, hellbraun Sand, kiesig (v.a. Feinkies), sauber, mit Steinen bis Ø 8 cm, hellbraun Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 13 cm, hellbraun-beige		Humus	kP = 2.92 Gwsp. am 06.02.1990	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC Ø 6" Fabrikat: Stüwa-Bospi SW: 1.0 mm	
			749.80	7.10	Kies, sandig, siltig mit Steinen bis Ø 16 cm, beige		Schotter			
			746.70	10.20	Kies, sandig bis schwach sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, beige					
			744.90	12.00	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 11 cm, hellbraun-beige					
24.4			740.10	16.80	Kies, sandig bis stellenweise schwach sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, beige					
			738.90	18.00	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 16 cm, beige					
			735.80	21.10	Kies, sandig, sauber bis leicht siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, beige-grau					
			735.30	21.60	Kies, sandig, leicht siltig bis untergeordnet siltig, mit Steinen bis Ø 8 cm, hellbraun-beige					
			734.10	22.80	Kies, sandig, siltig, hellbraun					
			732.90	24.00	Kies, sandig, sauber bis untergeordnet leicht siltig, mit Steinen bis Ø 14 cm, beige					
			731.20	25.70	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 9 cm, hellbraun-beige					
			730.50	26.40	Kies (Feinkiesanteil vorherrschend), sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 7 cm, beige					
22.0			729.40	27.50	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 7 cm, beige					
			728.40	28.50	Kies, schwach sandig, sauber bis untergeordnet leicht siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, hellbraun-beige					
			727.50	29.40	Kies, stark sandig, siltig, beige					
			726.50	30.40						

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern 632 / 198.17

Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung Logs:

Bohrmeister: J.P. Lochet Bohrgerät: E + M

ausgeführt vom 31.01. bis 06.02.1990

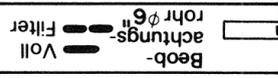
Koordinaten: 632355/198050 OK Terrain 766.20 ^{766.23} M. OK Rohr 766.23 m ü. M.
 Schutzrohr 767.17

Geol. Aufnahme: Dr. R.V. Blau, A. Hurni 1:100

HYDROGEOLOGIE TRUERTAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

TRB63

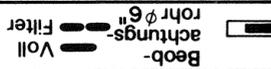
Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernausbeute %		m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
							Feld	Labor			
30.0		100		766.20	+ 0	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 20 cm, braun			kP = 2.46	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC Ø 6"	
				762.80	3.40	Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 17 cm, graubeige				Gwsp. am 0103.1990	Fabrikat: Stüwa-Bospi SW: 1.0 mm
				760.30	5.90	Kies (Mittel- und Grobkieskomponenten häufig), sandig, leicht siltig bis siltig mit vereinz. Steinen bis Ø 14 cm, beige					
				759.30	6.90	Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 10 cm, graubeige					
				757.50	8.70	Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 17 cm, beige					
				754.20	12.00	Kies, leicht sandig, siltig bis stellenweise leicht tonig, mit Steinen bis Ø 14 cm, beige-braun					
27.0				751.30	14.90	Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, beige					
				748.20	18.00	Kies, stark sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 12 cm, beige					
				747.30	18.90	Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 11 cm, graubeige					
				743.80	22.40	Kies, sandig, siltig, leicht tonig, mit Steinen bis Ø 14 cm, beige					
				743.10	23.10	Kies, sandig, siltig bis stark siltig, mit Steinen bis Ø 13 cm, beige					
				738.20	28.00	Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 12 cm, beige					
				736.20	30.00	Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 12 cm, beige					

HYDROGEOLOGIE TRUEBIAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

TRB64

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern 632 / 198.25
 Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau Situation:
 Bohrverfahren: Rotationskernbohrung Logs:
 Bohrmeister: J.P. Lochet Bohrgerät: E + M
 ausgeführt vom 07.02. bis 13.02.1990
 Koordinaten: 632810/198370 OK Terrain 774.90 m ü.M. OK Rohr 775.51 m ü.M.
 OK Schutzrohr 775.79
 Geol.Aufnahme: Dr. R.V. Blau, A. Hurmi 1:100

Bohrdurchmesser cm	Spügut	Kernausbeute %	Beobachtungsröhre Filter Voll	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
						Feld	Labor			
30.0		100		774.90 ±0 774.50 0.40 773.80 1.10 772.40 2.50 770.50 4.40 767.40 7.50 766.90 8.00 766.10 8.80	Humus, braun Kies, sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 16 cm, braun Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 15 cm, hellbraun Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 11 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 11 cm, beige Kies, sandig, sauber, mit Steinen bis Ø 9 cm, hellbraun-beige Kies, sandig, leicht siltig bis siltig, mit Steinen bis Ø 10 cm, hellbraun-beige Kies, sandig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 16 cm, beige-grau Kies, sandig, siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 9 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig bis stellenweise siltig, mit Steinen bis Ø 16 cm, hellbraun-beige Kies, sandig, sauber bis leicht siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 9 cm, hellbraun-beige Kies, sandig, siltig, untergeordnet leicht siltig, mit Steinen bis Ø 13 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 7 cm, beige Kies, schwach sandig bis sandig, stark siltig, mit Steinen bis Ø 17 cm, beige Kies, sandig, leicht siltig bis untergeordnet sauber, mit Steinen bis Ø 13 cm, beige Kies, sandig, hellbraun-beige Kies, sandig, leicht siltig, beige-grau	Humus	Schotter	kP = 2.18 Gwsp. am 01.03.1990	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC Ø 6" Fabrikat: Stüwa-Bospi SW: 1.0 mm	
27.0				756.90 18.00 754.40 20.50			Schotter			
24.4				747.90 27.00 746.90 28.00			Schotter			
22.0				744.00 30.90 743.50 31.40			Schotter			
				736.90 38.00 735.90 39.00 735.30 39.60 734.40 40.50			Schotter			

HYDROGEOLOGIE TRUERTAL

BOHRKAMPAGNE 1989/90

TRB65

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern 633 / 198.7

Bohrfirma: Stämpfli AG, Langnau

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: J.P. Lochet Bohrgerät: E + M

ausgeführt vom 14.02. bis 19.02.1990

Koordinaten: 633435/198870 OK Terrain 791.35 m ü.M. OK Rohr 791.41 m ü.M.
OK Schutzrohr 792.35

Geol.Aufnahme: Dr. R.V. Blau, A. Hurni 1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernausbeute %	Bohr- röhre Ø m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters k in mm/s	Bemerkungen
						Feld	Labor			
30.0	100		791.35	± 0	Silt, leicht sandig, mit vereinz. Komponenten der Kiesfraktion bis Ø 6 cm, dunkelbraun Feinsand mit etwas Mittel- und Grobsand (geschichtet), siltig, mit vereinz. Komponenten der Kiesfraktion bis Ø 4 cm, braun Feinsand mit etwas Mittel- und Grobsand (geschichtet und mit zahlr. organ. Resten) siltig, graubraun Sand, leicht kiesig, leicht siltig, mit Steinen bis Ø 9 cm, braun Kies, stark sandig, siltig, mit Steinen bis Ø 12 cm, dunkelbraun Kies, stark sandig, leicht siltig, mit vereinz. Steinen bis Ø 10 cm, hellbraun Kies, sandig, leicht siltig bis unterg. Kies, mit Steinen bis Ø 17 cm, hellbraun Kies, sandig, siltig, dicht gelagert, mit vereinz. Steinen bis Ø 8 cm, hellbraun Kies, sandig, leicht siltig, hellbraun, z.T. rötlichbraun (Fe-, Mn-Spuren) Kies, siltig, tonig, mit Steinen bis Ø 11 cm, beige		Stillwasserablagerungen	kP = 1.86	Eingebaute Filter- und Vollrohre: PVC Ø 6" Fabrikat: Stüwa-Bospi SW: 1.0 mm	
			790.85	0.50						
			790.25	1.10						
			789.95	1.40						
			789.35	2.00						
			789.05	2.30						
			788.05	3.30						
			785.35	6.00						
			784.55	6.80						
			783.95	7.40						
			780.85	10.50						
			778.15	13.20						
			777.35	14.00						
			776.15	15.20						
			775.65	15.70						
			772.85	18.50						
			772.25	19.10						
			767.75	23.60						
			767.35	24.00						
			765.75	25.60						
			763.45	27.90						
			761.75	29.60						
			760.35	31.00						
27.0								Schotter		
24.4								Schotter	Gwsp. am 01.03.1990	
22.0								Schotter		

Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Truebtal

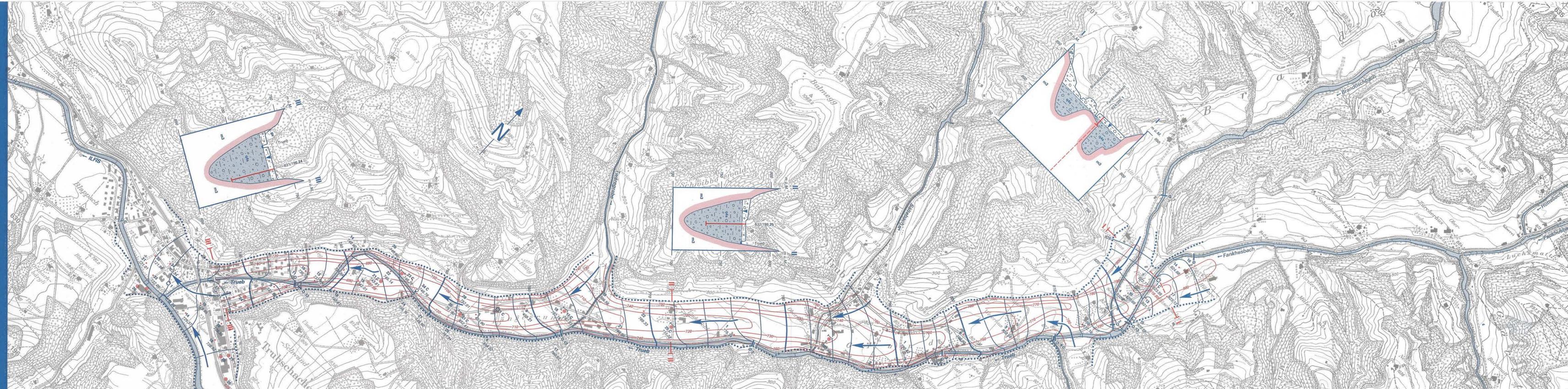
Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 22. 4. 1991
 Oberfläche des Grundwassertauers 1 : 10 000
 Geologische Profile
 L ~ 1 : 10 000 H ~ 1 : 2 000 5 fach überhöht



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
 Bearbeitung:
 Ingenieur- und Studienbüro Werner+ Partner AG, Burgdorf

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



Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wasserergänzten grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters vom 22. 4. 1991
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Beobachtungsstelle eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie
- c Messtelle für physikalisch-chemische Untersuchungen
- Lage eines geologischen Profils
- Grundwasser-Fließrichtung

Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 22. 4. 1991¹⁾

- 2 m Grundwasserspiegel-Isohypse
- 10 m Grundwasserspiegel-Isohypse mit Kote in m ü. M.

Grundwasser-Beobachtungsstellen

- Vertikalfilterbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Messstation
- 751.90 Grundwasserspiegelhöhe vom 22. 4. 1991 in m ü. M.

Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- ♀ Abfluss-Messstation
- Einzelne Abflussmessung
- 748.76 Spiegelhöhe vom 22. 4. 1991

Isohypsen der Oberfläche des Grundwassertauers¹⁾

- 10 m Grundwassertauer-Isohypse mit Kote in m ü. M.

Sondierungen

- Bohrung
- 697.86 Kote der Grundwassertauer-Oberfläche in m ü. M.

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

Geologische Profile

- Bohrung, auf oder bis 100 m neben der Profillinie liegend
- Grundwasserspiegel vom 22. 4. 1991

Wassergesättigter Teil des Grundwasserleiters vom 22. 4. 1991

Lithologie

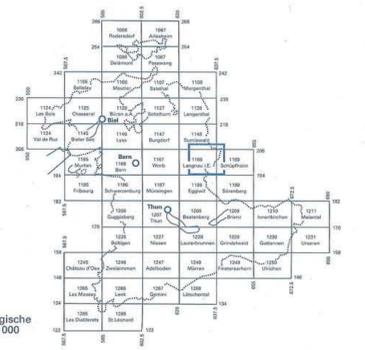
- Ton, Silt
- Sand
- Lithologische Grenze
- Molasse (m3); Stauer Oberfläche
- Kies
- Steine, Blöcke

Chronostratigraphische Zuordnung
 (vgl. HURNI, A. (1991): Geologie und Hydrogeologie des Truebtals)

Holocaen	Gehängeschutt, Schuttflächer	gs
Pleistocaen	Würm	wür
	Würmschotter (Terrassen- und Talschotter)	q4s
Miocaen	Obere Meeresmolasse	m3
	Nagefluh, untergeordnet Sand- und Siltsteine	

Weitere Karten dieses Gebietes:
 Beilage 2: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1 : 25 000
 Kartographische Gestaltung und Technik:
 WEA / P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens
 Satz und Belichtung: Diason AG, Bern
 Reprographie: P. Gaffuri, Bern
 Druck: Aerni-Lauch AG, Liebfeld/Bern
 Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 30. 4. 1993
 Ausgabe 1993

Landeskarte 1 : 25 000
 Hydrogeologische Karte 1 : 25 000



Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte Truebtal 1 : 25 000



WEA

Leitung:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung:
Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf

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

- Allgemeine Angaben**
- Oberflächengewässer
 - Begrenzung des untersuchten Lockergesteins-Grundwasserleiters
am 22.4.1991
 - 2 m Grundwasserspiegel-Isohypse vom 22.4.1991
mit Kote in m ü. M.
 - Grundwasser-Fließrichtung
 - Hydrogeologisches Einzugsgebiet
 - Klimastation, Schweiz. Meteorologische Anstalt Zürich (SMA)
 - ↓ Niederschlags-Messstation, SMA
 - ▲ Abfluss-Messstation, Landeshydrologie und -geologie Bern (LHG)
 - Gemeindegrenze
 - Kantonsgrenze
- Wichtige Fassungen der Trink- und Brauchwasserversorgung**
- Quelle gefasst
 - ++++ Sickerleitungs-Fassung, über 60 m lang
 - < Stollen-Fassung, unter 50 m lang
 - 65 Zahl: Schüttung in l/min
 - Filterbrunnen
 - < Oberflächenwasser-Fassung
 - S Grund- oder Quellwasserfassung mit rechtsgültiger Schutzzone (Zone S)
- Konzessionierte Entnahmemengen und Schüttungen in l/min**
- | | |
|---------------|---------------------|
| □ ○ unbekannt | □ ● 251 - 1 000 |
| □ ○ 5 - 25 | □ ● 1001 - 5 000 |
| □ ○ 26 - 100 | □ ● 5001 - 10 000 |
| □ ○ 101 - 250 | □ ● 10 001 - 50 000 |
| | □ ● > 50 000 |
- Bestehende konzessionierte Nutzungen des Grundwassers**
- Trinkwasser
 - Brauchwasser (Industrie und Gewerbe; Kühlwasser; Wärmegewinning; Bewässerung; Schwimmbäder, Fischzuchtanstalten, Zierteiche und dergleichen)
- Mögliche, künftige Grundwasser-Nutzungen**
- Bereich für Trinkwassergewinnung vorbehalten
 - Bereich für Brauchwassergewinnung geeignet (Grundwasserqualität gefährdet)
- Grundwasser-Schutz**
- Grundwasser-Schutzzone; rechtsgültig (Zone S)
 - Grundwasser-Schutzzone, projektiert

Weitere Karten dieses Gebietes:
Beilage 1: Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 22.4.1991
Oberfläche des Grundwasserleiters 1:10 000
Geologische Profile L-1:10 000 H-1:12 000 6-fach überhöht

Kartographische Gestaltung und Technik:
WEA P. Schmid
EDV-gestützte Kartographie: Topo AG, Bern

Satz und Belichtung: Diest AG, Bern
Reprographie: P. Gattis, Bern
Druck: Aerni Leuch AG, Liebfeld / Bern

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 30.4.1993
Ausgabe 1993

