

# **Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern**

Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept  
für die Grundwasserleiter des obersten Emmentals,  
zwischen Emmenmatt, Langnau und Eggiwil  
Synthesebericht



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung:

Geotechnisches Institut AG, Bern

# **Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern**

Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept  
für die Grundwasserleiter des obersten Emmentals,  
zwischen Emmenmatt, Langnau und Eggiwil  
Synthesebericht



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung:

Geotechnisches Institut AG, Bern

**Bericht:**

Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept für die  
Grundwasserleiter des obersten Emmentals, zwischen  
Emmenmatt, Langnau und Eggwil  
Synthesebericht

**Ausgabe:** 1997**Herausgeber / Leitung:**

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)  
Stabstelle Geologie:  
Dr. R. V. Blau  
Dipl. Ing. HTL F. Muchenberger

**Bearbeitung:**

Geotechnisches Institut AG, Bern

**Druck, Einband:**

Peter Gaffuri AG, Bern

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

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

# Inhaltsverzeichnis Synthesebericht

	Seite
Zusammenfassung	Z-1
Résumé	Z-5
<b>1. Einleitung</b>	
1.1 Gründe und Ziele der Untersuchungen	1-1
1.2 Kredite, Subventionen	1-1
1.3 Untersuchungsgebiet	1-2
1.4 Frühere Untersuchungsergebnisse	1-2
1.5 Bearbeiter	1-2
1.6 Berichterstattung, Dokumentation	1-3
<b>2. Das Untersuchungsgebiet</b>	
2.1 Topologie	2-1
2.2 Geologie	2-1
2.3 Hydrogeologie	2-9
2.4 Hydrologie	2-26
2.5 Wechselbeziehung Oberflächengewässer - Grundwasser	2-29
2.6 Siedlungswasserwirtschaft	2-29
<b>3. Nutzungs-, Schutz und Überwachungskonzept</b>	
3.1 Grundlagen für die künftige Trinkwassergewinnung aus dem Grundwasser	3-1
3.1.1 Rechtliche Grundlagen	3-1
3.1.2 Quantitative Aspekte	3-2
3.1.3 Qualitative Aspekte	3-3
3.2 Grundwassernutzung und Grundwasserschutz	3-4
3.2.1 Öffentliche Grundwasserfassungen	3-4
3.2.2 Mögliche Gefahren für die Grundwasserqualität	3-18
3.2.3 Nutzbares Grundwasserdargebot	3-24
3.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	3-24
3.3.1 Fassungen Aeschau (GWB)	3-24
3.3.2 Fassung Niedermoos (Brunnen Moos I)	3-25
3.3.3 Fassung Schüpbach-Schachen (Signau)	3-26

3.4	Überwachung	3-26
3.4.1	Allgemeines	3-26
3.4.2	Aeschau	3-26
3.4.3	Niedermoos	3-27
3.4.4	Schüpbach-Schachen	3-27
4.	Datenbank	
4.1	Aufbau der Datenbank	4-1
4.2	Verfügbarkeit der Datenbank	4-1

## Anhang

## Referenzen

## Figurenverzeichnis Synthesebericht

	Seite
2.1 Übersicht Untersuchungsgebiet	2-2
2.2 Bohrprofile	2-3
2.3 Geologie Eggiwil	2-4
2.4 Geologie Aeschau	2-5
2.5 Geologie Schüpbach	2-6
2.6 Geologie Winkelmat	2-7
2.7 Geologie Langnau	2-8
2.8 Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Eggiwil	2-10
2.9 Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16. 6. 1994, Ausschnitt Eggiwil	2-11
2.10 Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Aeschau	2-12
2.11 Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Aeschau	2-13
2.12 Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Schüpbach (Signau)	2-14
2.13 Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Schüpbach (Signau)	2-15
2.14 Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Winkelmat	2-16
2.15 Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Winkelmat	2-17
2.16 Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Langnau	2-18
2.17 Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Langnau	2-19
2.18 Radialer Zustrom in die Bohrung EGGB51	2-20
2.19 Horizontale Bereichs-k-Werte in der Bohrung EGGB51	2-21
2.20 Genetische Klassierung und Flowmetermessung	2-22
2.21 Grundwasserdurchfluss in ausgewählten Profilen, Mittelwasserstand vom 16. 6. 1994, Zuflussprofile	2-24
2.22 Berechnete und gemessene Grundwasserspiegel-Ganglinien	2-25
2.23 Konzeptuelles Modell der Grundwasserneubildung	2-26
2.24 1993, Niederschlag Langnau und Hohwacht sowie direkte Grundwasserneubildung	2-28
2.25 Emme bei Emmematt, Niederwasser vom 21. 11. 1989	2-30
2.26 Emme bei Emmematt, Hochwasser vom 14. 2. 1990	2-30
2.27 Emme bei Aeschau, Niederwasser vom 5. 8. 1992	2-31
3.1 Grund- und Quellwasserfassungen im Untersuchungsgebiet, Konzessionsmengen, Schutzzonen und Schutzareal Moos II	3-6
3.2a Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fliessdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassungen Aeschau GWB	3-7

3.2b	Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fliessdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassung Schüpbach-Schachen (Signau)	
3.2c	Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fliessdauer in Tagen bis zur Fassung), Quellwasserfassungen Brunnmatt/Ey der GWB	3-8
3.2d	Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fliessdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassung Niedermoos Brunnen Moos I (Langnau)	3-9
3.3a	Mit dem GrundwassermodeLL berechnete Abflussdauerkurve der Emme bei Aeschau 1992-1994 und Abflussmenge Q <sup>347</sup>	3-10
3.3b	Mit dem GrundwassermodeLL berechnete Abflussdauerkurve der Emme bei Emmenmatt 1992-1994 und Abflussmenge Q <sup>347</sup>	3-12
3.4	Berechnete Abflüsse für 1992 der Emme bei Aeschau für den Ist-Zustand und zwei Szenarien	3-13
3.5	Berechnete Abflüsse für 1992 der Emme bei Emmenmatt für den Ist-Zustand und zwei Szenarien	3-16
3.6a	Wasserqualität im Sommer 1994, Oxidierbarkeit	3-17
3.6b	Wasserqualität im Sommer 1994, Nitrat	3-20
3.6c	Wasserqualität im Sommer 1994, Sauerstoffsättigung	3-21
3.7	Ehemalige Deponien mit einem Gefährdungspotential für das Grundwasser, 1 : 15'000 [3]	3-22
	a) Deponie 907-001 „Hübeli“, Gemeinde Signau	
	b) Deponien 902-001 „Chatzbach“ und 902-022 „Schützenfeld“, Gemeinde Langnau	
3.8	Mögliche Fördermengen Q der Grundwasserfassungen der GWB bei Aeschau abhängig vom Emmeabfluss	3-23
3.9	Messstellennetz Überwachung	3-25
3.10	Abflussmessstelle der GWB bei Aeschau	3-28
4.1	ArcView-Oberfläche	4-2

## Tabellenverzeichnis Synthesebericht

	Seite
2.1 Grundwasserbilanz Mittelwasser	2-23
2.2 In- (+) und Exfiltrationsmengen (-) [l/s]	2-29
2.3 Grund- und Quellwasserfassungen der öffentlichen Wasserversorgungen im Untersuchungsgebiet	2-29
3.1 Wichtige Qualitätskriterien für Trinkwasser	3-1
3.2 Auswirkungen verschiedener Nutzungsszenarien auf den Abfluss der Emme bei Aeschau und Winkelmat	3-15
3.3 Altlasten- und Verdachtsflächen im Zuströmbereich der Fassungen, nach [3]	3-19
3.4 Vorschlag zur Qualitätsüberwachung der Grund- und Oberflächenwässer	3-29



# ZUSAMMENFASSUNG

## Ziele

Bei extremen Niederwasserständen im Winter 1989/1990 trocknete die Emme im Januar 1990 bei Aeschau (Gemeinde Signau) aus. Zahlreiche Fische verendeten. Die Stadt Bern (Gas-, Wasser- und FernwärmeverSORGUNG GWB) betreibt hier seit 1928 Grundwasseraufnahmen. Die Konzession, die im Jahre 2007 ausläuft, lautet auf 26 000 l/min (430 l/s). Im Januar 1990 wurden zwischen 16 500 und 23 000 l/min entnommen.

Erste Untersuchungen im Auftrage der GWB zeigten [66]: Die beträchtlichen Grundwasserentnahmen in der Aeschau sind mit verantwortlich für das Trockenfallen des Emmebettes. Neben der GWB fördern auch die Gemeinden Langnau (Konzession 2800 l/min; mittlere Fördermenge 120 l/min) und Signau (Konzession 1560 l/min; 240 l/min) Grundwasser für ihre Wasserversorgungen. Der Kanton, der das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer ausübt, muss in nächster Zeit entscheiden, wie dieses Grundwasservorkommen weiterhin genutzt werden darf. Vordringlich sind drei Fragen zu beantworten:

- Wie dürfen die Grundwasseraufnahmen in der Aeschau künftig genutzt werden, damit die vom Bundesgesetz von 1991 [53] geforderte Restwassermenge in der Emme verbleibt?
- Wäre es möglich, die bewilligte Entnahmemenge von 26 000 l/min mit einem andern Fassungskonzept auch in Niederwasserperioden zu entnehmen?
- Für alle Fassungen sind rechtsgültig Schutzzonen ausgeschieden. Sind zusätzliche Schutzvorkehrungen in den Zuflussbereichen nötig, damit langfristig die Fassungen auch vor chemischen Verunreinigungen geschützt werden können und welche Überwachungsmaßnahmen sind anzuordnen?

Um die Fragen zu beantworten, waren bessere hydrogeologische Unterlagen zu erarbeiten und ein zur Simulation verschiedener Nutzungsszenarien unabdingbares numerisches Modell der Grundwasserströmung aufzubauen. Der Grosser Rat und der Regierungsrat bewilligten Kredite von total 1 501 000.- Fr. Der Bund subventionierte die Arbeiten nur mit 7.5%, weil Versorgungs- und nicht Gewässerschutzfragen im Vordergrund stehen.

## Grundwasservorkommen

Die untersuchten Grundwasservorkommen (Fläche ung. 10 km<sup>2</sup>) erstrecken sich von Emmenmatt, wo die Ilfis in die Emme mündet, längs der Emme hinauf nach Schüpbach und Eggiwil, längs der Ilfis nach Langnau und Bärtau. Die randlichen Einzugsgebiete weisen eine Fläche von über 50 km<sup>2</sup> auf.

Als **Grundwasserstauer** wirken z.T. die Sandsteine und Konglomerate der Oberen Meeresmolasse, die während den Eiszeiten tief durchtalt worden sind, z.T. Moränen, vor allem im Gebiet oberhalb Schüpbach, die in die Täler eingelagert sind. Die Talfüllungen sind sehr heterogen aufgebaut und sind stellenweise über 90m mächtig. Im oberen Teil finden sich Schotter und ausgewaschene Fliessmoränen, siltige bis saubere Kiese mit Sand und Steinen, die den **Grundwasserleiter** bilden. Dessen Durchlässigkeit schwanken zwischen 0.5 und 5 mm/s (Profil - k - Werte, d.h. die über das Bohrprofil gemittelten Bereichs - k - Werte). Zwischen Emmenmatt und Aeschau sind die Schotter am durchlässigsten.

Die mit dem Strömungsmodell berechnete **Grundwasserbilanz für Mittelwasserabflüsse** zeigt folgendes Bild:

	Zufluss [l/s]	Wegfluss [l/s]
Zuflussprofil 1: Heidbühl (Emme)	88	----
Zuflussprofil 2: Gärbi (Röthenbach)	124	----
Zuflussprofil 3: Signau	42	----
Zuflussprofil 4: Bärau (Ilfis)	375	----
In-/Exfiltration	1469	661
Direkte GW-Neubildung	123	----
Indirekte GW-Neubildung	352	----
Entnahme Fassungen Aeschau	----	400
Abfluss Quellfassungen Brunnmatt/Ey in die Emme	----	100
Wegflussprofil Emmenmatt (Emme)	----	1412
Summe	2573	2573

Ergänzend ist festzuhalten:

- Über 55 % des Grundwassers stammen aus Emme und Ilfis, die infiltrieren. Es ist daher nicht verwunderlich, dass bei den herrschenden Oberflächenabfluss-Verhältnissen der Konflikt zwischen der vom Bundesgesetz geforderten Mindestrestwassermenge und der Grundwassernutzung sich klar abzeichnet. Ein Teil des Grundwassers tritt wieder in die Flüsse aus. Da dies zeitlich und örtlich verschoben von den Infiltrationen erfolgen kann, darf dies nicht dazu verleiten, die Auswirkungen der massiven Grundwasserspeisung auf den Oberflächenabfluss zu unterschätzen.
- Die direkte Grundwasserneubildung, d.h. der in die Grundwasserleiter sickernde Anteil der Niederschläge, die auf die Talböden von Emme und Ilfis fallen, ist klein, weil die Grundwasserleiter sehr schmal sind.
- Die indirekte Grundwasserneubildung, d.h. die unterirdisch über die Ränder der Grundwasserleiter einfließende Wassermenge, ist bedeutend grösser, da die seitlichen Einzugsgebiete eine grosse Fläche belegen.
- Da die mittleren Fördermengen der Grundwasserfassungen von Signau (Brunnen Schüpbach-Schachen) und von Langnau (Brunnen Moos I) verschwindend klein sind, werden sie in der Tabelle nicht aufgeführt.

### Grundwasserqualität

Das Grundwasser im obersten Emmental und im Ilfistal Emmenmatt-Bärau entspricht qualitativ **weitgehend den Anforderungen an Trinkwasser** [22]. Es handelt sich um ein **mittelhartes Grundwasser (Gesamthärte 15 bis 25°f)**, das durchgehend oxidierende Verhältnisse zeigt. Die Nitratbelastung ist im **allgemeinen klein**, da die Einzugsgebiete vor allem forstwirtschaftlich und extensiv landwirtschaftlich genutzt werden. **Analysen auf chemische Schadstoffe, wie Pflanzenschutzmittel, Kohlenwasserstoffe, leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe u.ä. liegen keine vor.**

### Abflussmengen $Q_{347}$ , Mindestrestwassermengen

Ausgehend von den Messdaten der Jahre 1992 bis 1994 sind die Abflüsse  $Q_{347}$  für die Emme in Aeschau (120 l/s) und Emmenmatt (940 l/s) berechnet worden. Es konnten nicht wie vorgeschrieben [53] 10 Jahre berücksichtigt werden, da die nötigen Messdaten fehlen. Da die Jahressummen der Niederschläge im Beobachtungszeitraum um durchschnittlich 10,5% über dem langjährigen Mittel liegen, wird unter der vereinfachenden Annahme, dass die Veränderungen des Niederschlags direkt proportional auf den Oberflächenabfluss übertragen werden können, festgehalten:

#### $Q_{347}$ der Emme liegt in

- Aeschau:  
in der Größenordnung von 110 l/s
- Emmenmatt:  
in der Größenordnung von 850 l/s.

Mit der neu errichteten Abflussmessstelle an der Emme in der Aeschau, von der GWB betreut, sind in den nächsten Jahren diese Werte zu erhärten. Ausgehend von den Berechnungsvorschlägen im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer [53] kann festgehalten werden:

#### Die Mindestrestwassermenge liegt in

- Aeschau:  
im Bereich von 100 l/s
- Emmenmatt:  
im Bereich von 370 l/s.

Fördermenge		Unterschreitung der Mindestrestwassermenge (Aeschau:100l/s, Emmenmatt:370l/s)		Austrocknen der Emme		Ist-Zustand !
Aeschau	[l/s]	Aeschau	[Tage/Jahr]	Aeschau	[Tage/Jahr]	
400	100*	15	2	6	0	Szenario a)
200	200	9	5	4	0	Szenario b)
0	400	0	11	0	2	Szenario c)
0	100*	0	1	0	0	

\* Abfluss aus den Sickerleitungen und Quellfassungen Brunnmatt/Ey, der in die Emme eingeleitet wird

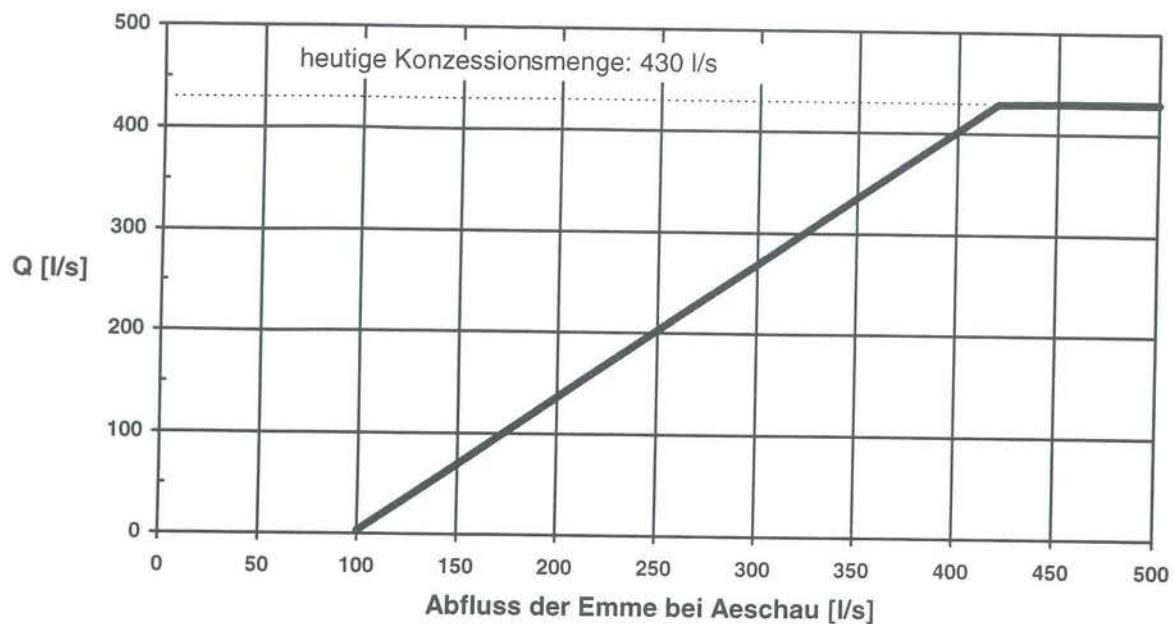
Ausgehend von diesen Randbedingungen sind mit dem Strömungsmodell der Ist-Zustand und 3 Nutzungsszenarien durchgerechnet worden, wie die obenstehende Tabelle zeigt.

Es zeigt sich klar:

- Die heutige Konzession für die Fassungen in der Aeschau lässt sich bei Niederwasserverhältnissen mit der gelgenden gesetzlichen Regelung [53] nicht vereinbaren.
- Die Entnahme teilweise oder ganz in das Gebiet Winkelmat (Szenarien a und b) zu verlegen, nahe des Zusammenflusses von Emme und Ilfis, wo die GWB Quellrechte in der Brunnmatt/Ey besitzen, verbessert leider die Lage nicht nennenswert. Zu bedenken ist zudem: Die Winkelmat ist das einzige Gebiet, das erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser (über 30 mg/l) aufweist. Eine Grundwassernutzung würde erfordern, dass im Zuströmbereich die landwirtschaftliche Nutzung des Bodens eingeschränkt würde.
- Es muss daher eine flexible Lösung gefunden werden, die beim Unterschreiten der Mindestrestwassermenge eine stufenweise Reduktion der Fördermenge in den Fassungen der Aeschau verlangt.

Da 75% des geförderten Grundwassers aus der Emme stammen, ergibt sich bei der erwähnten Mindestrestwassermenge von 100 l/s die in der folgenden Graphik dargestellte Abhängigkeit der Fördermenge vom Emmeabfluss bei Aeschau. Die neu errichtete Niederwasser-Abflussmessstelle in der Aeschau erlaubt, die Fördermengen zielfgerecht zu steuern. In der möglichst bald anzupassenden Konzession sind die GWB zu verpflichten, die nötigen technischen Vorkehrungen einzurichten, um die Forderung nach einer Mindestrestwassermenge respektieren zu können.

Die aus dem Szenario c auf den ersten Blick abzuleitende Schlussfolgerung: Die Emme trocknet bei Aeschau nicht aus, wenn das GWB kein Wasser fördert, gilt nur für den Untersuchungszeitraum 1992 bis 1994. Wie bereits erwähnt, liegen die Jahressummen der Niederschläge in diesen Jahren über dem langjährigen Mittel. In der von den GWB veranlassten Studie [66] wird klar festgehalten: **Die Emme trocknet in längeren Niederwasserperioden auch aus, wenn in der Aeschau kein Grundwasser gefördert wird.**



### Grundwasserschutz

Die rechtsgültig ausgeschiedenen Schutz-zonen für die Grundwasserfassungen Aeschau (GWB), Schüpbach-Schachen (Sig-nau) und Moos I (Niedermoos, Langnau) genügen den heutigen Anforderungen wie sie in der Wegleitung zur Ausscheidung von Schutzzonen [13] festgehalten sind. Allerdings sind Unsicherheiten, wie sie wegen wechselsei-der Strömungssituationen und dem teilweise extrem heterogenen Aufbau des Grundwasser-leiters nicht zu vermeiden sind, im Falle von Aeschau kaum abgedeckt. Das gleiche gilt grösstenteils auch für das rechtsgültige Schutzareal Moos II (Langnau). Da die Ilfis im Zuströmbereich infiltriert und unter-strömt wird, genügt das weitere Schutz-areal nicht: Es sollte auf das rechte Ufer der Ilfis ausgedehnt werden.

Im Interesse der langfristigen Versor-gungssicherheit sollten sich die Wasser-versorgungen heute überlegen, wie die Gefahrenherde (Industrie- und Gewerbeanla-gen, Verkehrsachsen, Altlasten usw.) aus-reichend abgesichert werden können, in den Schutzzonen, im Schutzareal und, weil nicht oder schwer abbaubare chemische Verunreinigungen ungehindert in die Schutzzone eindringen können, in den unmittelbar angrenzenden Teilen der Zu-strömbereiche. Gleichzeitig sind auch Ein-satzpläne vorzubereiten, für den Fall einer

trotz allem eintretenden Grundwasserver-schmutzung (z.b. Unfall mit einer Stras-senzisterne).

### Überwachung

Neben der üblichen Qualitätskontrolle des geförderten Wassers, **sollten im Interesse der Versorgungssicherheit auch die zuströ-menden Grundwasser und das infiltrieren-de Oberflächenwasser überwacht werden**. Vorschläge für Parameterwahl, Messstellen und Messintervalle sind ausgearbeitet worden.

# RESUME

## Objectifs

Lors de l'hiver très sec de 1989/90, le lit de l'Emme s'assécha complètement en janvier 1990 près d'Aeschau (commune de Signau), causant la mort de nombreux poissons. Par l'intermédiaire de la GWB (Gas-, Wasser- und Fernwärmeverversorgung, c'est-à-dire les services industriels), la ville de Berne préleve de l'eau souterraine à cet endroit depuis 1928. La concession, qui expirera en 2007, porte sur 26 000 l/min (ou 430 l/s). En janvier 1990, ce sont entre 16 500 et 23 000 l/min qui ont été captés.

Les premières études effectuées sur mandat de la GWB ont révélé que l'assèchement du lit de l'Emme était partiellement dû aux captages considérables effectués à Aeschau [66]. En outre, les communes de Langnau et Signau sont également au bénéfice d'une concession de respectivement 2 800 et 1 560 l/min, et elles prélèvent en moyenne 120 et 240 l/min pour leurs réseaux. Le canton, qui exerce le droit régalien sur les eaux publiques, va devoir décider comment ces réserves d'eaux souterraines devront continuer à être exploitées, en commençant par répondre aux trois questions suivantes :

- **Comment exploiter à l'avenir les captages d'eau souterraine d'Aeschau de manière à assurer, dans l'Emme, le débit résiduel exigé par la loi fédérale de 1991 ? [53]**
- **Serait-il possible, en modifiant le système de captage, de prélever la quantité autorisée de 26 000 l/min même en période d'étiage ?**
- **Des zones de protection ont été délimitées et arrêtées pour tous les captages. Faut-il prendre des précautions supplémentaires dans les zones d'alimentation pour protéger ces derniers à long terme contre les pollutions chimiques et quelles sont les mesures de surveillance à ordonner ?**

Pour répondre à ces questions, il a fallu élaborer des documents hydrogéologiques améliorés et préparer un modèle numérique d'écoulement des eaux indispensable pour simuler divers scénarios d'utilisation. Le Grand Conseil et le Conseil-exécutif ont accordé des crédits d'un montant total de 1'501'000 francs à cet effet. Quant à la Confédération, elle n'a subventionné les travaux qu'à raison de 7,5%, parce qu'ils ont pour principal objet des questions d'alimentation en eau et non pas de protection des eaux.

## Gisement d'eau souterraine

Les gisements étudiés (d'une superficie d'environ 10 km<sup>2</sup>) s'étendent en amont du confluent de l'Emme et de l'Ilfis (Emmenmatt), jusqu'à Schüpbach et Eggiwil le long de l'Emme d'une part et jusqu'à Langnau et Bärau le long de l'Ilfis d'autre part. La surface des bassins versants périphériques est supérieure à 50 km<sup>2</sup>.

Le **mur de l'aquifère** est constitué partiellement par les grès et les conglomérats de la Molasse Marine Supérieure qui ont été profondément érodées durant les glaciations, et partiellement par les moraines qui, surtout en amont de Schüpbach, ont été déposées dans les vallées. Les roches qui remplissent ces dernières présentent une structure très hétérogène et peuvent atteindre 90 m d'épaisseur. Dans la partie supérieure, on trouve des cailloutis et des moraines délavées, des graviers limoneux à propres contenant du sable et des pierres ; ils forment l'**aquifère**, dont la perméabilité varie entre 0,5 et 5 mm/s (valeurs de la perméabilité de profil). C'est entre Emmenmatt et Aeschau que les graviers sont les plus perméables.

Le **bilan de l'eau souterraine** calculé à l'aide du modèle d'écoulement pour le débit des eaux moyennes se présente comme suit :

	Alimentation [l/s]	Ecoulement [l/s]
Profil d'alimentation 1 : Heidbühl (Emme)	88	---
Profil d'alimentation 2 : Gärbi (Röthenbach)	124	---
Profil d'alimentation 3 : Signau	42	---
Profil d'alimentation 4 : Bärau (Ilfis)	375	---
Infiltration/exfiltration	1469	661
Réalimentation directe de la nappe souterraine	123	---
Réalimentation indirecte de la nappe souterraine	352	---
Prélèvement des captages d'Aeschau	---	400
Débit des captages de source Brunnmatt/Ey dans l'Emme	---	100
Profil d'écoulement d'Emmenmatt (Emme)	---	1412
Total	2573	2573

Pour compléter ce tableau, il convient de préciser ceci :

- **Plus de 55% de la nappe souterraine se constitue par infiltration des eaux de l'Emme et de l'Ilfis.** Il n'est donc pas surprenant que les conditions d'écoulement qui règnent en surface donnent lieu à un conflit très net entre le débit résiduel exigé par la loi fédérale et l'utilisation de l'eau souterraine. Une partie de l'eau souterraine va rejoindre les rivières. Comme ce phénomène peut être décalé dans le temps et l'espace par rapport aux infiltrations, il faut se garder de sous-estimer l'incidence de l'alimentation massive d'eau souterraine sur l'écoulement en surface.
- **La réalimentation directe de la nappe souterraine** (soit la quantité d'eau qui, à partir des précipitations tombées dans les fonds de vallée de l'Emme et de l'Ilfis, s'infiltra dans l'aquifère) est peu importante, parce que les aquifères sont très étroits.
- **La réalimentation indirecte de la nappe souterraine** (soit la quantité d'eau qui, dans le sol, arrive par-dessus les bords de l'aquifère) est plus importante, parce que les bassins versants latéraux occupent une grande surface.
- Vu que les quantités moyennes utilisées dans les captages de l'eau souterraine de

Signau (puits de Schüpbach-Schachen) et de Langnau (puits de Moos I) sont infimes, elles ne figurent pas dans le tableau.

### Qualité de l'eau souterraine

L'eau souterraine de l'Emmental supérieure et du secteur Emmenmatt-Bärau de la vallée de l'Ilfis répond dans une large mesure aux exigences posées à l'eau potable [22]. Il s'agit d'une eau mi-dure (dureté totale de 15 à 25° f), qui présente en tous lieux des rapports oxydants. La pollution aux nitrates est généralement faible, car les bassins d'alimentation font principalement l'objet d'une exploitation sylvicole ou agricole extensive. Aucune analyse n'a été faite quant aux polluants chimiques, aux hydrocarbures, aux hydrocarbures volatils, etc.

### Débit $Q_{347}$ , débit résiduel minimum

C'est à partir des données mesurées de 1992 à 1994 que le débit  $Q_{347}$  a été calculé pour l'Emme à Aeschau (120 l/s) et à Emmenmatt (940 l/s). L'absence de chiffres a empêché de prendre pour base la période prescrite [53] de dix ans. Vu que pendant les années d'observation, la quantité totale des précipitations a dépassé globalement de 10,5% la moyenne mesurée à long terme, et dans l'hypothèse simplifiée d'une relation proportionnelle entre les modifications de précipitations et l'écoulement des eaux en surface, les chiffres suivants ont été retenus :

#### $Q_{347}$ de l'Emme :

- à Aeschau, environ 110 l/s
- à Emmenmatt, environ 850 l/s.

La nouvelle station limnigraphique de l'Emme, installée à Aeschau et exploitée par la GWB, sera appelée à confirmer ces chiffres au cours des années à venir. Les propositions de calcul figurant dans la loi fédérale sur la protection des eaux permettent [53] de déterminer les chiffres suivants :

#### Débit résiduel minimum de l'Emme :

- à Aeschau, environ 100 l/s
- à Emmenmatt, environ 370 l/s.

Quantité prélevée		Quantité inférieure au débit résiduel minimum (Aeschau : 100 l/s, Emmenmatt : 370 l/s) [jours/an]		Tarissemement de l'Emme [jours/an]	
Aeschau	[l/s] Winkelmat	Aeschau	Winkelmat	Aeschau	Winkelmat
400	100*	15	2	6	0
200	200	9	5	4	0
0	400	0	11	0	2
0	100*	0	1	0	0

Situation réelle!  
Scénario a)  
Scénario b)  
Scénario c)

\* Ecoulement provenant des drains et des captages de source de Brunnmatt/Ey et amené dans l'Emme

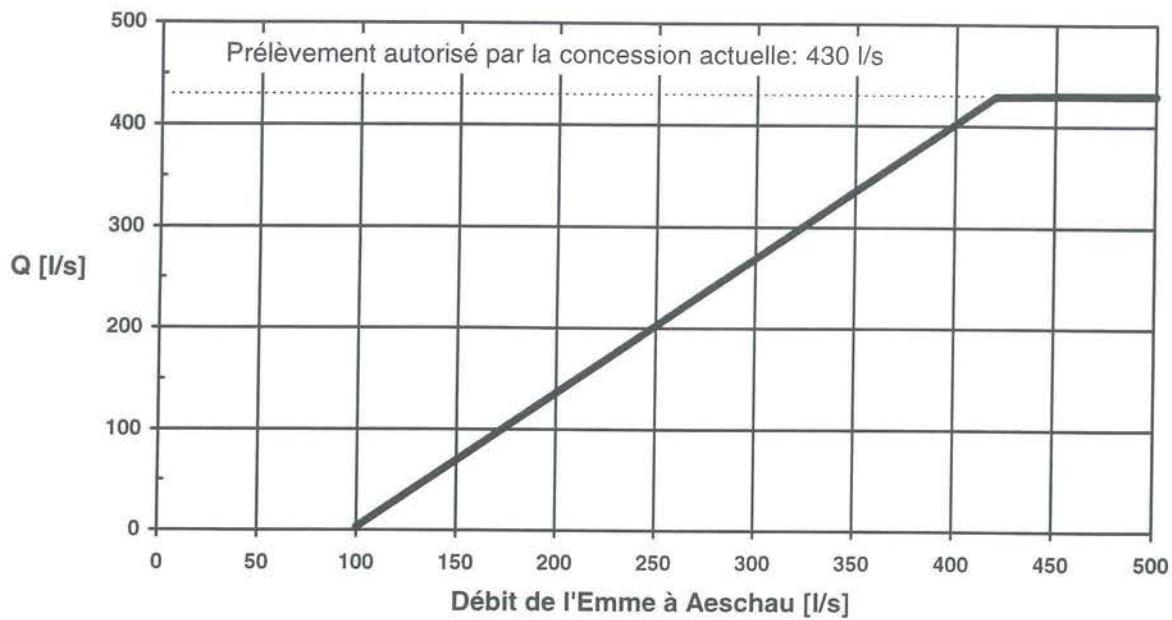
Ainsi que l'indique ce tableau, le modèle d'écoulement a servi à calculer, à partir de ces conditions générales, la situation réelle et trois scénarios d'exploitation.

Il en ressort les points suivants :

- Compte tenu des conditions d'étiage, la concession actuelle relative aux captages d'Aeschau est incompatible avec les dispositions légales en vigueur [53].
- Le déplacement intégral ou partiel des captages dans la zone de Winkelmat (scénarios a et b), près du confluent de l'Emme et de l'Ilfis, où la GWB possède des droits de source (Brunnmatt/Ey), n'améliorerait pas notablement la situation. Ce d'autant que Winkelmat est l'unique secteur qui présente des concentrations de nitrate élevée (plus de 30 mg/l) dans l'eau souterraine. Une exploitation de celle-ci exigerait de restreindre l'exploitation agricole dans le bassin d'alimentation.
- Il importe donc de trouver une solution plus flexible: dès que le débit résiduel minimum exigé n'est plus garanti, il faut

réduire par paliers le débit pompé dans les captages d'Aeschau. Vu que 75% de l'eau souterraine exploitée provient de l'Emme, le débit résiduel minimum mentionné de 100 l/s montre la relation de cause à effet entre le débit de l'Emme à Aeschau et la quantité prélevée. La nouvelle station limnigraphique installée à cet endroit permet une régulation fonctionnelle des prélèvements. La concession à adapter dans les meilleurs délais devra obliger la GWB à prendre les mesures techniques nécessaires au respect d'un débit résiduel minimum.

La conclusion qui s'impose d'emblée au vu du scénario c et selon lequel l'Emme ne tarit pas à Aeschau si la GWB ne préleve pas d'eau n'est valable que pour la période de 1992 à 1994. Comme il a déjà été mentionné, pendant ces années, la pluviométrie annuelle a été supérieure à la moyenne à long terme. L'étude de la GWB [66] précise que lors de périodes prolongées de basses eaux, l'Emme tarit également si l'eau souterraine n'est pas exploitée.



### Protection des eaux souterraines

Les zones de protection légalement délimitées pour les captages d'eau souterraine d'Aeschau (GWB), de Schüpbach-Sachsen (Signau) et de Moos I (Niedermoos, Langnau) répondent aux exigences actuelles fixées dans les instructions pratiques pour la délimitation des zones de protection [13]. Elles ne tiennent toutefois guère compte des incertitudes qui, pour ce qui est d'Aeschau, sont inévitablement liées aux variations du débit et à la structure parfois extrêmement hétérogène de l'aquifère. Il en va de même, grossso modo, du périmètre de protection de Moos II (Langnau). Comme il y a infiltration et sous-écoulement dans le bassin d'alimentation, le périmètre éloigné ne suffit pas : il faudrait l'étendre à la rive droite de l'Iffis.

Pour garantir l'alimentation en eau à long terme, les services des eaux devraient étudier comment éviter les dangers provenant des installations industrielles et artisanales, des axes routiers et ferroviaires, des sites contaminés, etc. dans les zones et les périmètres de protection ainsi que dans les parties limitrophes des bassins d'alimentation, en raison du risque de pollution par des produits chimiques difficilement dégradables que rien n'empêche de pénétrer dans la zone de protection. Parallèlement, il convient de préparer des

plans d'intervention contre d'éventuelles pollutions des eaux souterraines, par exemple à la suite d'un accident impliquant un camion-citerne.

### Surveillance

Outre le contrôle usuel de la qualité de l'eau prélevée, il y aurait lieu, pour assurer la sécurité de l'alimentation, de surveiller les eaux souterraines qui alimentent la nappe et les eaux de surface qui s'infiltrent. Des propositions ont été élaborées pour le choix des paramètres, les stations limnigraphiques et les intervalles de mesure.

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Gründe und Ziele der Untersuchungen

Im Kanton Bern besitzt der Staat das Hoheitsrecht über die öffentlichen Gewässer (Seen, Flüsse, Bäche und Grundwasser) [25]. Er ist gesetzlich verpflichtet, das Wasser mengen- und gütemässig zu schützen [53] sowie sicherzustellen, dass das ober- und unterirdische Wasser wirtschaftlich verwendet wird.

Diese Aufgaben erfordern umfassende Kenntnisse der Eigenschaften der Grundwasservorkommen und der Wechselbeziehungen Oberflächenwasser - Grundwasser.

Bei extremen Niederwasserständen im Winter 1989/1990 trocknete die Emme im Januar 1990 in der Region Aeschau (Gemeinde Signau) aus. Zahlreiche Fische verendeten. Die Stadt Bern (Gas-, Wasser- und FernwärmeverSORGUNG GWB) betreibt hier seit 1928 Grundwasserfassungen. Die Konzession, die im Jahre 2007 ausläuft, lautet auf 26 000 l/min (430 l/s). Im Januar 1990 wurden zwischen 16 500 und 23 000 l/min entnommen, die rund einen Drittel des damaligen Bedarfes der GWB deckten.

Die Frage lag auf der Hand: Ist die beträchtliche Entnahme von Grundwasser durch die GWB verantwortlich für das Austrocknen der Emme und damit für das Fischsterben? Im Auftrage der Wasserversorgung der Stadt Bern hat die Geotechnische Institut AG diese Frage untersucht. Es zeigte sich klar: Die hohen Grundwasserentnahmen sind nur möglich, weil die Emme ins Grundwasser infiltriert, d.h. das Grundwasser speist; die Entnahmen sind zweifellos mitverantwortlich für das zeitweilige Austrocknen des Emmebettes. Die in diesem Rahmen gewonnenen Erkenntnisse reichten aber nicht aus, um mit Hilfe von numerischen Grundwasser - Strömungsmodellen Konzepte für eine nachhaltige Nutzung des Grundwasserleiters zu entwickeln [66].

Der Kanton muss in nächster Zeit entscheiden, wie dieses Grundwasservorkommen weiterhin genutzt werden darf, ohne dass Fauna und Flora geschädigt werden. Er wird sich dabei

vor allem eingehend mit der Frage der Restwassermenge in der Emme auseinandersetzen müssen, wie sie heute vom neuen Bundesgesetz über den Gewässerschutz von 1991 verlangt wird [53]. Als Grundlagen mussten der ganze Talabschnitt Eggwil - Emmenmatt und der unterste Teil des Ilfistales bis nach Langnau hydrogeologisch untersucht und die Wechselbeziehungen Oberflächenwasser-Grundwasser sorgfältig ermittelt werden, damit fundiert entschieden werden kann. Ein mathematisches Grundwasser - Strömungsmodell war aufzubauen, um verschiedene Nutzungskonzepte zu simulieren, insbesondere galt es darzulegen, wie sich die Grundwasserentnahmen auf den Emme - Abfluss auswirken.

Die Abklärungen sind grundsätzlich bedeutend:

- Die Interessenkollision Grundwassernutzung - Restwasser im Oberflächengewässer bereitet in verschiedenen Gebieten Schwierigkeiten, z.B. im mittleren [73] und unteren Emmental [10], im Langetental zwischen Madiswil und Roggwil [12].
- Verschiedene andere Interessenkollisionen (z.B. Industrieansiedlungen, die die Grundwasserqualität gefährden können, oder Flussverbauungen, die die In- und Exfiltrationsverhältnisse ändern) haben gezeigt, dass für alle bedeutenden Grundwasservorkommen Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzepte aufgestellt werden müssen, wenn längerfristig die Trink- und Brauchwasserversorgung mit anthropogen wenig belastetem Grundwasser sichergestellt werden soll, wie es das Leitbild der BVE von 1994 [18] fordert. Als Pilotprojekt eignete sich dieser Abschnitt der Emme gut, da die Zahl der gegensätzlichen Interessen klein und überblickbar ist.

## 1.2 Kredite, Subventionen

Am 8. August 1990 genehmigte der Grosser Rat, ausgehend vom Kostenvoranschlag, den das WEA zusammen mit der AG Geotechni-

sches Institut Bern ausgearbeitet hatte, den Kredit von Fr. 1 306 000.- für die hydrogeologischen Untersuchungen und die Modellierung des Grundwasserstromes im Gebiet Eggiwil - Emmenmatt - Langnau. Die ersten gewonnenen Erkenntnisse erforderten eine Änderung des Untersuchungsablaufes, weil die eiszeitliche Emmerinne viel tiefer ist, als erwartet. Ein Zusatzkredit von Fr. 195 000.- war nötig, den der Regierungsrat am 10. Juni 1992 bewilligte.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft konnte die Arbeiten aus gesetzlichen Gründen (Entscheid noch abgestützt auf das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer von 1971) nur mit 7,5% subventionieren, da Wassernutzungs- und nicht Gewässerschutzaspekte im Vordergrund stehen.

### 1.3 Untersuchungsgebiet

Fig. 2.1 zeigt die untersuchten Grundwasserleiter (Fläche rund 10 km<sup>2</sup>) und ihre seitlichen Einzugsgebiete. Die untersuchten Grundwasser führenden Schotter und ausgewaschenen Fliessmoränen reichen von Eggiwil und von Langnau bis zum Zusammenfluss von Emme und Ilfis bei Emmenmatt. Die Gegend wird charakterisiert durch enge Täler mit steilen Flanken, eine ausgedehnte dichte Bewaldung und ein voralpines Abflussregime. Vorwiegender Nutzung des Bodens, abgesehen von Siedlungsgebieten: Land- und Forstwirtschaft.

Das Untersuchungsgebiet grenzt an die früher vom WEA untersuchten Gebiete Röthenbach bis Eggiwil [74] und Oberes Emmental, Emmenmatt bis Ramsei [75].

### 1.4 Frühere Untersuchungsergebnisse

Die von der Geologischen Dokumentationsstelle des WEA gesammelten Unterlagen, die hydrologischen Daten öffentlicher Institutionen über Niederschläge und Oberflächenabflüsse, die Messwerte und Auswertungen aus fröhren oder parallel laufenden Untersuchungen öffentlicher und privater Auftraggeber sind in

unsere Arbeiten mit einbezogen worden. Insbesondere sind zu erwähnen:

- Hydrographische Daten aus dem vom WEA aufgebauten und betreuten permanenten Messstellennetz [65];
- Niederschlagsdaten der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt SMA [56];
- Abflussdaten der Landeshydrologie und -geologie [14];
- von den Wasserversorgungen erhobene Daten über Grundwasser-Entnahmestellen, Quellschüttungen, Wasserstände, Wasserchemismus;
- Bohrresultate, Baugrundaufschlüsse, hydrologische Daten für die Projektierung von Bauten und Grundwasserfassungen.

### 1.5 Bearbeiter

Die Untersuchungen sind geleitet worden von Dr. R.V. Blau und F. Muchenberger, dipl.ing. HTL, Stabsstelle Geologie des WEA.

Für den Programmablauf, die Bauleitung der Bohrungen und Fremdarbeiten, die Erstellung der Messstellen, die Feldversuche, die Datenerhebung und -verarbeitung, den Aufbau des numerischen Grundwassermodells und der Datenbank sowie für die übrigen hydrologischen und hydrogeologischen Auswertungen war die AG Geotechnisches Institut Bern zuständig.

Die geophysikalischen Untersuchungen (elektromagnetische Messungen VLF) sind von Prof. Dr. I. Müller, Neuenburg, die Bohrarbeiten von der Fa. Stämpfli AG, Langnau, die Flowmeter-Messungen vom Ingenieur- und Studienbüro Werner + Partner AG, Burgdorf, durchgeführt worden.

Die Grundwasserproben sind vom Kantonalen Laboratorium Bern, die Oberflächenwasserproben vom Kantonalen Gewässer- und Bodenschutzlabor Bern analysiert worden.

Allen, die mitgeholfen haben, diese recht heikle Aufgabe zu lösen, sei ganz herzlich gedankt. Dank gebührt vor allem auch den Mitarbeitern der GWB, insbesondere Herrn dipl. Ing. ETH R. Marbach, Chef der Wasser-

versorgung, den Mitarbeitern der WasserverSORGUNGEN und Bauverwaltungen der im Untersuchungsgebiet liegenden Gemeinden. Sie waren stets bereit, ihre Unterlagen zur Verfügung zu stellen und ihr spezielles Wissen mitzuteilen. Ebenfalls herzlichen Dank gebührt den vielen Privaten, die uns bereitwillig ihre örtlichen Kenntnisse, ihr Land für Bohrarbeiten und die Installation von Messgeräten zur Verfügung stellten.

## 1.6 Berichterstattung, Dokumentation

Der langjährige Gedankenaustausch mit den Benutzern unserer Berichte hat uns bewogen, die Synthese der Untersuchungen noch kürzer

zu fassen als bisher, nur die wesentlichsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen zu veröffentlichen. D.h. das für den 1. Zwischenbericht [76] gewählte Konzept ist verlassen worden.

Daneben ist sorgfältig eine Datenbank aufgebaut worden. Sie wird mit dem Geographischen Informationssystem ArcView verwaltet. Sie enthält fünf Sachbereiche in Übersichten dargestellt:

**Grundwasser** -leiter,  
-beobachtungen,  
-nutzungen,  
-schutz,  
-überwachung.

Sie wird vom WEA verwaltet und nachgeführt, steht allen Interessierten selbstverständlich zur Verfügung (vgl. Kap. 4).



## 2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

### 2.1 Topologie

Das Untersuchungsgebiet liegt im Konfluenzgebiet von Emme und Ilfis im Kanton Bern zwischen 650 und 750 m ü.M. Es erstreckt sich von Eggiwil im Emmental sowie von Bärau bei Langnau im Ilfistal bis nach Emmenmatt. Es ist charakterisiert durch enge Täler mit steilen Flanken, dichte Bewaldung und ein voralpines Abflussregime. Figur 2.1 zeigt eine Gebietsübersicht mit den wichtigsten Grund- und Quellwasserfassungen.

Im kantonalen Vergleich hebt sich das Untersuchungsgebiet vor allem durch seine im Verhältnis zum Umfang geringe Oberfläche ab. Dies bedeutet, dass den seitlichen Zuflüssen sehr grosse Bedeutung zukommt. Während die Fläche des Grundwasserleiters mit rund 10 km<sup>2</sup> etwa einem Sechstel derjenigen des Grundwasserleiters im mittleren und unteren Langetental entspricht, liegen die konzessionierten Entnahmemengen in beiden Fällen bei rund 500 l/s. Dies zeigt, wie stark der Grundwasserleiter im obersten Emmental heute bereits genutzt wird.

### 2.2 Geologie

Der Felsuntergrund besteht im Untersuchungsgebiet aus Konglomeraten und Sandsteinen der Oberen Meeressmolasse, die vor ca. 20 - 15 Mio. Jahren abgelagert wurden. An den Talflanken finden sich zahlreiche Felsaufschlüsse (vgl. [26]).

In den folgenden Millionen von Jahren, die noch geprägt sind von den letzten Phasen der Heraushebung der Alpen und dem gleichzeitigen Absinken des Vorlandes, aber auch während der ausgedehnten Vergletscherung unseres Landes im Quartär (vor 2.5 bis 0.01 Mio Jahren) wechselten Ablagerungs- und Erosionsphasen ab.

Der heutige Verlauf der Felsoberfläche und deren Durchtalung ist darauf zurückzuführen. Die hochgelegenen Terrassen von Grosstanne und Schwändi bei Eggiwil sowie diejenige vom Widerberg bei Bärau bestehen im Kern aus Molassefels (Nagelfluh) und sind auf ihrer

Oberfläche zum Teil tiefgründig verwittert. Ihre Lockergesteinsbedeckung ist nur geringmächtig. Dieses Niveau hat zur Zeit der grössten Vergletscherung den damaligen Tallagen entsprochen. Diese alte Landschaft ist erst später tiefer durchtalt und im Laufe der beiden letzten Eiszeiten durch diverse Staulagen im unteren Emmental mit Lockergesteinen aufgefüllt worden.

Die Lockergesteine können in 4 Gruppen eingeteilt werden:

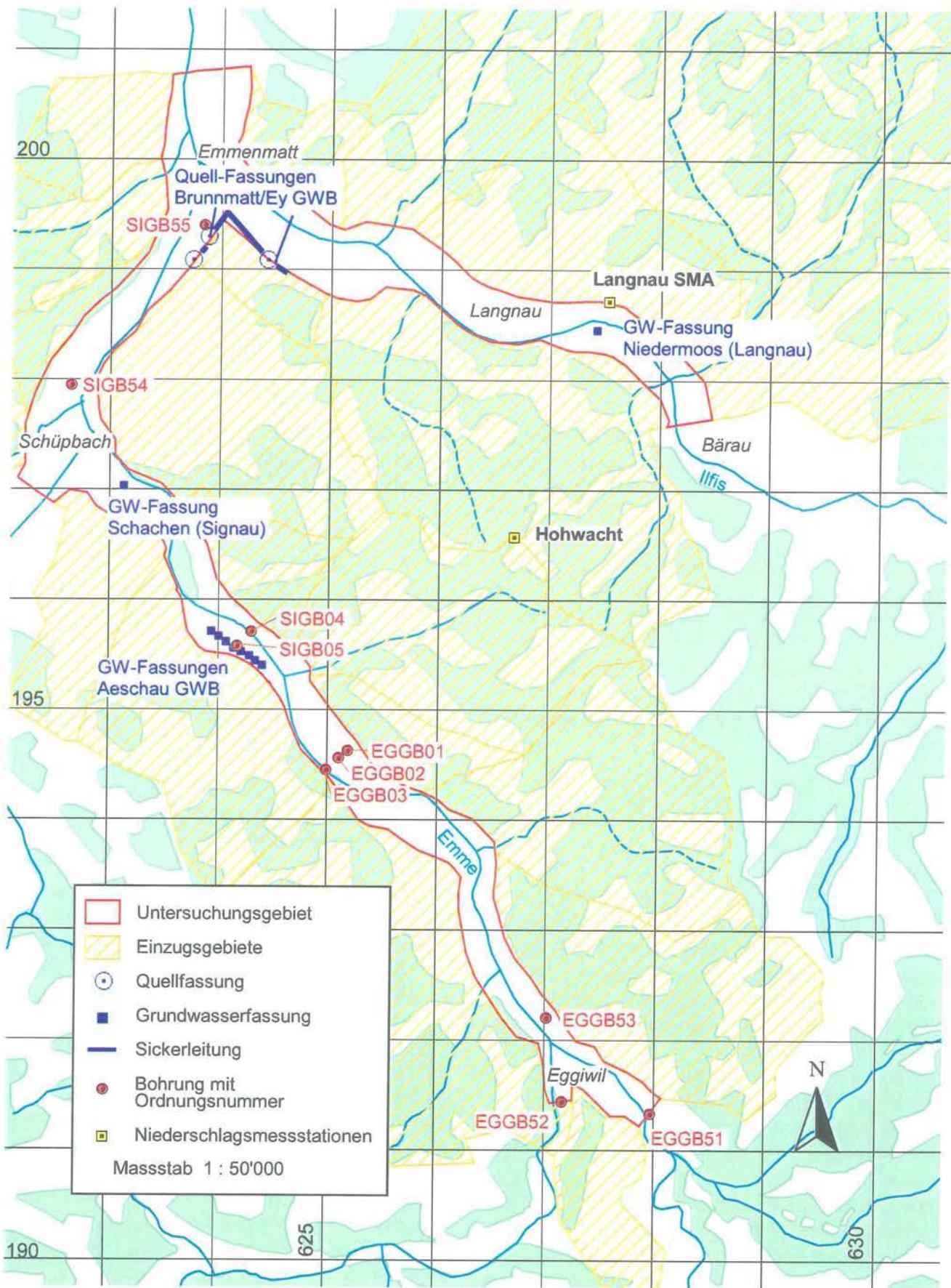
**Deckschichten:** Sie bestehen hauptsächlich aus siltigen Sanden mit organischen Beimengungen (Humus).

**Schotter:** Sie bestehen aus schwach siltigen bis sauberen Kiesen mit Steinen und Sand und bilden den hangenden Bereich der Talverfüllungen. Sie bilden im ganzen Untersuchungsgebiet einen Teil des Grundwasserleiters.

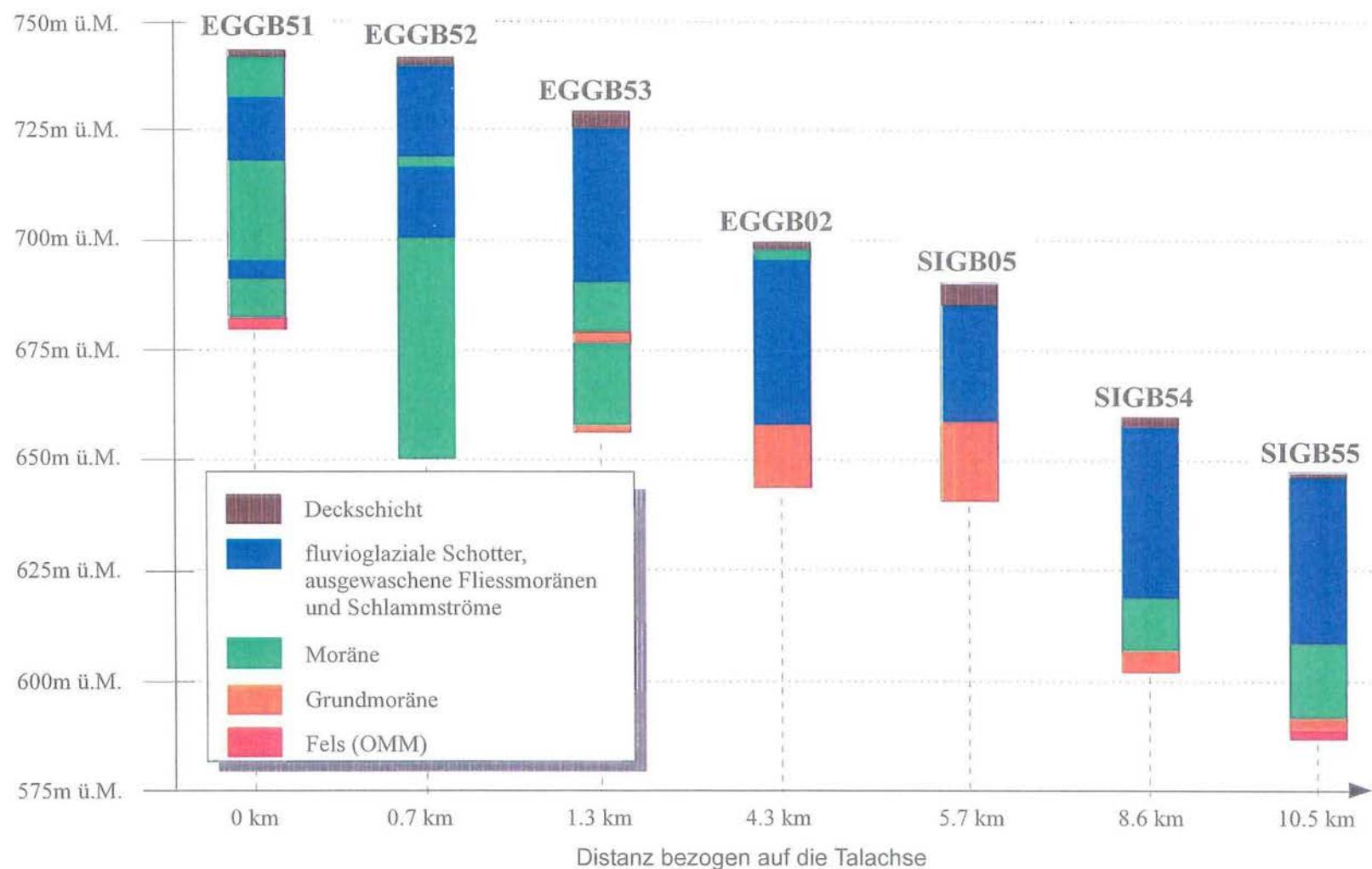
**Moränen:** Es handelt sich um siltige Kiese mit viel Sand. Sie finden sich oft im liegenden Teil der Talverfüllungen, wirken, wenn ausgewaschen, als Grundwasserleiter und bilden im Emmental oberhalb Schüpbach den Grundwasserstauer.

**Seitliche Schuttfächer und Terrassen:** Sehr heterogen aufgebaute Ablagerungen; z.T. dürfte es sich auch um Relikte handeln, ausserhalb der Talverfüllungen. Teilweise sind sie mit diesen verzahnt.

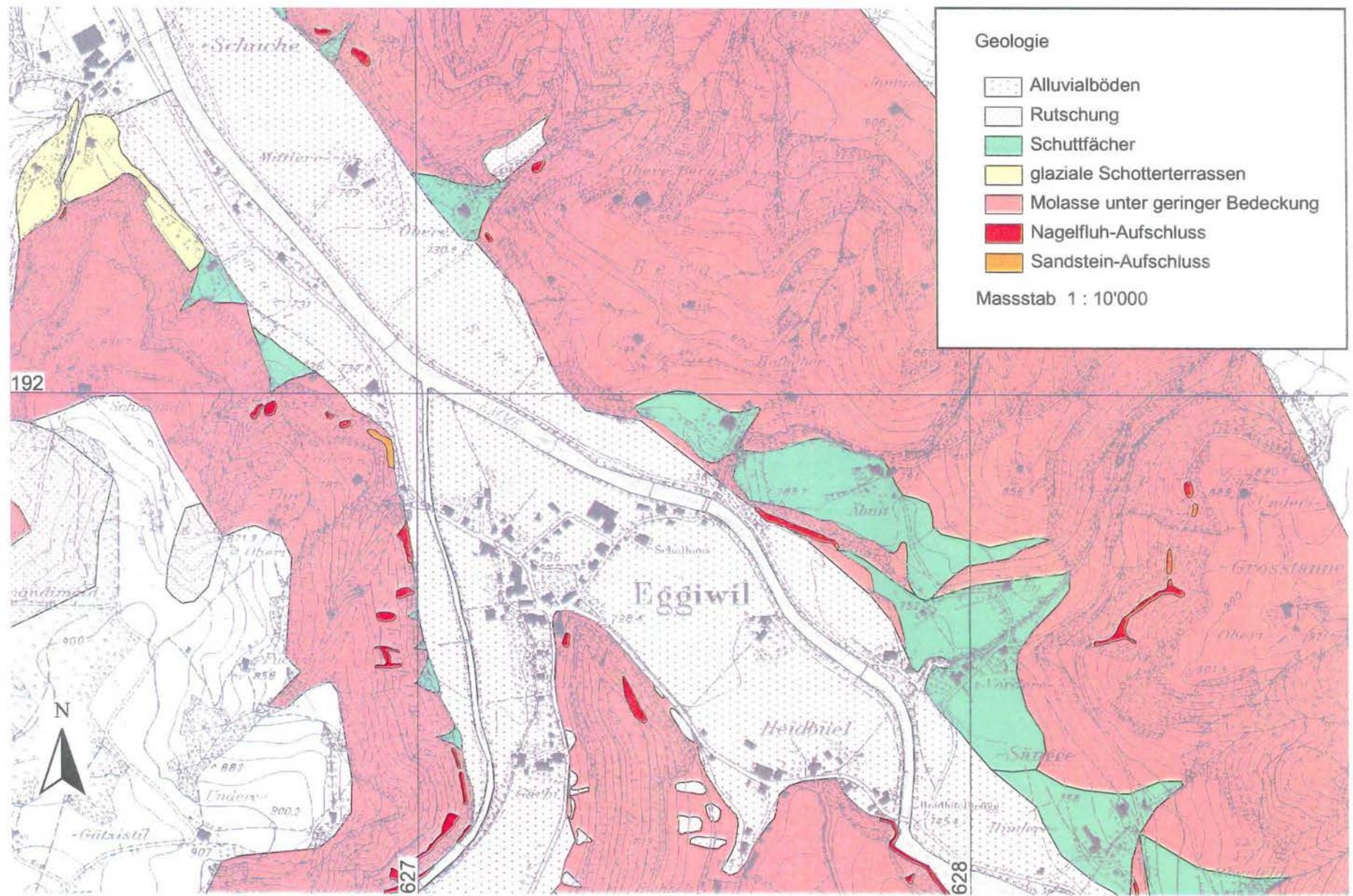
Figur 2.2 zeigt die Bohrprofile von 7 repräsentativen Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet. Unterschieden werden Deckschicht, Schotter, Moräne und Fels, wobei die Moräne ihrerseits in Moräne und Grundmoräne unterteilt wird. Die Darstellung ziegt den sehr heterogenen Aufbau der Talfüllung. In den Figuren 2.3 bis 2.7 ist die geologische Kartierung der Ausschnitte Eggiwil, Aeschau, Schüpbach, Winkelmatte und Langnau dargestellt. Zusammen mit den Bohrresultaten (vgl. Figur 2.2) ergibt dies eine räumliche Vorstellung des geologischen Aufbaus des Grundwasserleiters.



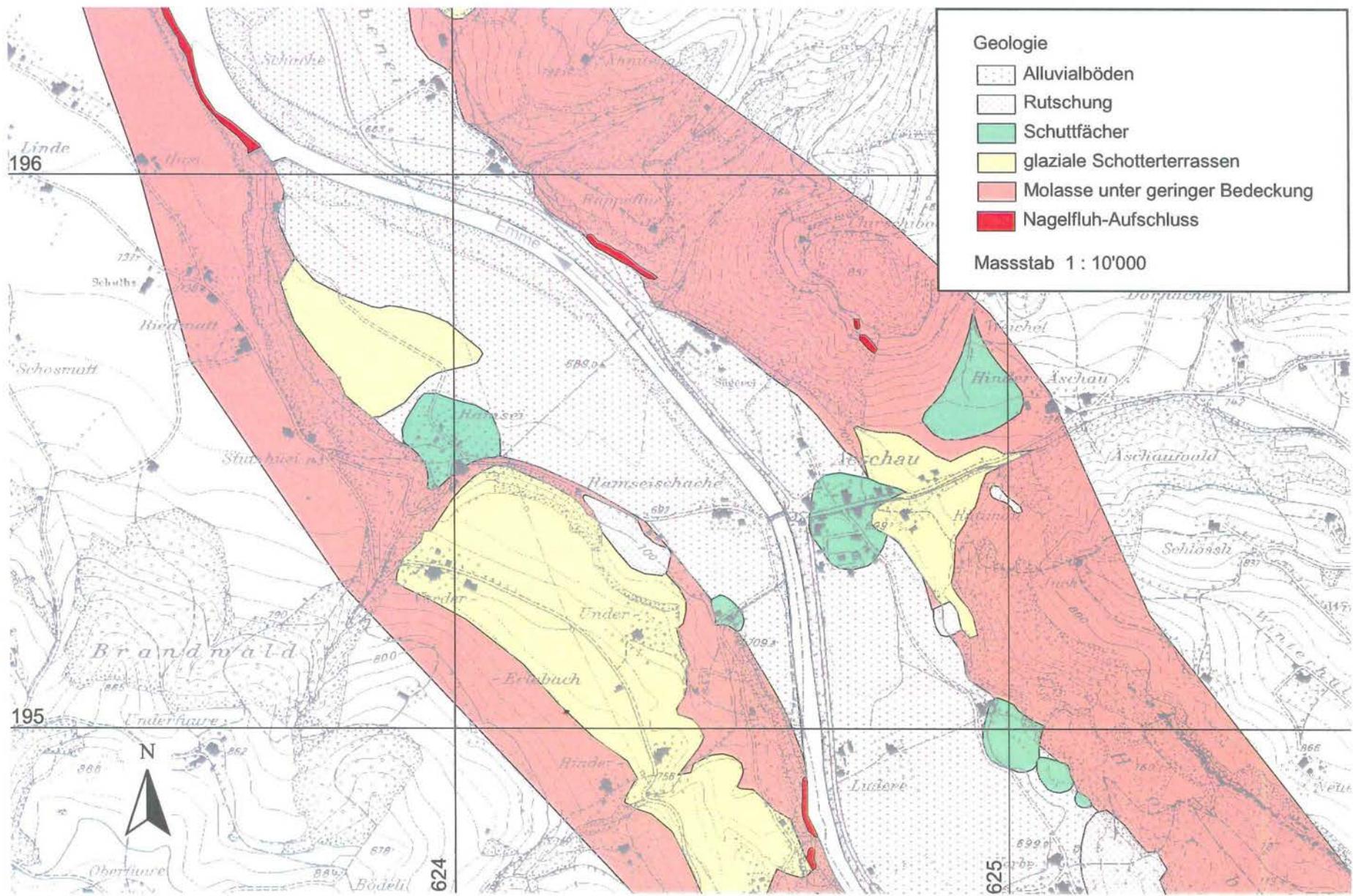
Figur 2.1: Übersicht Untersuchungsgebiet mit seitlichen Einzugsgebieten und Grundwasserfassungen sowie Bohrungen, abgeteuft im Rahmen des Untersuchungsprogrammes (EGGB 51, 52, 53; SIGB 54, 55) und im Rahmen der GWB-Untersuchungen [66]



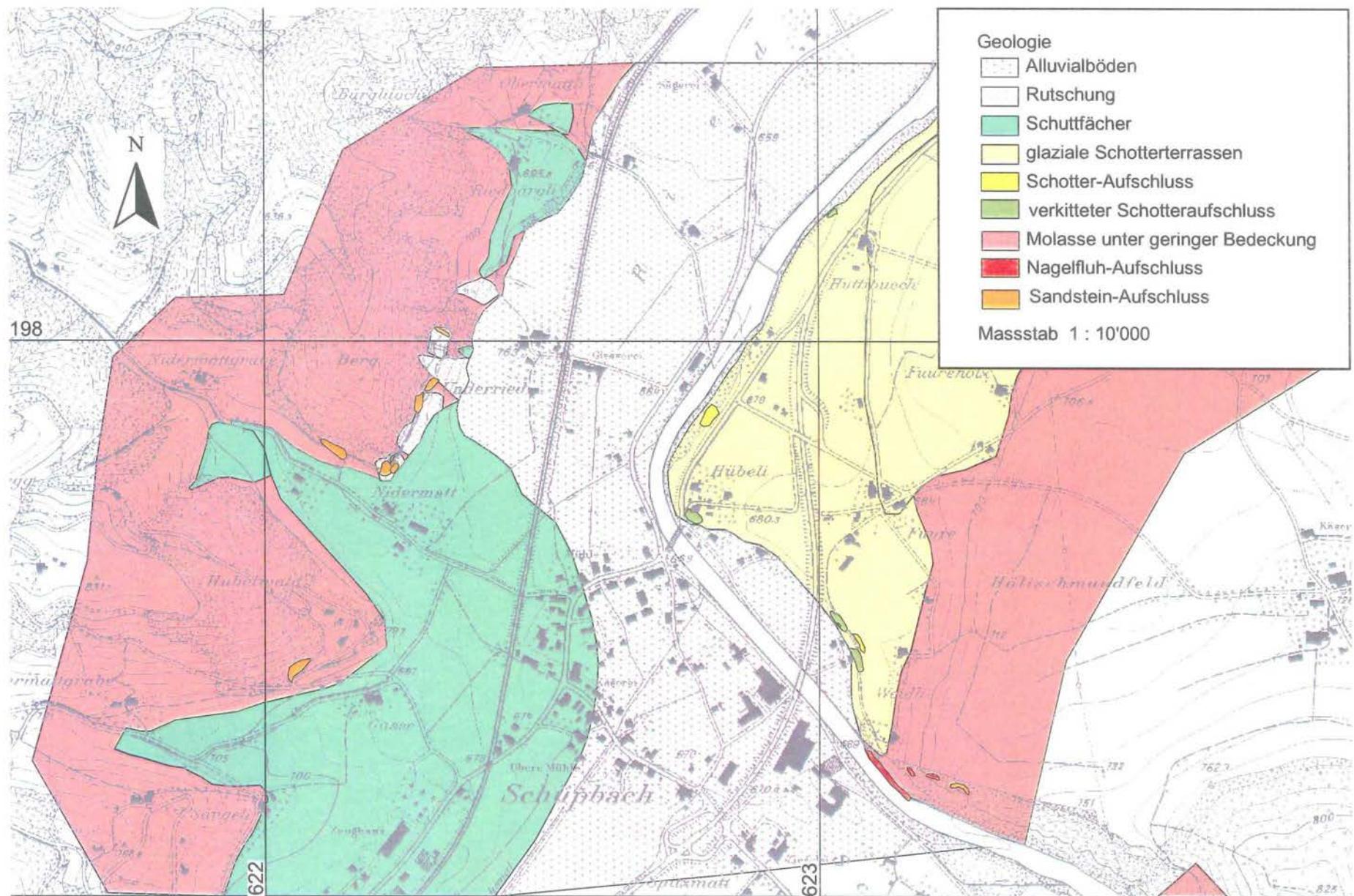
Figur 2.2: Bohrprofile (Situation vgl. Fig 2.1 sowie 2.8, 10, 14)



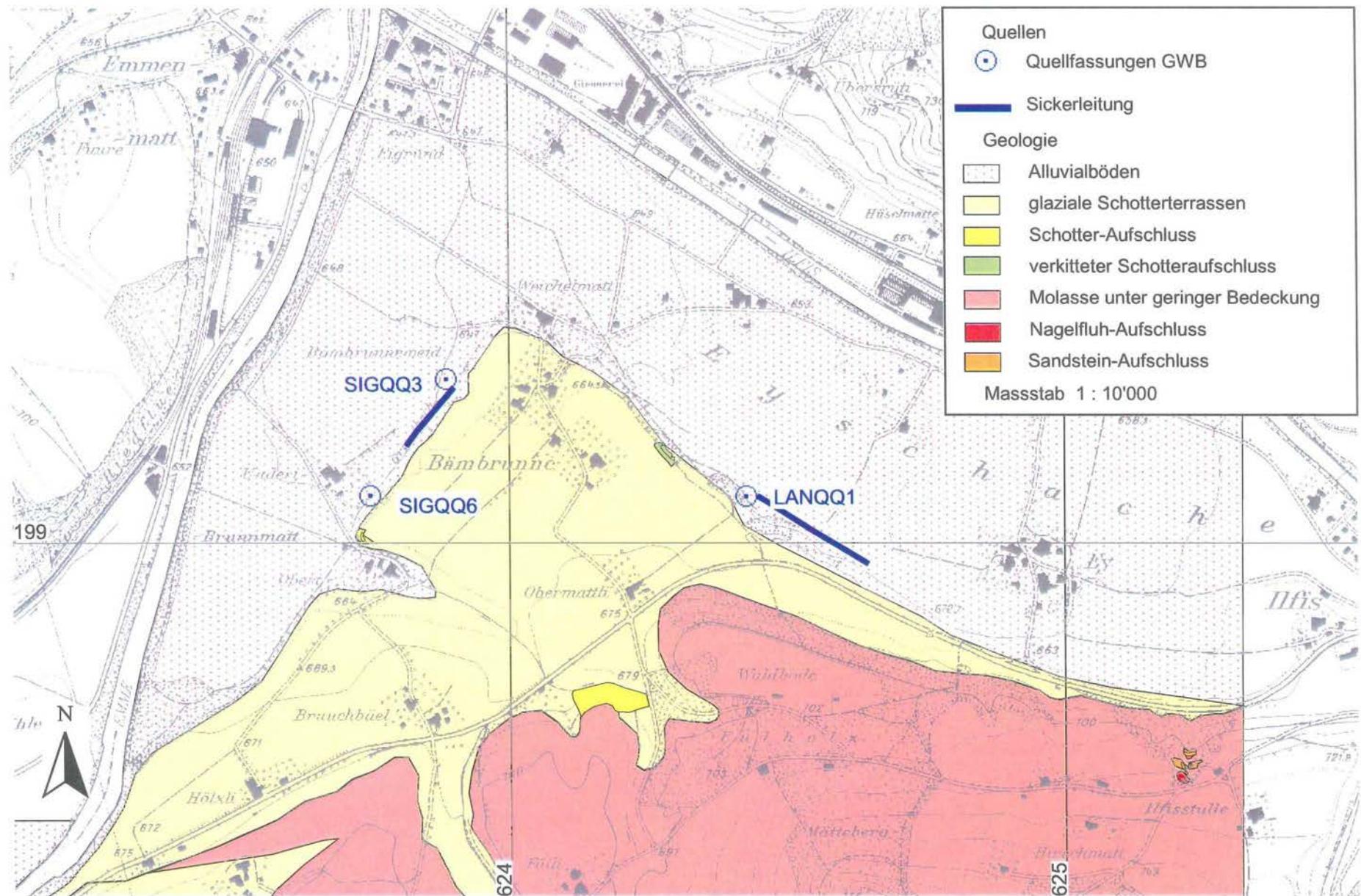
Figur 2.3: Geologie Eggiwil



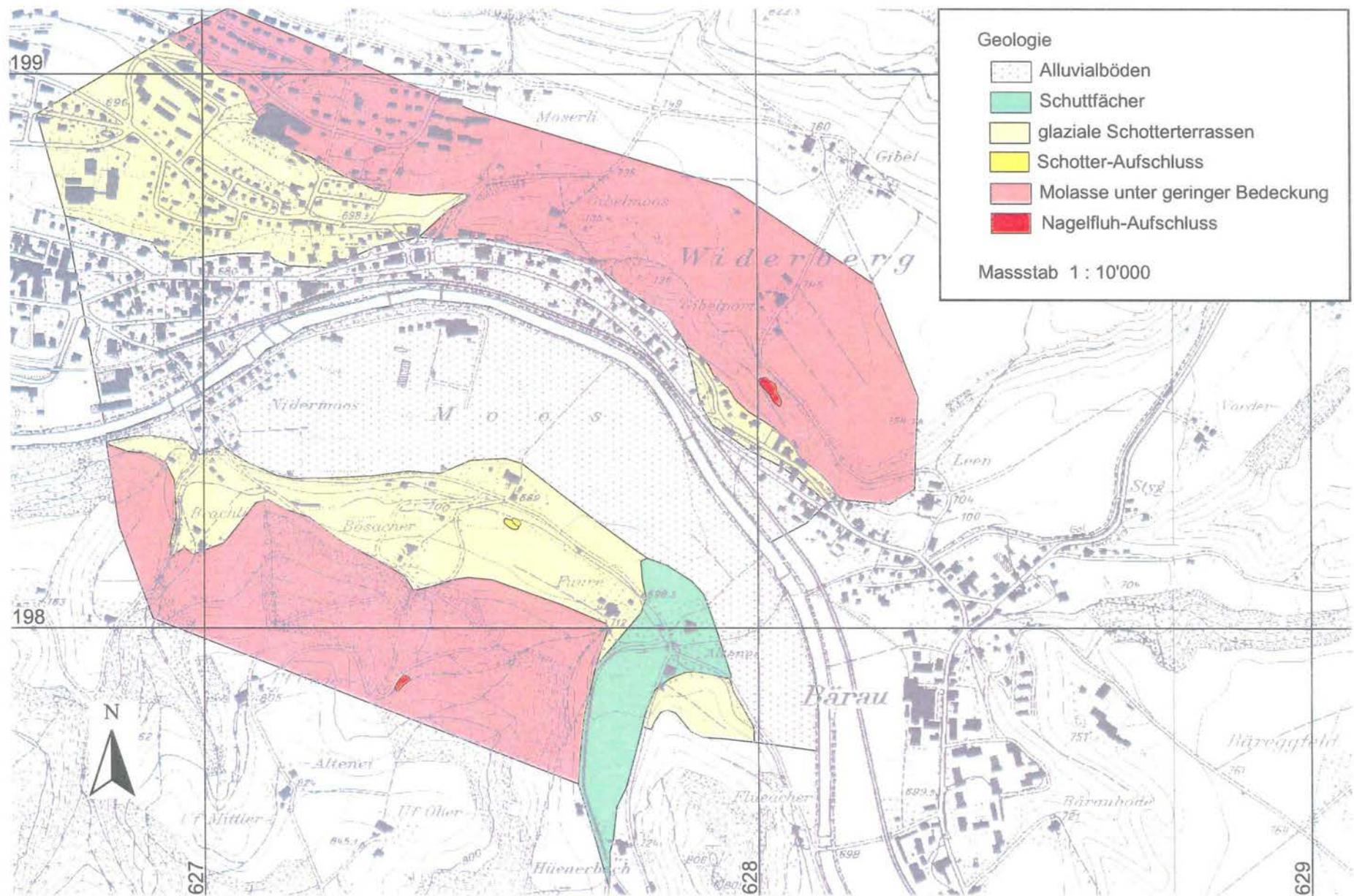
Figur 2.4: Geologie Aeschau



Figur 2.5: Geologie Schüpbach



Figur 2.6: Geologie Winkelmatte



## 2.3 Hydrogeologie

Die wichtigsten Angaben, die als Grundlagen für ein Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept bekannt sein müssen, sind:

- Lithologie, Aufbau und Gestalt des Grundwasserleiters, seiner Deckschichten und seines Stauers
- Mächtigkeit des Grundwasserleiters und der Deckschichten
- hydraulische Leitfähigkeit und Porosität des Grundwasserleiters
- Angaben über Heterogenität und Anisotropie des Grundwasserleiters
- hydraulisches Gefälle, Grundwasserpotentiale
- Lage und zeitliche Variation des Grundwasserspiegels
- Wechselbeziehung von Grund- und Oberflächenwasser (In- und Exfiltration)
- zu- und wegfließende Wassermengen und deren zeitliche Variation
- chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers und ihre zeitliche Variation
- bestehende und geplante Grund- und Quellwassernutzungen
- Konzessionsmengen und Quellrechte
- Restwassermengen gemäss Gewässerschutzgesetz von 1991 [53]
- Altlasten und Verdachtsflächen [3]
- Bestehende Risiken durch Industrie, Gewerbe und Verkehrsträger [15], [16].

In den Figuren 2.8 bis 2.17 sind für die Ausschnitte Eggiwil, Aeschau, Schüpbach, Winkelmat und Langnau dargestellt:

- die Isolinien der Oberfläche des Grundwasserstauers
- die Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser
- die Isohypsen des Grundwasserspiegels
- die Mächtigkeit des Grundwasserkörpers (Mittelwert für die Beobachtungszeit).

Im Gegensatz zum Grundwasserspiegel ist die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in-situ nicht direkt messbar. Da es sich um einen wichtigen Parameter handelt, muss er möglichst genau bestimmt werden. In den Figuren 2.18 und 2.19 ist das Vorgehen dargestellt.

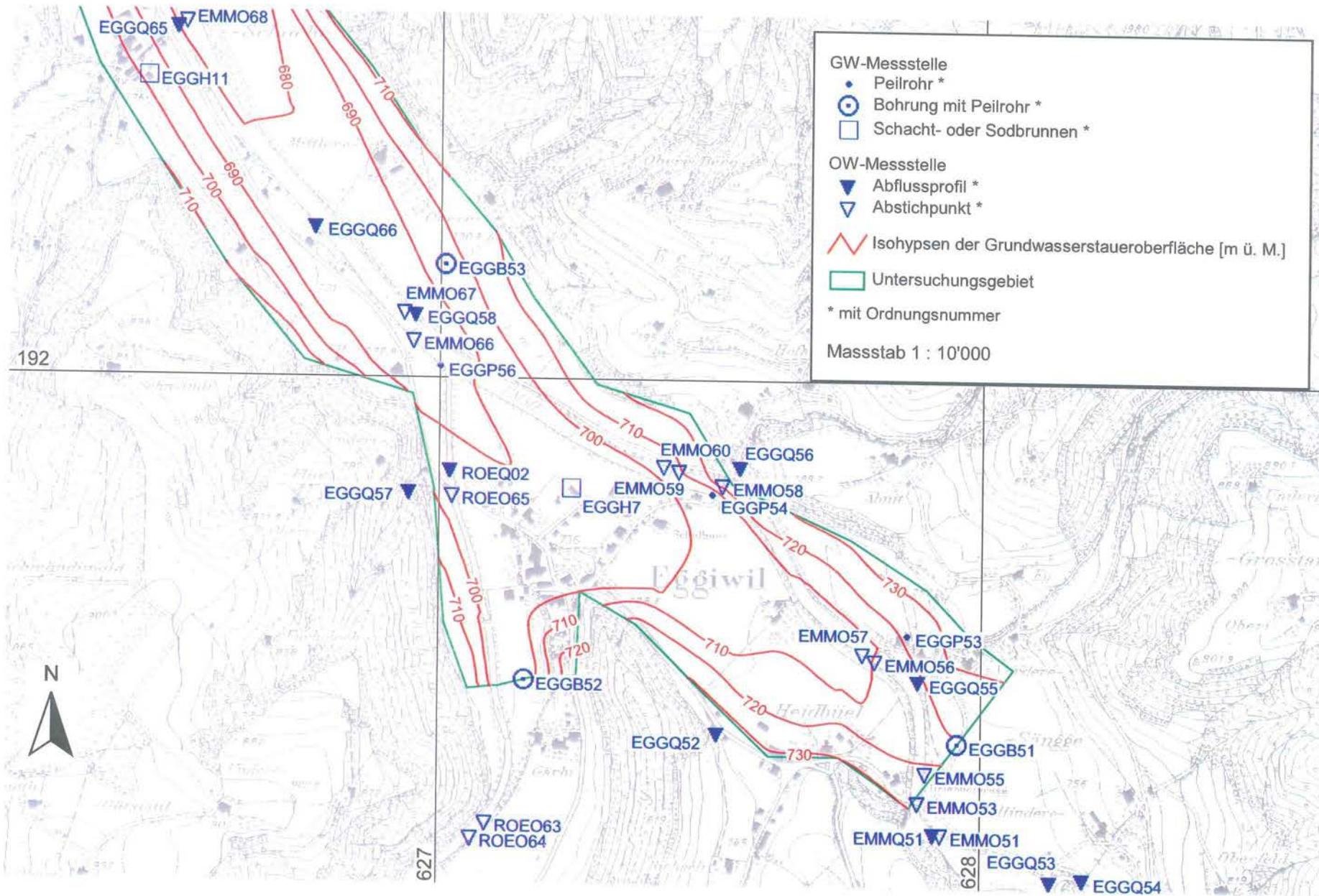
Grundsätzlich wird ein Kleinpumpversuch mit einer Flowmetermessung kombiniert. Die Flowmeter-Messonde misst die vertikale Strömungsgeschwindigkeit in verschiedenen Intervallen in der Bohrung ohne und mit Pumpbetrieb [11,28]. Daraus wird unter Berücksichtigung des Bohrdurchmessers der vertikale Volumenstrom  $Q_z$  für jedes Messintervall berechnet. Aus den Differenzen der einzelnen Intervalle kann der radiale Zu- bzw. Wegstrom im Ruhezustand  $q_{r0}$  sowie bei Pumpbetrieb  $q_{r1}$  ermittelt werden (siehe Figur 2.18). Daraus ergibt sich die Differenz der radialen Zuströme  $\Delta q_r = q_{r1} - q_{r0}$ .

Zusätzlich wird wie bei einem normalen Kleinpumpversuch die Absenkung des Wasserspiegels in der Bohrung bei Pumpbetrieb gemessen und für die in Figur 2.19 dargestellte Berechnung der horizontalen Bereichs-k-Werte eingesetzt. Weitere benötigte Größen sind die Reichweite der Absenkung  $R_s$  (Berechnung vgl. [11]) sowie der Radius  $r_0$  der Bohrung.

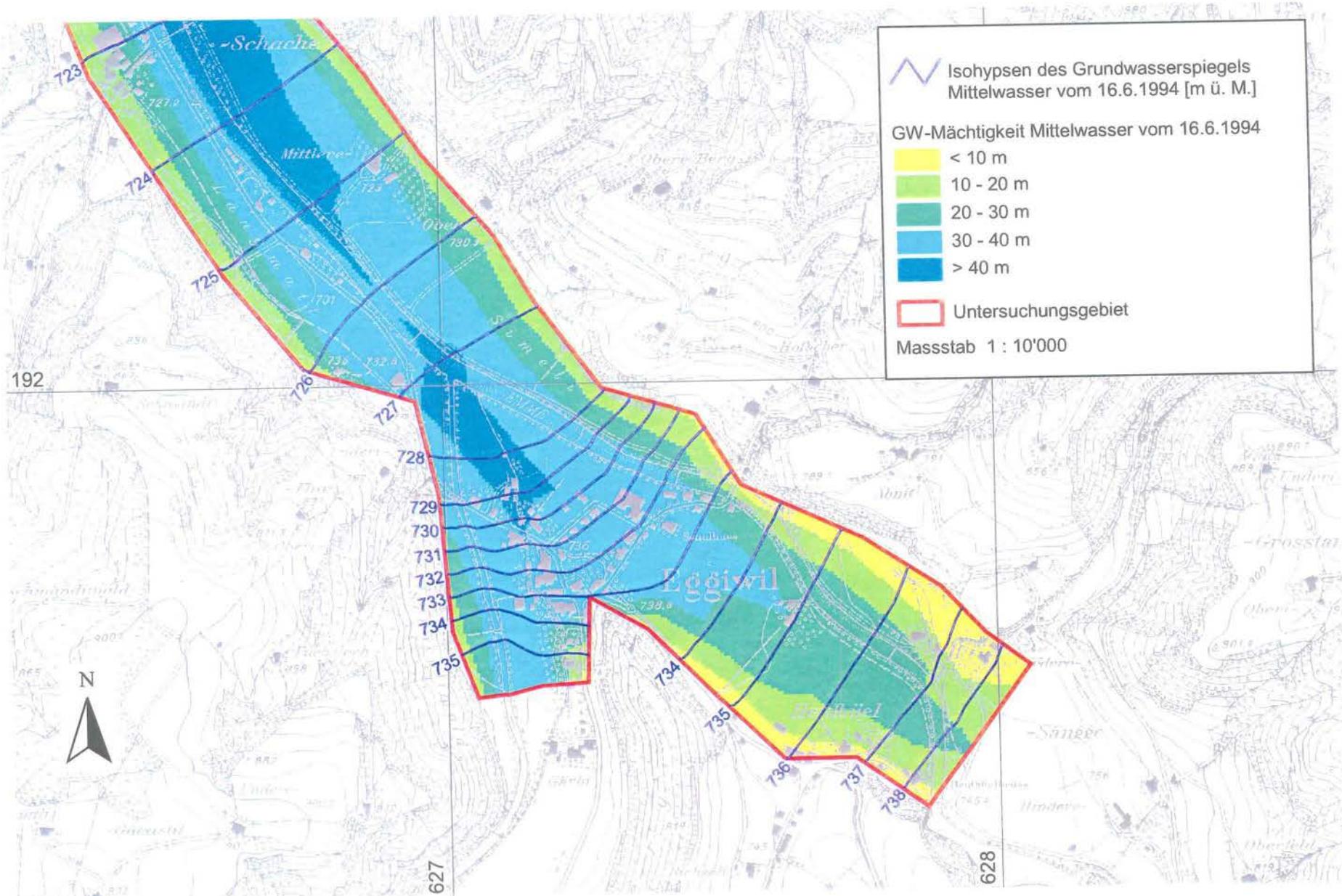
Gut zu erkennen ist die ausgeprägte vertikale Inhomogenität, wie sie für den Lockergesteins-Grundwasserleiter im Untersuchungsgebiet typisch ist.

In Figur 2.20 sind die ermittelten Bereichs-k-Werte zweier Bohrungen der anhand des Bohrkernes festgelegten genetischen Klassierung gegenübergestellt. Die beiden Beispiele zeigen eine relativ schlechte Übereinstimmung. Das bedeutet, dass allein aufgrund der Bohraufnahmen nicht immer auf die Durchlässigkeitsverhältnisse geschlossen werden kann. Wobei einschränkend festzuhalten ist, dass die genetische Deutung der Bohrkerne in diesem Ablagerungsraum sehr schwierig ist.

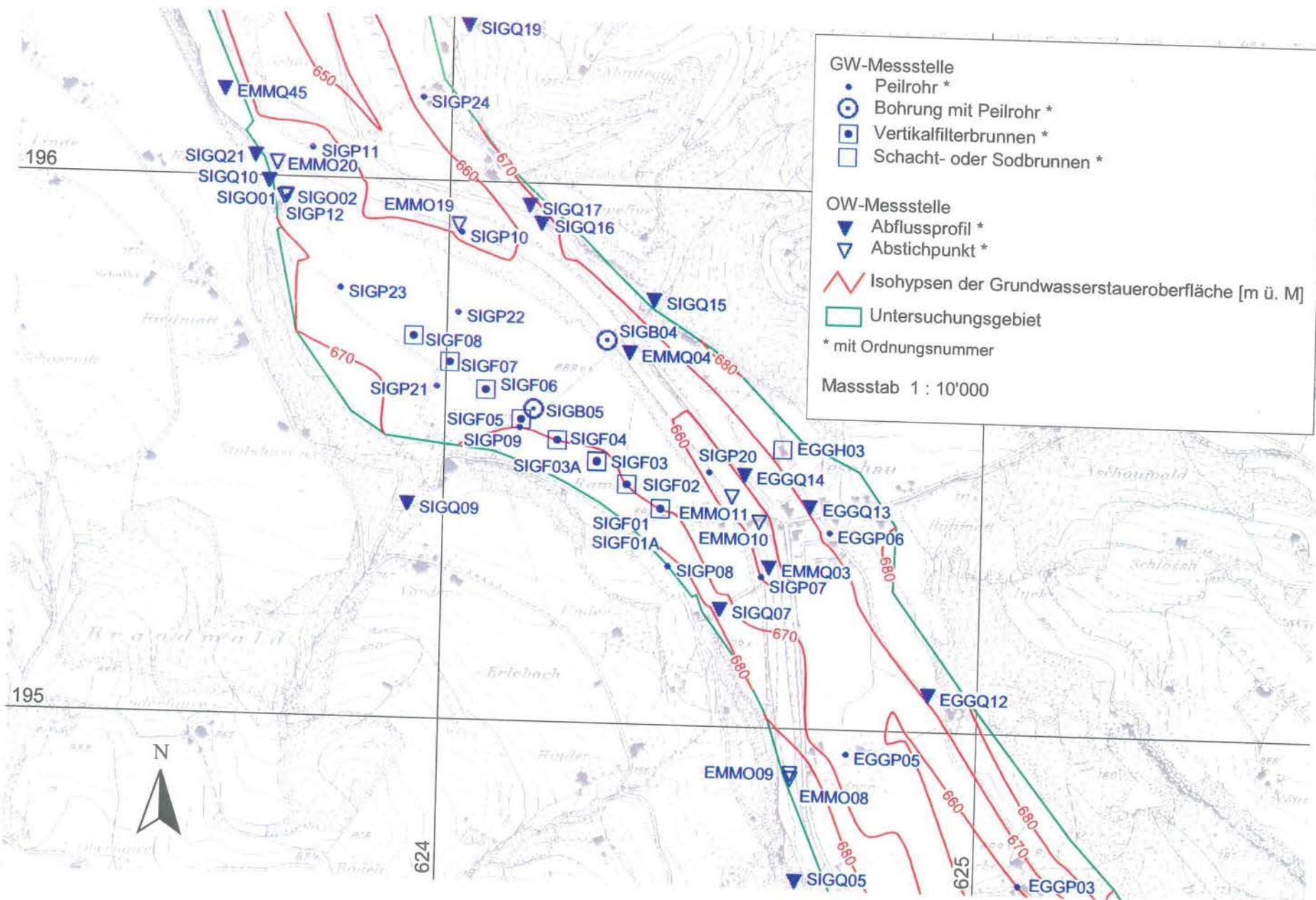
Die Bereichs-k-Werte sind entscheidend für die Fliessgeschwindigkeit und den Fliessweg des Grundwassers (und somit auch für die Ausbreitung eines Schadstoffs), das natürlich den Weg des geringsten Widerstands wählt und sich entlang präferentieller Fliesswege bewegt. Als präferentielle Fliesswege werden die Bereiche und Zonen des Grundwasserleiters mit den grössten Durchlässigkeiten bezeichnet.



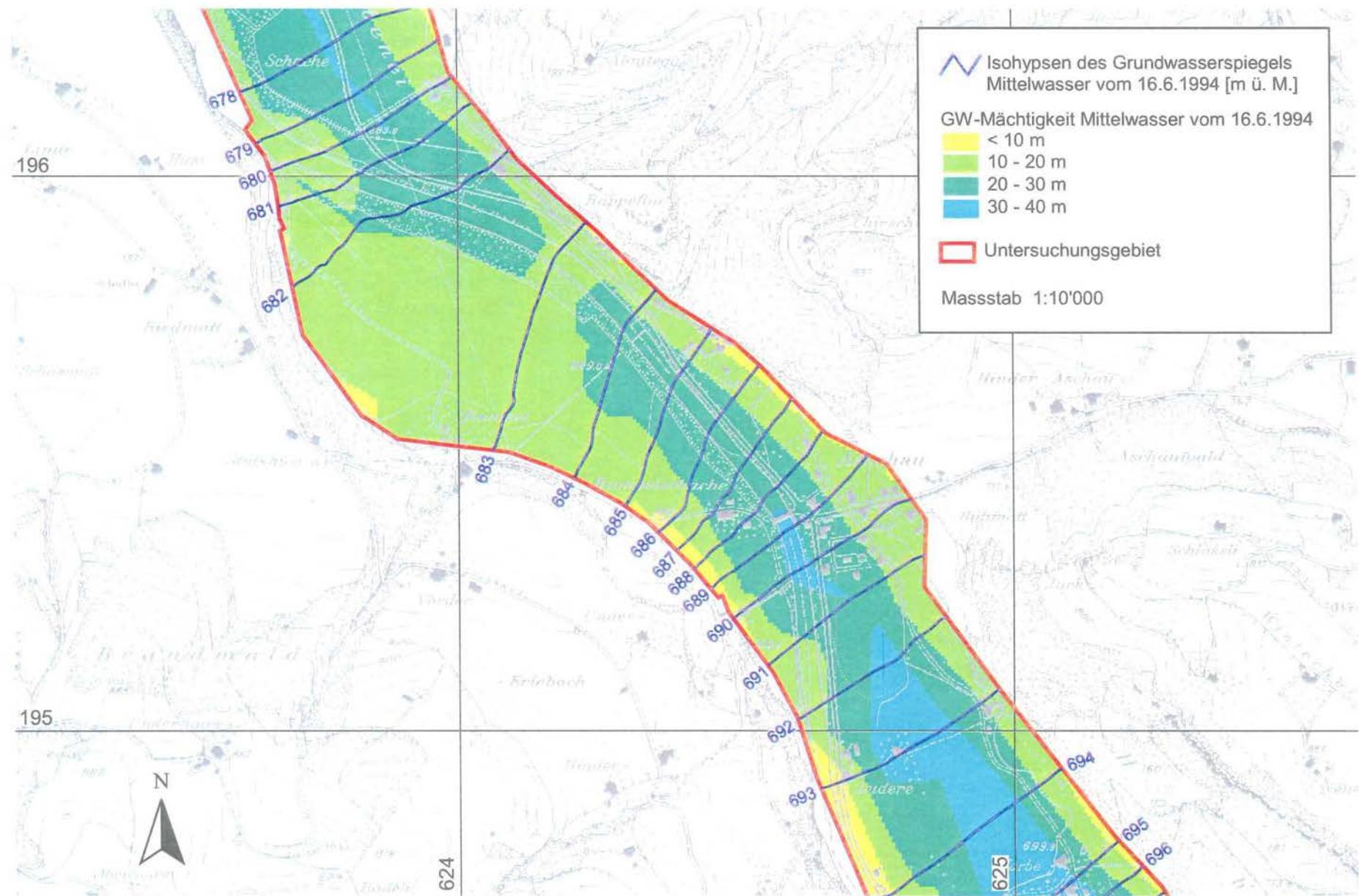
Figur 2.8: Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Eggwil



Figur 2.9: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16. 6. 1994, Ausschnitt Eggiwil



Figur 2.10: Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Aeschau



Figur 2.11: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Aeschau

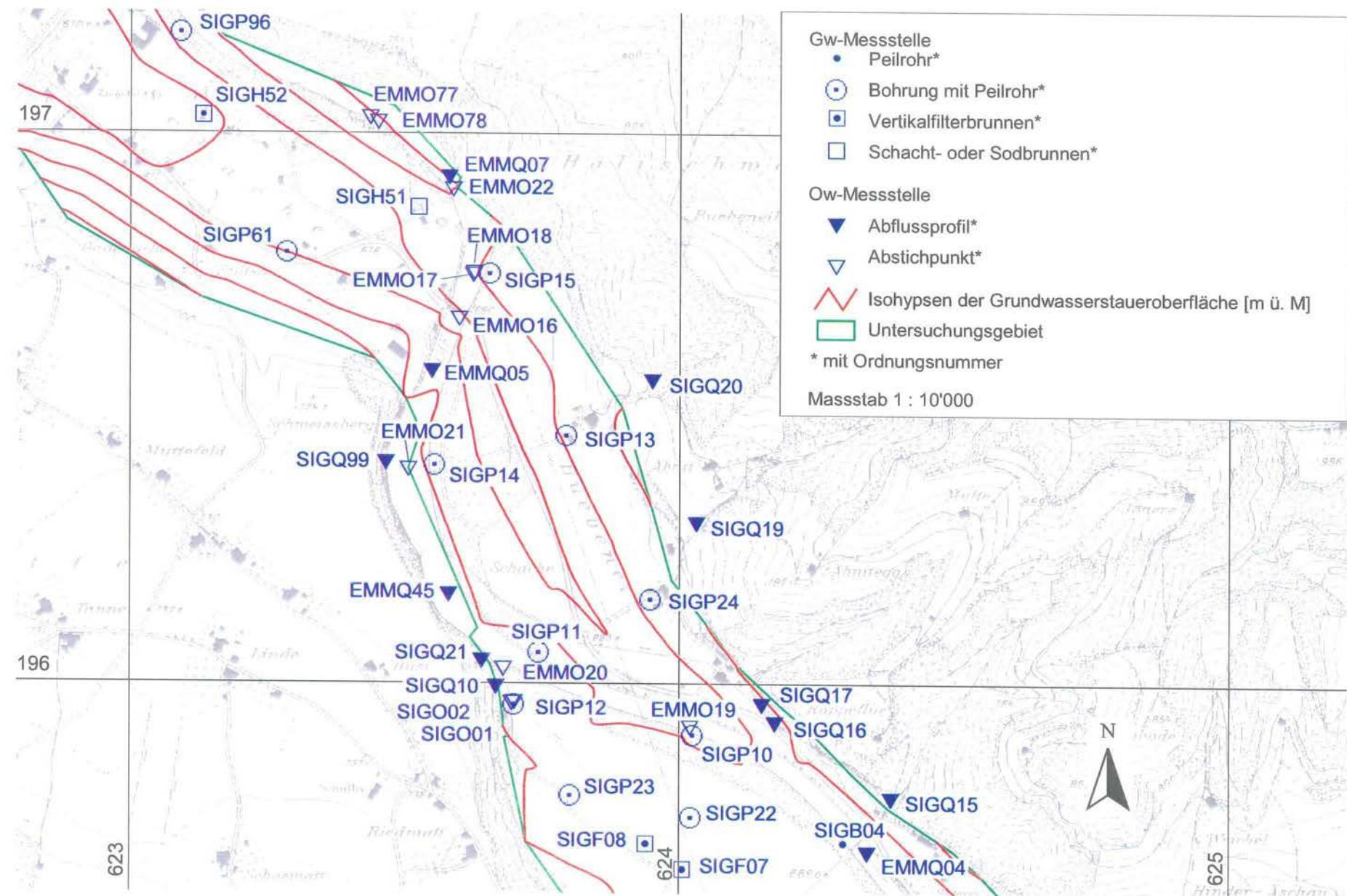
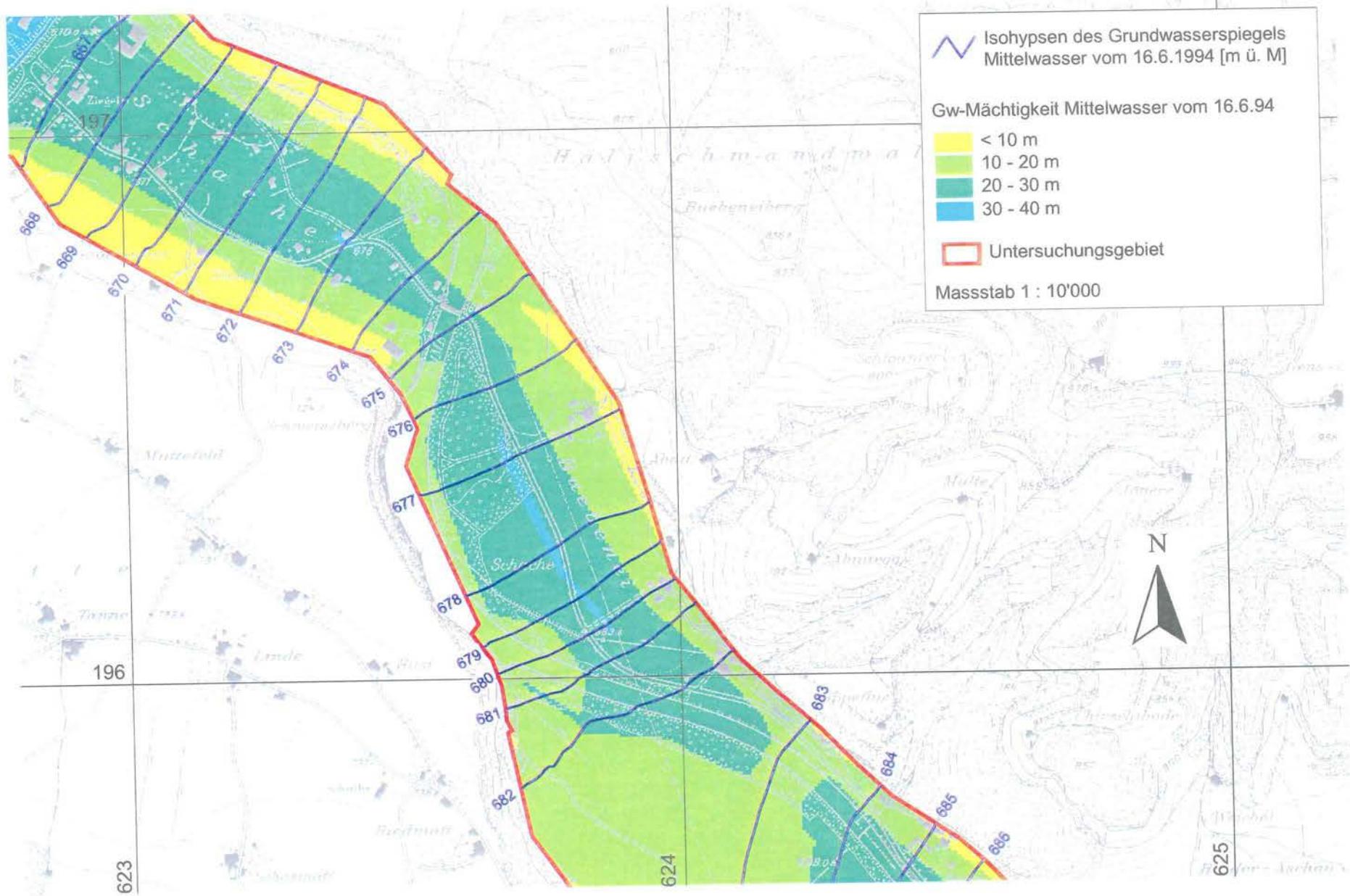
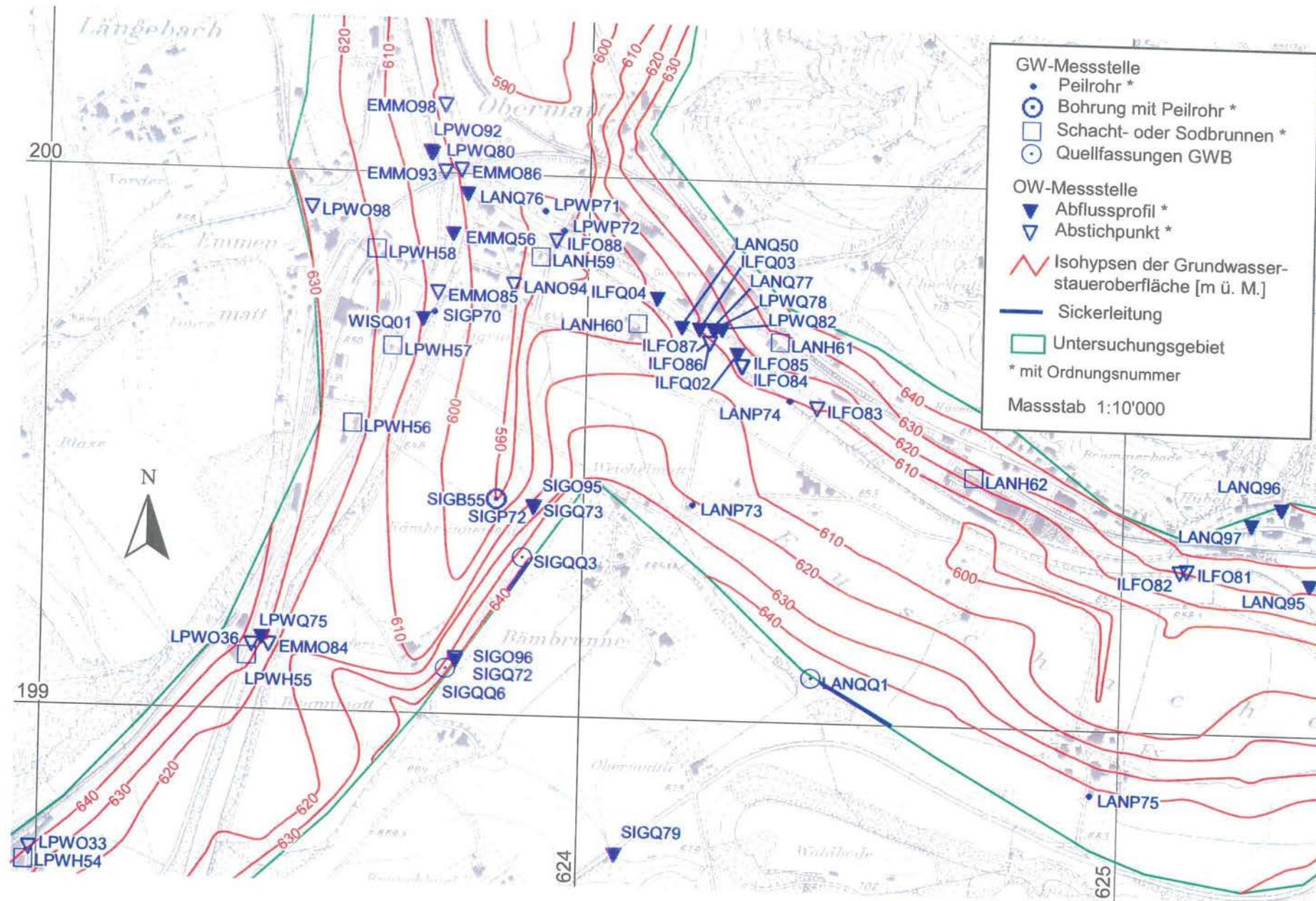


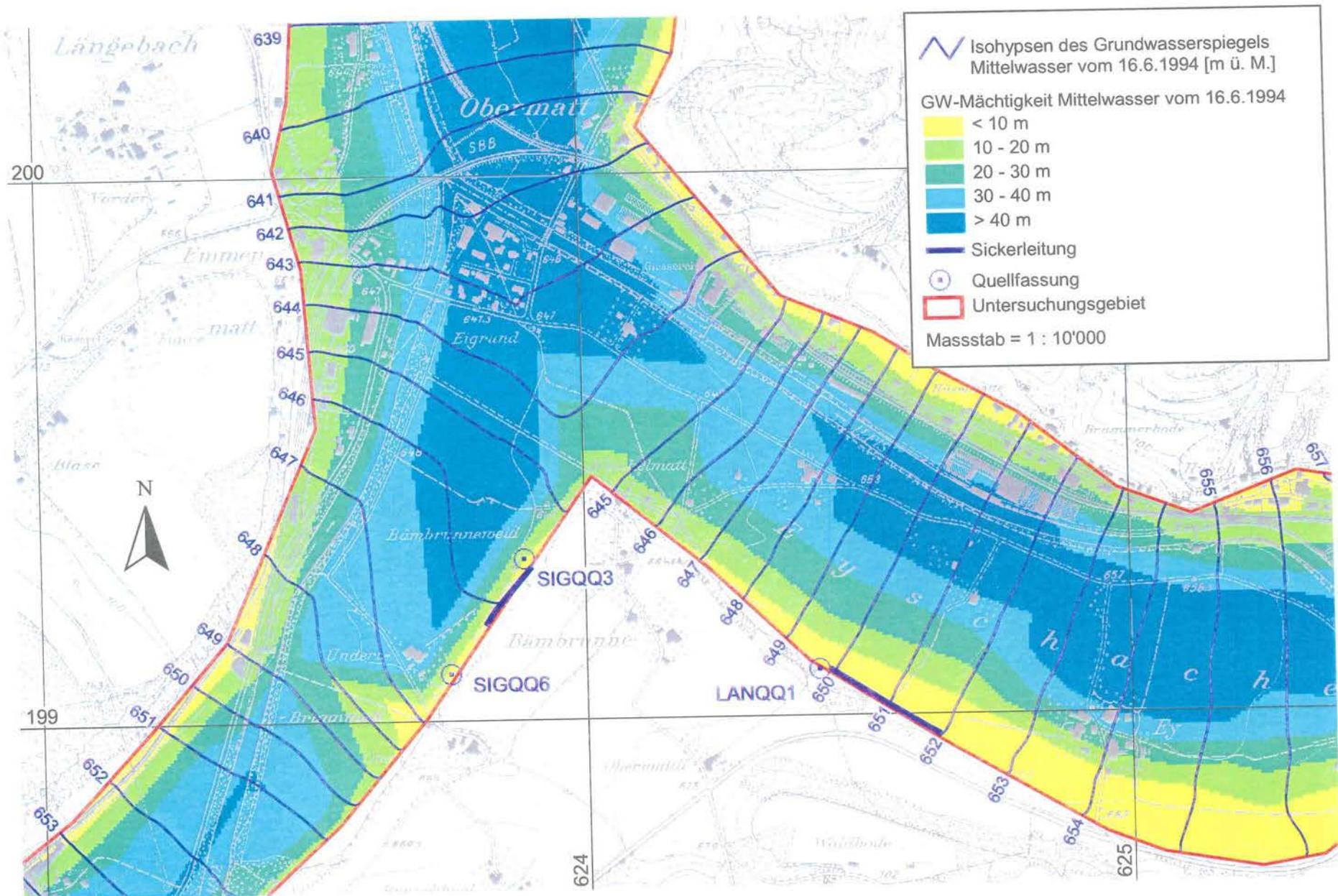
Fig 2.12: Isohypsen der Grundwasserstaueroberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Schüpbach-Schachen (Signau)

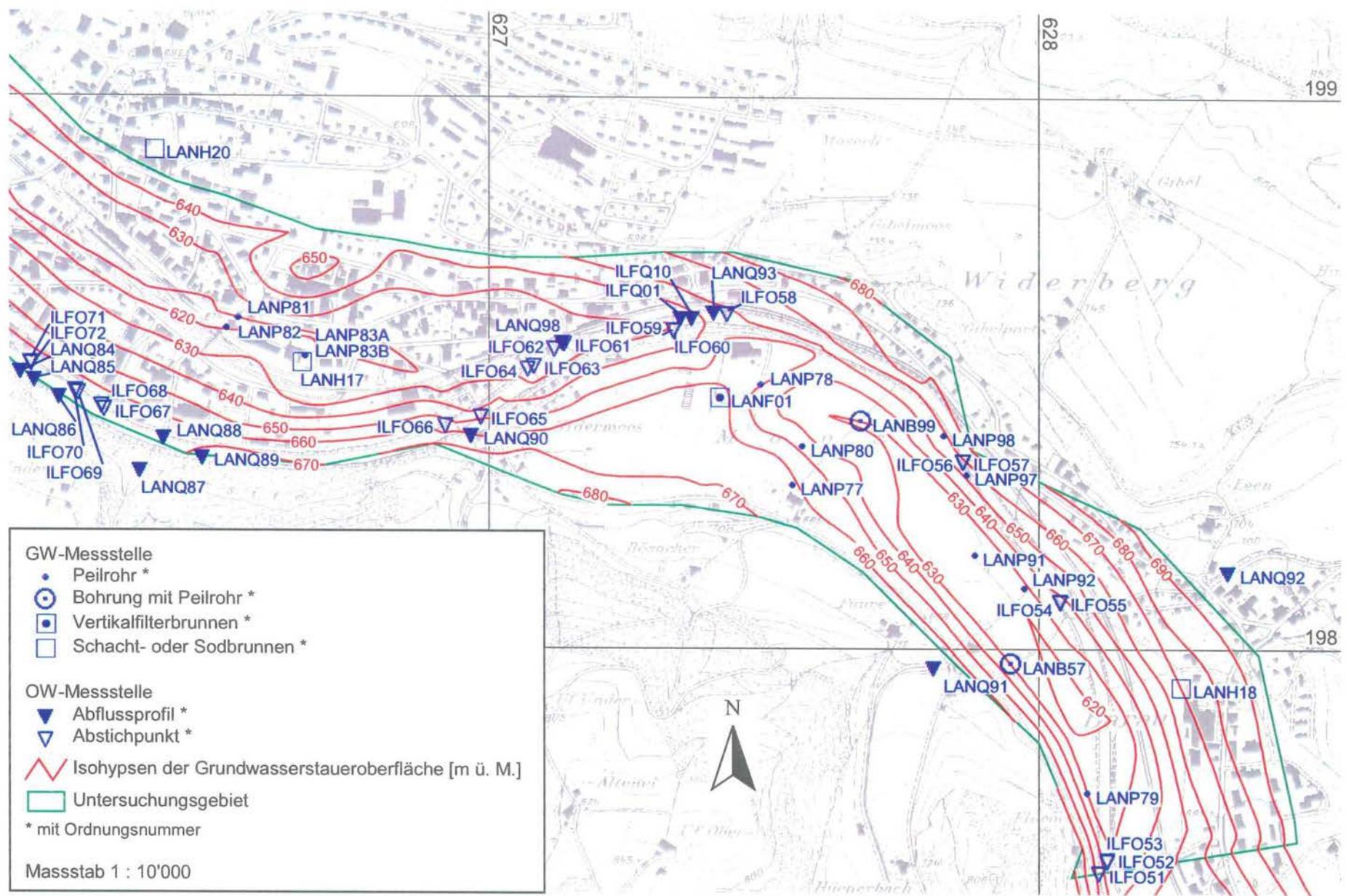


Figur 2.13: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Schüpbach-Schachen (Signau)

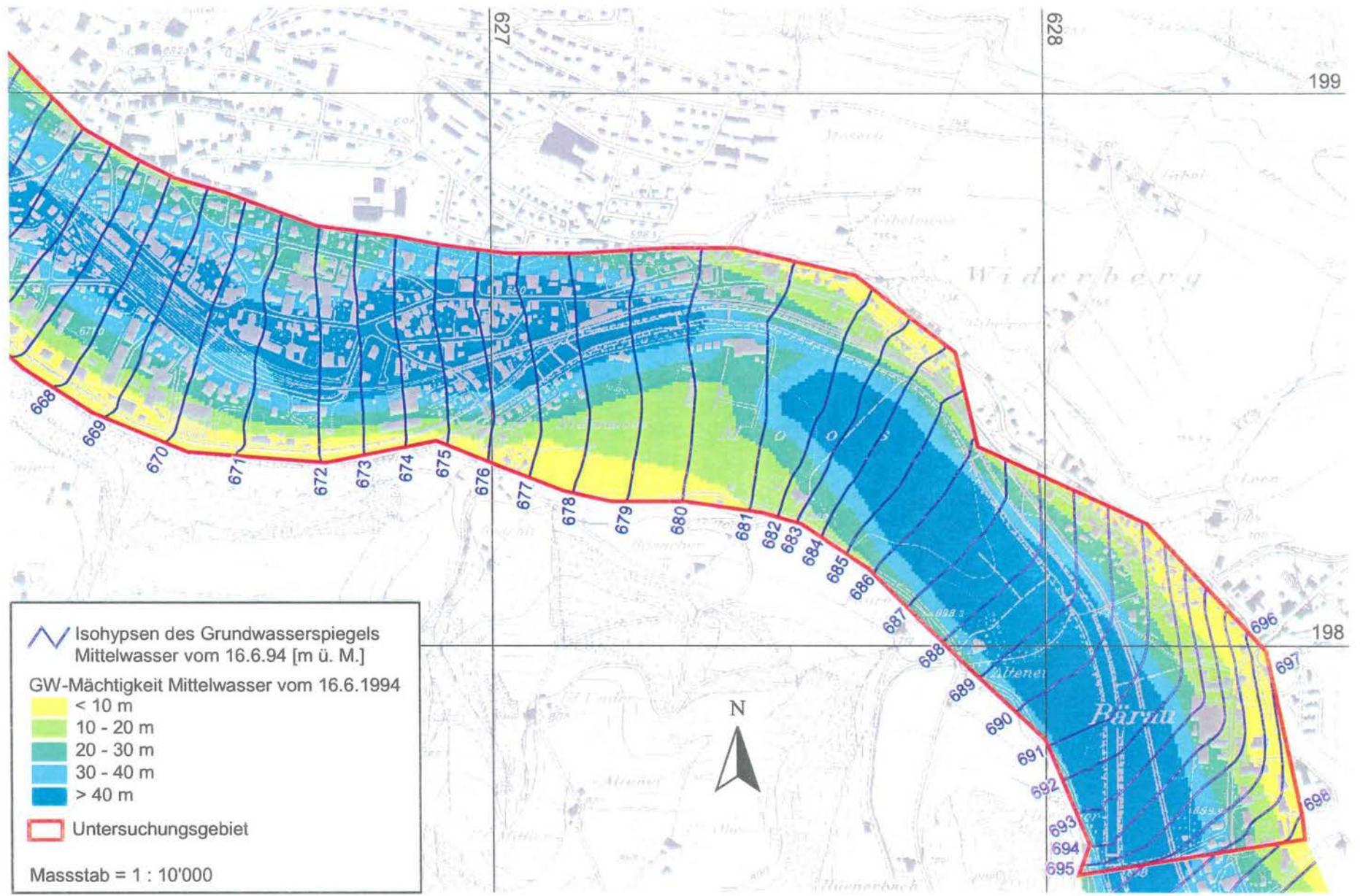


Figur 2.14: Isohypsen der Grundwasserstaueroberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Winkelmatte

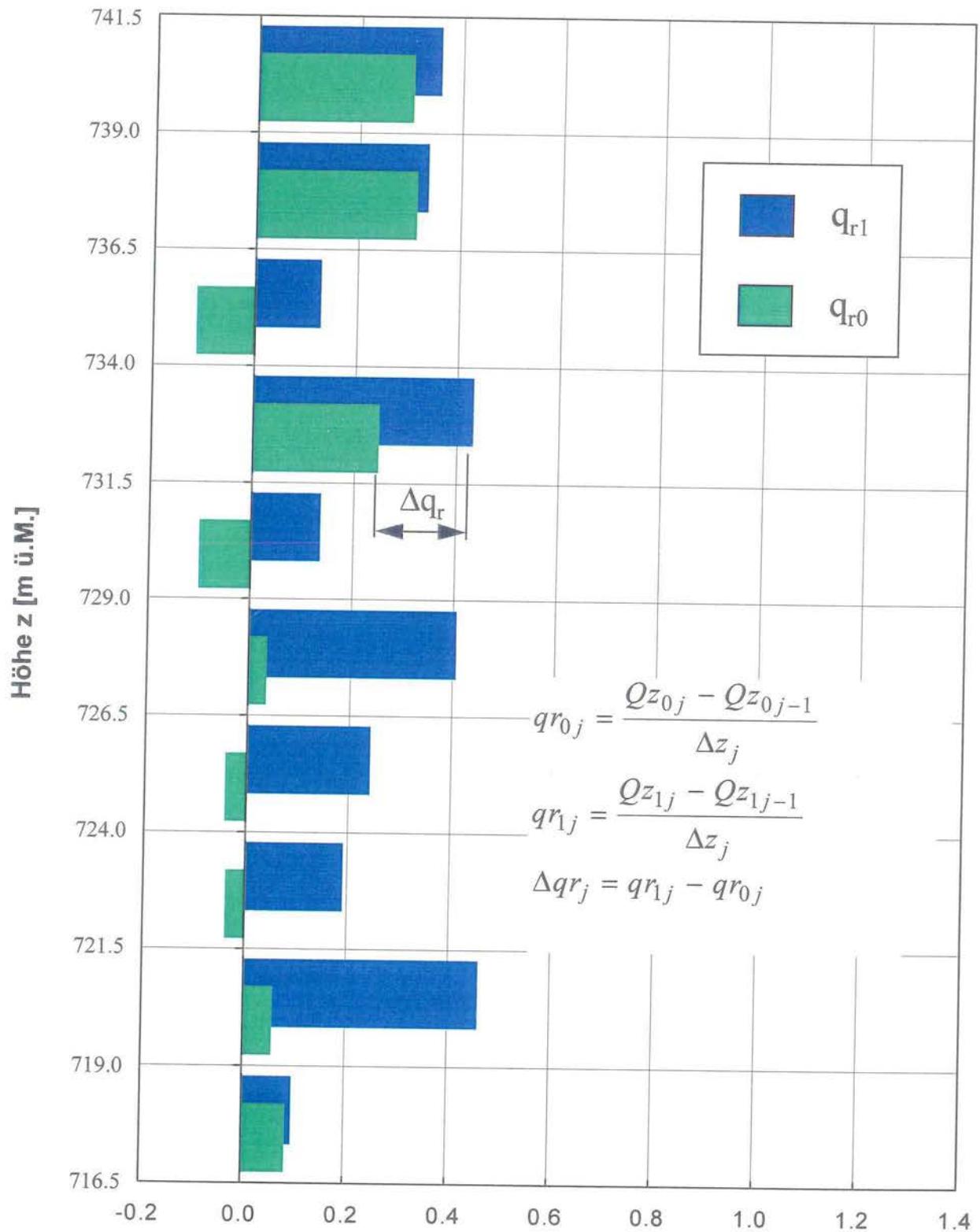




Figur 2.16: Isohypsen der Grundwasserstauoberfläche, Messstellen für Grund- und Oberflächenwasser, Ausschnitt Langnau

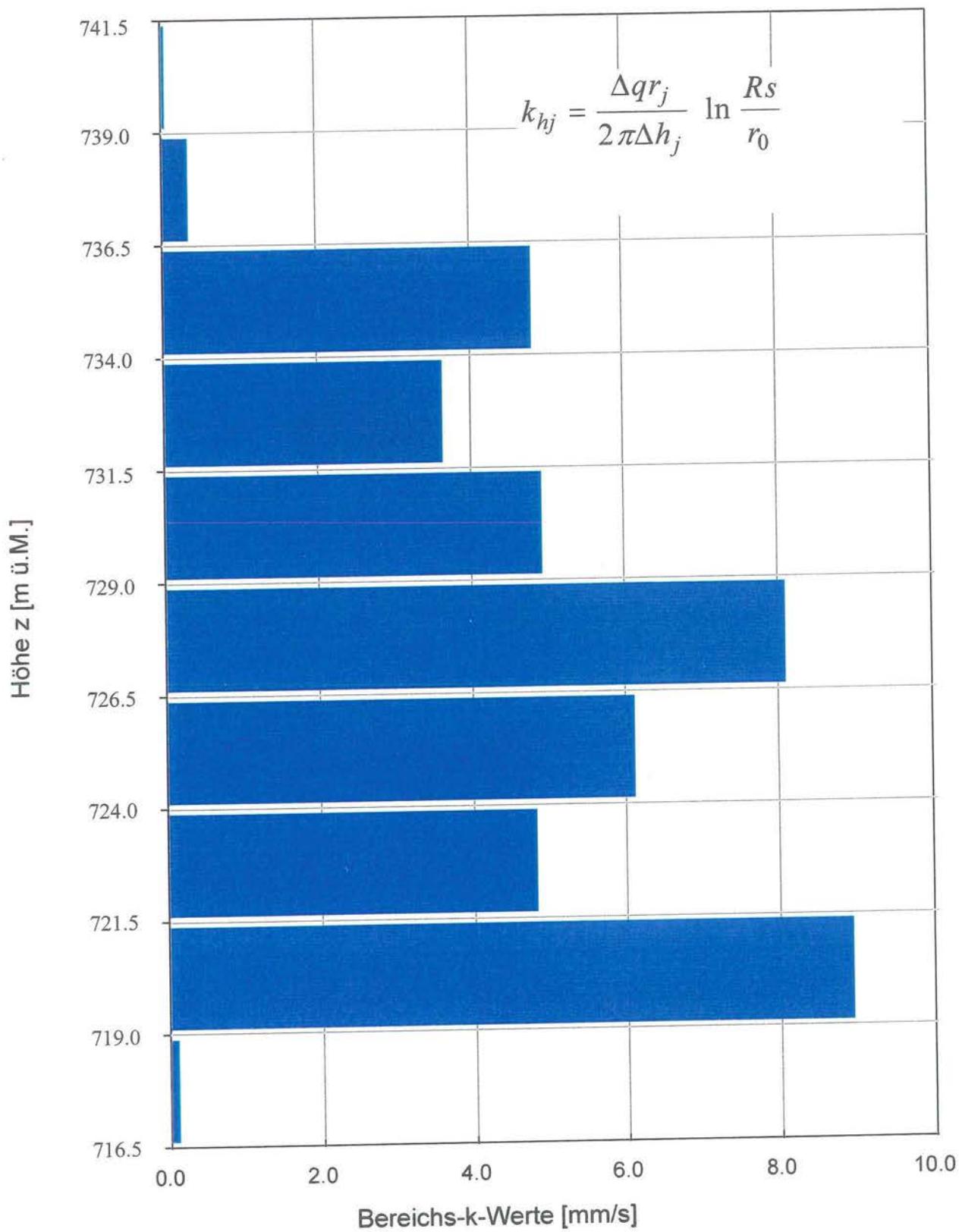


Figur 2.17: Isohypsen des Grundwasserspiegels und Mächtigkeit des Grundwasserkörpers vom 16.6.94, Ausschnitt Langnau



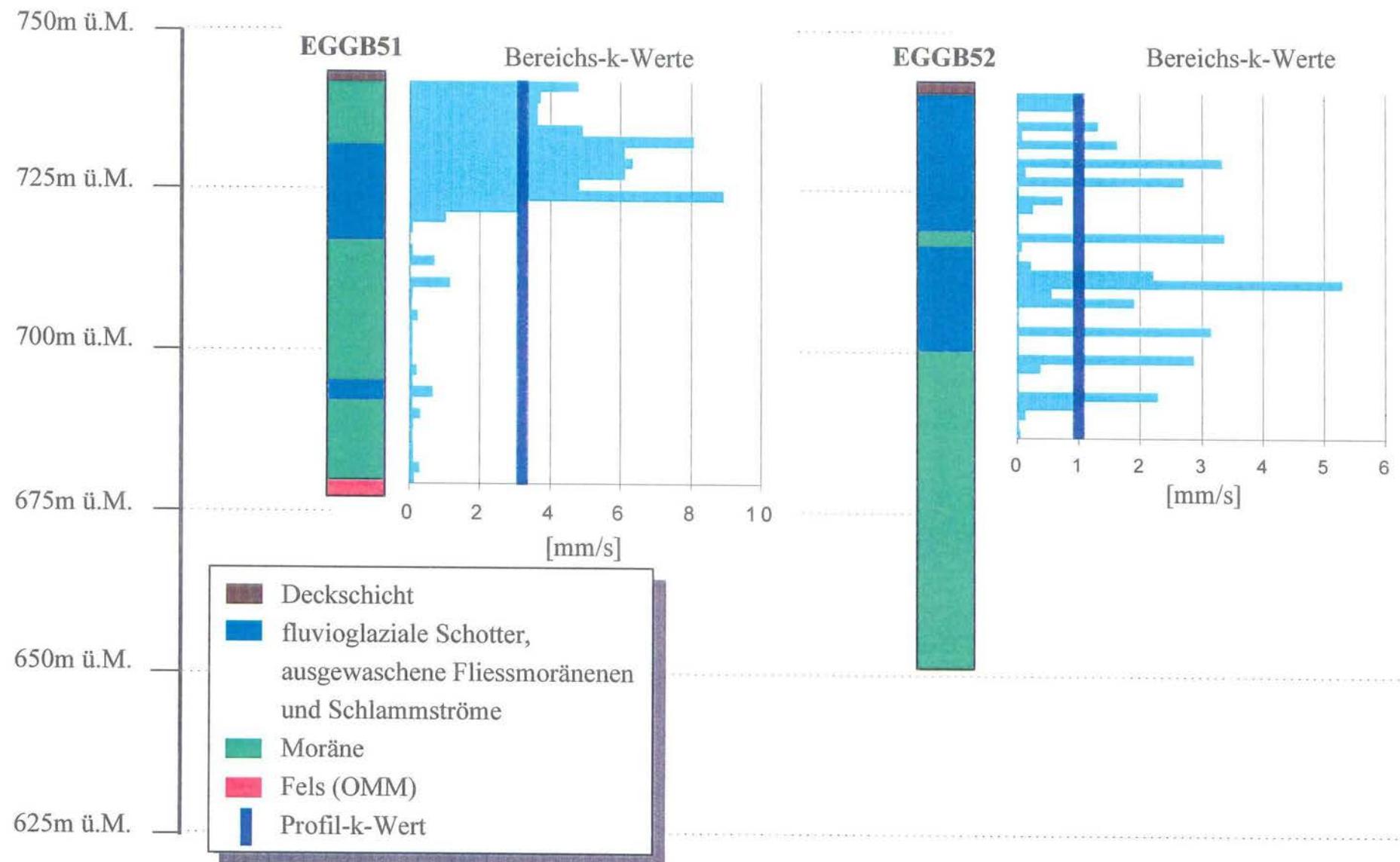
Figur 2.18: Radialer Zustrom in die Bohrung EGGB51

(Dabei bedeuten:  $q_{r0}$  = radialer Zustrom ohne Pumpbetrieb,  $q_{r1}$  = radialer Zustrom mit Pumpbetrieb, negative Werte bedeuten Wegfluss aus der Bohrung ins Lockergestein; der Index  $j$  steht für die entsprechende Intervalltiefe)



Figur 2.19: Horizontale Bereichs-k-Werte in der Bohrung EGGB51

(Dabei bedeuten:  $k_h$  = horizontaler Bereichs-k-Wert,  $R_s$  = Reichweite der Absenkung (Berechnung vgl. [11]),  $r_0$  = Radius der Bohrung,  $\Delta h_j = h_{j0} - h_{j1}$  = Differenz der Standrohrspiegelhöhen vor und bei Pumpbetrieb (der Index j steht für die entsprechende Intervalltiefe))



Figur 2.20: Genetische Klassierung und Flowmetermessung (Situation vgl. Fig. 2.1)

Die Profil-k-Werte (d.h. die über das Bohrprofil gemittelten Bereichs-k-Werte) im Untersuchungsgebiet liegen im Bereich zwischen 0.5 und 5 mm/s. Im Gebiet um Eggiwil ist die Durchlässigkeit eher gering und liegt zwischen 0.5-2 mm/s. Im Gebiet zwischen Aeschau und Emmenmatt ist der Grundwasserleiter mit Werten zwischen 2-5 mm/s gut durchlässig. Im Konfluenzgebiet von Emme und Ilfis liegt die Durchlässigkeit bei 3 mm/s und bei Langnau im Ilfistal zwischen 2 und 3 mm/s.

Die mittlere Grundwassermächtigkeit beträgt 20 m bei Aeschau und 60 m bei Winkelmat.

Tabelle 2.1 enthält eine Bilanz der Grundwasserzu- und Wegflüsse bei Mittelwasser.

	Zufluss [l/s]	Wegfluss [l/s]
Zuflussprofil 1: Heidbühl (Emme)	88	----
Zuflussprofil 2: Gärbi (Röthenbach)	124	----
Zuflussprofil 3: Signau	42	----
Zuflussprofil 4: Bärau (Ilfis)	375	----
In-/Exfiltration	1469	661
Direkte GW-Neubildung	123	----
Indirekte GW-Neubildung	352	----
Entnahme Fassungen Aeschau	----	400
Abfluss Quellfassungen Brunnmatt/Ey in die Emme	----	100
Wegflussprofil Emmenmatt (Emme)	----	1412
Summe	2573	2573

Tabelle 2.1:  
Grundwasserbilanz Mittelwasser  
(wegen der geringen Entnahmemengen (vgl. Tab. 2.2) sind die GW-Fassungen Schachen, (Signau) und Niedermoos (Brunnen Moos I; Langnau) nicht aufgeführt); vgl. Fig. 2.21

Die im Durchschnitt zu- bzw. wegfließende Wassermenge beträgt gemäss den Modellberechnungen rund 2,6 m<sup>3</sup>/s. Die Infiltration von Flusswasser in das Grundwasser ist mit ca. 1,5 m<sup>3</sup>/s der weitaus grösste Zufluss.

In der Figur 2.21 ist der Grundwasser-Durchfluss für 6 verschiedene Profile dargestellt. Die Säulendiagramme zeigen den berechneten Durchfluss in Litern pro Sekunde durch einzelne Stromstreifen eines Profils. Im

Profil selbst ist die Summe des Durchflusses dargestellt. Gut zu sehen sind die durch In- und Exfiltration sowie Entnahmen verursachten Schwankungen der Durchflussmengen. Die Grundwasser-Durchflussmenge beträgt oberhalb der GWB-Fassungen 392 l/s und unterhalb 266 l/s. Die Strömungsmodellierung zeigt (vgl. 3.12): Ungefähr 25 % des geförderten Wassers stammen aus dem Grundwasser, der Rest infiltriert aus der Emme. Dies bestätigen Größenordnungsmässig auch diese Durchflussberechnungen.

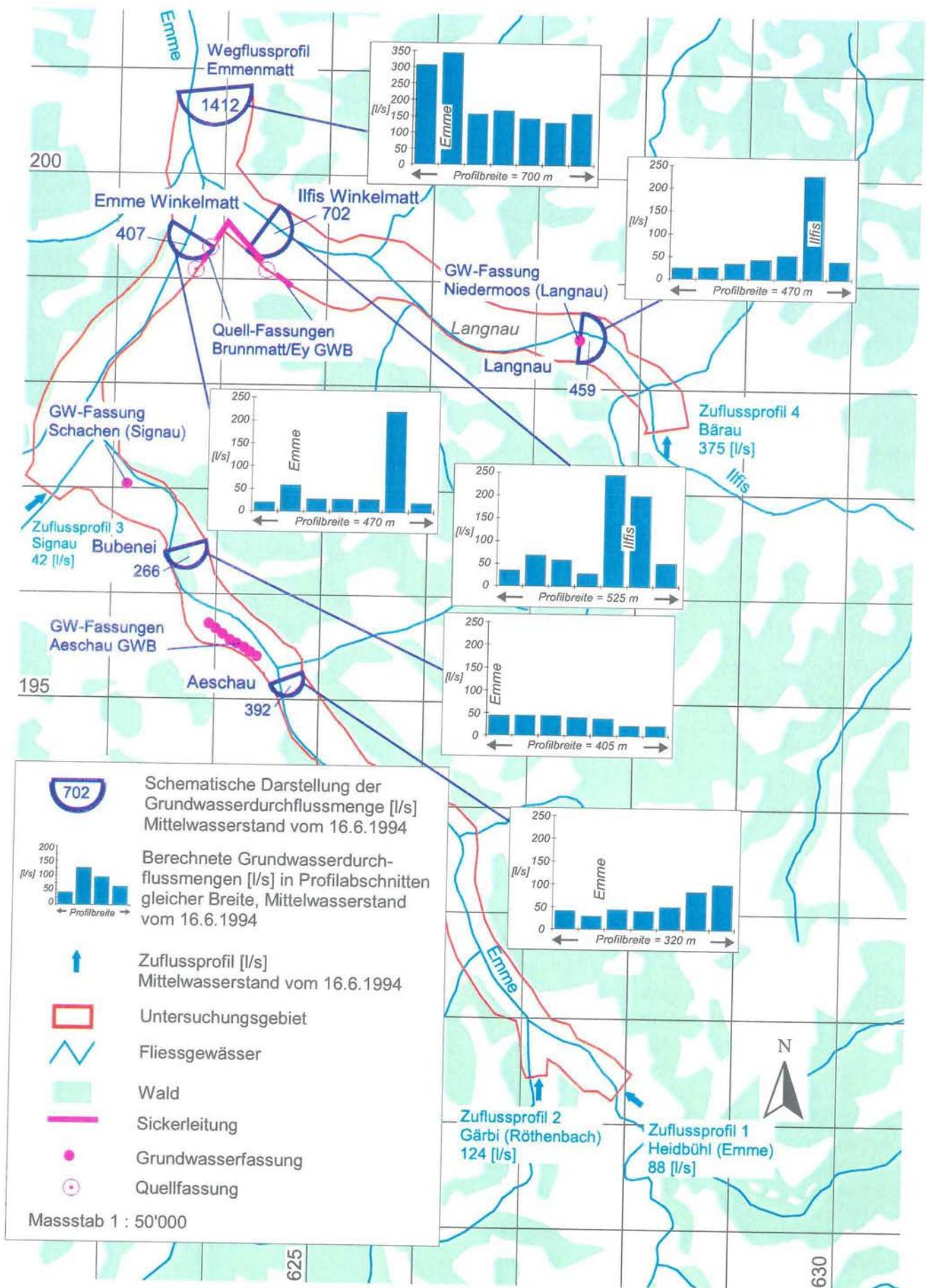
Die Güte eines geeichten Modells wird anhand des Vergleichs von berechneten mit unabhängigen, d.h. für die Eichung und Berechnung nicht verwendeten Messdaten kontrolliert. Im Fall eines Grundwassermodells sind dies Fluss- oder Wasserspiegeldaten.

Die Figur 2.22 zeigt den Vergleich von gemessenen und berechneten Grundwasserspiegel-Ganglinien. In der Figur sind die Ganglinien eines Grundwasserpegelschreibers bei Eggiwil (EGGB53), bei Winkelmat (SIGB55) und eines Peilrohrs bei Langnau (LANP78) dargestellt (siehe Figuren 2.1, 2.8, 2.14 und 2.16). Die Diagramme zeigen eine über weite Bereiche sehr gute Übereinstimmung. Das bedeutet, dass das verwendete Grundwassermodell die zeitlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels gut simulieren kann und somit auch für die Simulation bzw. Prognose stationärer Szenarien, wie die Veränderung einer Entnahmemenge, die Ausbreitung einer Schadstoffwolke im Grundwasser oder die Berechnung einer Abflussganglinie, verwendet werden kann.

Das Speicherverhalten des Grundwasserleiters, das vor allem von dessen Porosität abhängt, kann also in sehr guter Näherung simuliert werden.

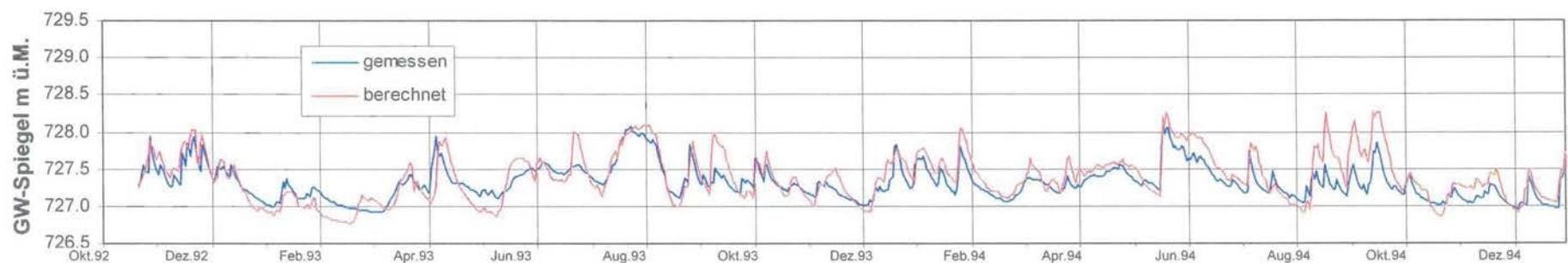
In der dritten Graphik in Figur 2.22 (LANP78) wurde der Grundwasserspiegel nicht wie bei den beiden anderen Beispielen mit einem Pegelschreiber erfasst, sondern periodisch mittels Lichtlot gemessen. Die Punkte in der Ganglinie des gemessenen Grundwasserspiegels bezeichnen die Messungen.

Die nutzbare Porosität im Untersuchungsgebiet liegt im Bereich zwischen 10 und 30 %.

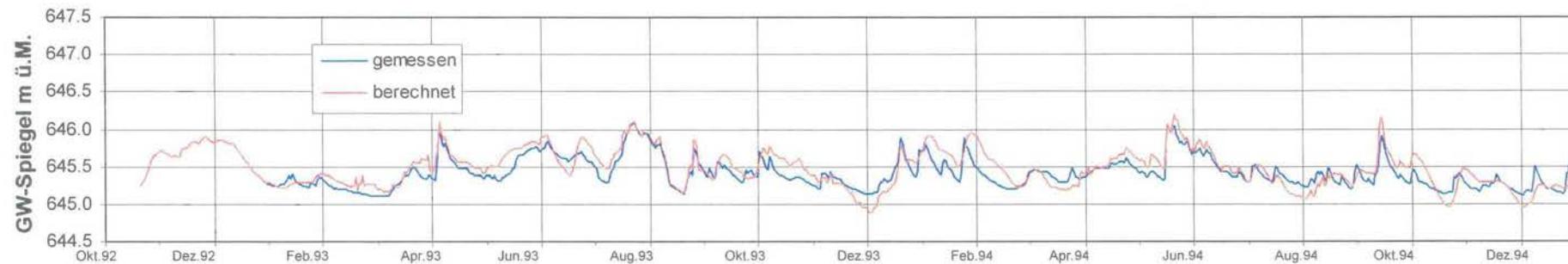


Figur 2.21: Grundwasserdurchfluss in ausgewählten Profilen, Mittelwasserstand vom 16.6.1994  
 (Alle Werte in l/s); Zuflussprofile (1 bis 4); vgl. Tab. 2.1

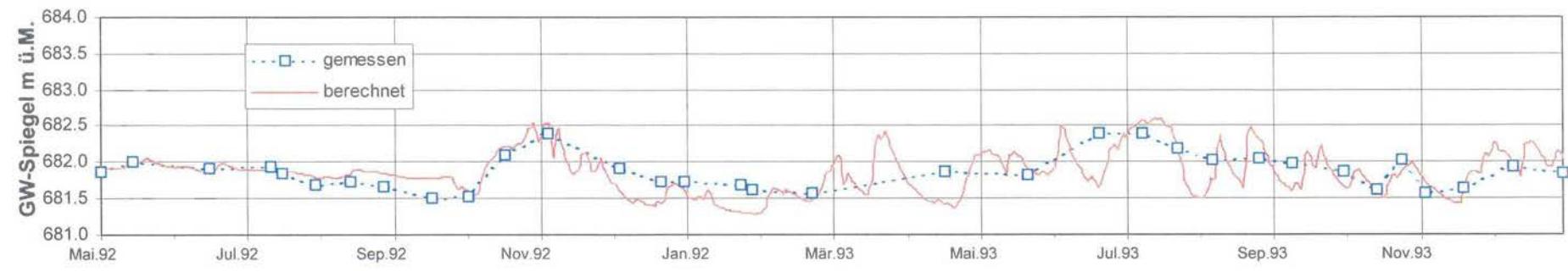
Limnigraph EGGB53 1992-1994



Limnigraph SIGB55 1992-1994



Bohrung LANP78 mit periodischen Messungen 1992-1993



Figur 2.22: Berechnete und gemessene Grundwasserspiegel-Ganglinien (Situation siehe Fig.2.1 sowie 2.16)

## 2.4 Hydrologie

Folgende hydrologische Informationen sind zur Erstellung eines Grundwasser-Nutzungs- und -Schutzkonzeptes erforderlich:

- Niederschlag
- Verdunstung
- Grundwasserneubildung
- Abflussregime der Oberflächengewässer

Die langjährige mittlere jährliche Niederschlagsmenge für die Klimastation Langnau (vgl. Fig. 2.1) beträgt ca. 1260 mm [56]. Die Jahressummen des Niederschlags liegen während des Untersuchungszeitraumes 1992 bis 1994 (1992: 1295 mm, 1993: 1414 mm, 1994: 1479 mm) um 2.5, 12 und 17% über dem langjährigen Mittel.

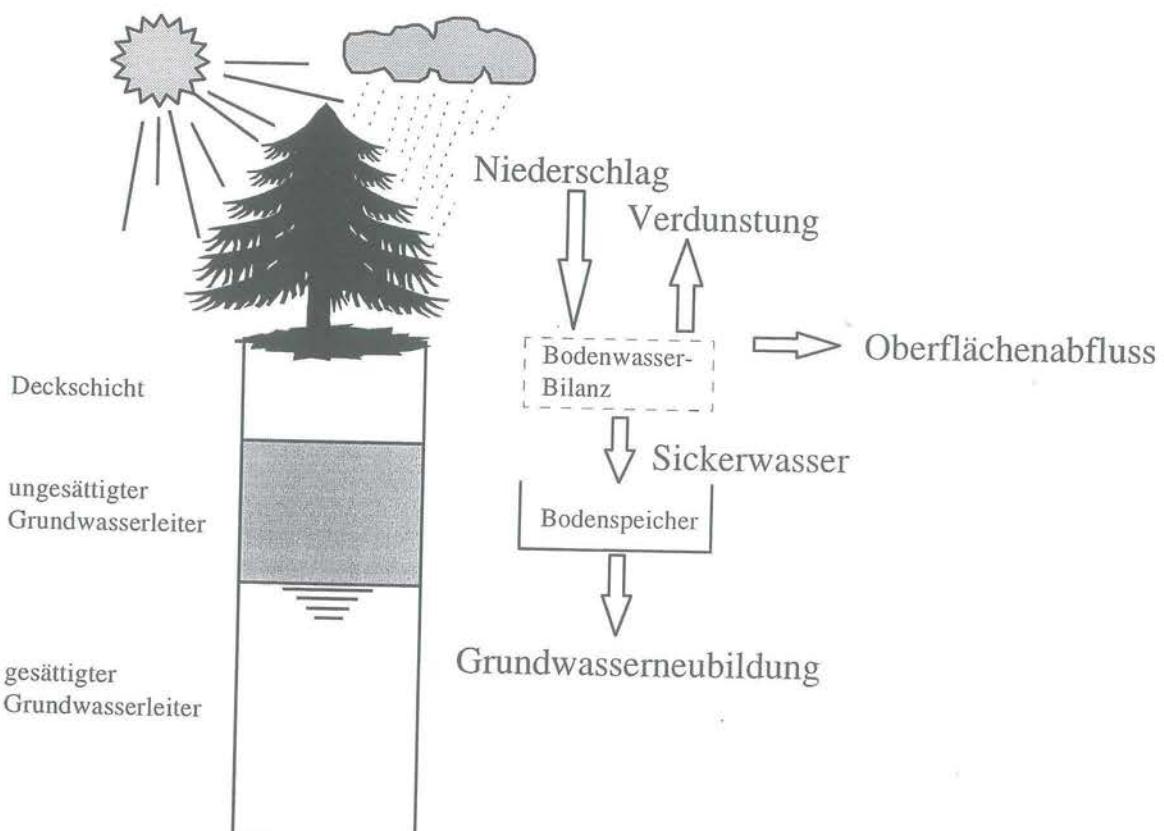
Die Klimastation Langnau liegt im Ilfistal auf 700 m ü.M am Rand des Untersuchungsgebietes und ist deshalb bezüglich des Niederschlags nur beschränkt repräsentativ für das ganze Gebiet. Aus diesem Grund wurde für die Dauer des Untersuchungszeitraumes auf der Hohwacht, an zentraler Lage im Untersu-

chungsgebiet auf 1030 m ü.M., eine zusätzliche Niederschlags-Messstation eingerichtet (vgl Fig. 2.1). Im Jahr 1993 verzeichnete diese eine Niederschlagshöhe von 1494 mm, 80mm mehr als Langnau. In Figur 2.24 sind die Tagessummen des Niederschlags für die Stationen Langnau und Hohwacht des Jahres 1993 dargestellt.

Nur ein Teil des Niederschlags, der auf die Erdoberfläche auftrifft, durchsickert die Deckschichten sowie den ungesättigten Teil des Grundwasserleiters und speist den Grundwasserstrom.

Der restliche Niederschlag fliest oberflächlich ab, verdunstet oder wird dem Boden durch Pflanzen entzogen

In Figur 2.23 ist das konzeptuelle Modell der Grundwasserneubildung vereinfacht dargestellt. Der Oberflächenabfluss wird aufgrund der Topologie (Hangneigung) und der Bodenbedeckung in [%] des Niederschlags festgelegt. Die Verdunstung ist hauptsächlich abhängig vom Temperaturverlauf, der Sonneninstrahlung und der Vegetation.



Figur 2.23: Konzeptuelles Modell der Grundwasserneubildung

Für die Berechnung der Grundwasserneubildung muss der Bodenspeicher zweigeteilt werden. Der erste Teilspeicher wird durch die Grobporen des Bodens gebildet. Er entwässert schnell und speist das Grundwasser fast unverzögert. Der zweite Teilspeicher wird von den Mittel- und Feinporen gebildet. Er entwässert wesentlich langsamer. Diese Unterteilung und das möglichst genaue Bestimmen der Volumen der Teilspeicher ist für das Bestimmen der Grundwasserneubildung sehr wichtig. Als direkte Grundwasserneubildung bezeichnen wir den Anteil der Niederschläge, der über dem Grundwasserleiter versickert und das Grundwasser speist (siehe Figur 2.24).

Als indirekte Grundwasserneubildung wird der in den seitlichen Einzugsgebieten versickernde und dem Grundwasserleiter unterirdisch zufließende Niederschlag bezeichnet.

Der Grundwasserleiter Oberstes Emmental ist charakterisiert durch einen im Verhältnis zur Fläche grossen Umfang. Für die Grundwasserspeisung heisst das (vgl. Tabelle 2.1): die direkte Grundwasserneubildung (Flächenzufluss über dem Grundwasserleiter) ist klein verglichen mit der indirekten (Zuflüsse über die Ränder des Grundwasserleiters). Dies wiederum bedeutet, dass den seitlichen Zufluss-Randbedingungen im Modell erheblich grössere Bedeutung zukommt als dem Flächenzufluss.

Im Untersuchungsgebiet befinden sich 6 Abflussmessstationen (vgl. Figur 3.9). Fünf davon, diejenigen der Emme bei Eggiwil (LHG 2409) und bei Emmenmatt (LHG 2070), der Ilfis bei Langnau (LHG 2603), des Ilfiskanals bei Emmenmatt (LPWO88) sowie des Röthenbachs bei Eggiwil (WEA-Nr.627/191.008) standen bereits während des Untersuchungszeitraumes zur Verfügung. Die Messstation in der Emme bei Aeschau (EMMO11) ist seit Herbst 1996 in Betrieb. Sie wird vom GWB betreut. Es stehen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Messdaten zur Verfügung, weil die Eichmessungen noch nicht abgeschlossen sind. Die Messstelle am Röthenbach bei Eggiwil wird vom WEA [65], die restlichen vier werden von der LHG [14] betreut.

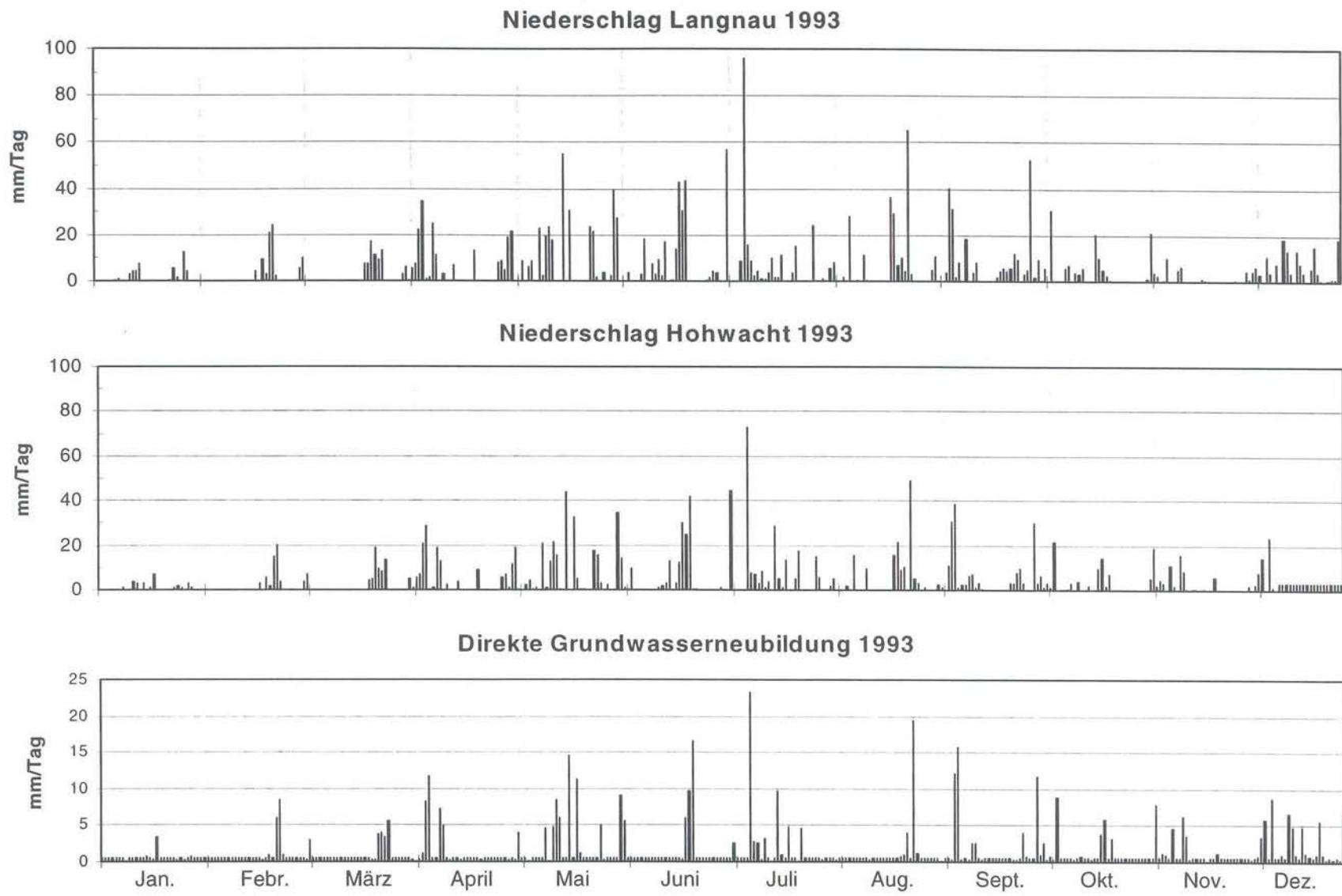
Die Emme hat bei Emmenmatt, also beim Verlassen des Untersuchungsgebiets, einen langjährigen mittleren Abfluss von  $11.8 \text{ m}^3/\text{s}$  (inkl. Ilfiskanal). Während des Untersuchungszeitraumes trat Ende November 1992 ein grosses Hochwassereignis mit einem maxima-

len Tagesmittel von  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  ein. Der absolut grösste gemessene Abfluss während der Periode 1992-94 beträgt in der Abflussmessstation Emmenmatt (LHG 2070)  $260 \text{ m}^3/\text{s}$  (19.Mai 1994).

Die Figuren 2.25 und 2.26 zeigen Aufnahmen der Emme auf der Höhe von Emmenmatt bei Nieder- und Hochwasser. In Figur 2.27 ist die Emme bei Aeschau am 5. August 1992 abgebildet; das Flussbett ist ausgetrocknet.

Die Aufnahmen verdeutlichen die enorme Dynamik dieses Flusses. Das Strömungsverhalten sowohl des Oberflächen- als auch des Grundwassers sowie deren Wechselbeziehung variieren zwischen extremen Nieder- und Hochwassereignissen sehr stark. Somit wird auch klar, wie vorsichtig ein Modell einzusetzen ist, das die überaus komplexe Natur stark vereinfacht und lediglich einige wenige von deren Eigenschaften berücksichtigt.

**Das vorliegende Grundwassermodell ist deshalb vorwiegend für Niederwasserprognosen einsetzbar, während die Zuverlässigkeit von Hochwasserprognosen durch die dabei auftretenden Unsicherheiten stark vermindert wird.**



Figur 2.24: 1993, Niederschlag Langnau und Hohwacht sowie direkte Grundwasserneubildung (Situation der Messstationen vgl. Fig. 2.1)

## 2.5 Wechselbeziehung Oberflächen Gewässer - Grundwasser

Die Flurabstände, d.h. die Abstände Grundwasserspiegel-Terrainoberfläche, sind im obersten Emmental überall kleiner als 4 Meter. Da das Emmebett nicht kolmatiert ist und keine wesentlich abdichtenden Schichten vorhanden sind, bedeutet dies, dass eine direkte hydraulische Verbindung und demzufolge auch eine enge Wechselbeziehung zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser besteht.

In Tabelle 2.2 sind die In- und Exfiltrationsmengen für Emme und Ilfis für Nieder- und Mittelwasser dargestellt. Bei einem Mittelwasserstand infiltrieren zwischen Eggwil und Emmenmatt ca. 790 l/s von der Emme in das Grundwasser. Gleichzeitig exfiltrieren auf dem gleichen Flussabschnitt ca. 284 l/s Grundwasser in die Emme. Bei Niederwasser sinkt die infiltrierte Wassermenge auf 654 l/s und die exfiltrierte auf 266 l/s.

<b>Emme</b>	NW	MW	<b>Ilfis</b>	NW	MW
Eggwil	+418	+390	Flueacher	-42	-73
Diepoldswil	-240	-252	Kraftwerk	+82	+76
Aeschau	+109	+101	Emmenmatt	+382	+352
Bubenei	+127	+121			
Schuepbach	-23	-32			
Emmenmatt	-3	+179			
Summe	+388	+507	Summe	+422	+355

Tabelle 2.2: In- (+) und Exfiltrationsmengen (-) [l/s], (rel. Fehler  $\pm 10\%$ )

Geringe Flurabstände sind einerseits für die Grundwasserentnahme sehr angenehm, da das Grundwasser nur aus relativ geringen Tiefen gefördert werden muss. Andererseits wirkt sich eine geringmächtige ungesättigte Zone im Falle einer Verunreinigung negativ

aus, weil versickernde Verschmutzungen in dieser nur geringfügig abgebaut oder zurückgehalten werden.

Die Beziehung zwischen Grund- und Oberflächenwasser ist im Untersuchungsgebiet geprägt von ständigen örtlichen und zeitlichen Wechseln zwischen In- und Exfiltration. D.h. es lassen sich grossräumig keine ausschliesslichen In- oder Exfiltrationsgebiete ausscheiden. Die Ganglinien des Grundwasserspiegels und der Oberflächenabflüsse lassen sich sehr gut korrelieren. Das bedeutet aber auch, dass Grundwasserentnahmen einen grossen Einfluss auf das Abflussregime der Oberflächengewässer haben.

Figur 3.4 illustriert diesen Zusammenhang am Beispiel der Grundwasserfassungen Aeschau der GWB anhand verschiedener Fördermengen. In Kapitel 3.2.1 wird im Zusammenhang mit dem Nutzungs- und Schutzkonzept ausführlich auf dieses Thema eingegangen.

## 2.6 Siedlungswasserwirtschaft

Die wichtigsten Entnahmestellen im Hinblick auf das Grundwassernutzungs-, -schutz- und -überwachungskonzept im Untersuchungsgebiet sind die Grundwasserfassungen der Stadt Bern (GWB) in Aeschau, die Fassung Schachen der Wasserversorgung Signau, die Fassung Niedermoos der Wasserversorgung Langnau und die Quellfassungen Brunnmatt/Ey (GWB), wobei die Fassung Aeschau mengenmässig am stärksten und die Fassung Niedermoos (Brunnen Moos I) am wenigsten ins Gewicht fällt (siehe Kapitel 3.2.1).

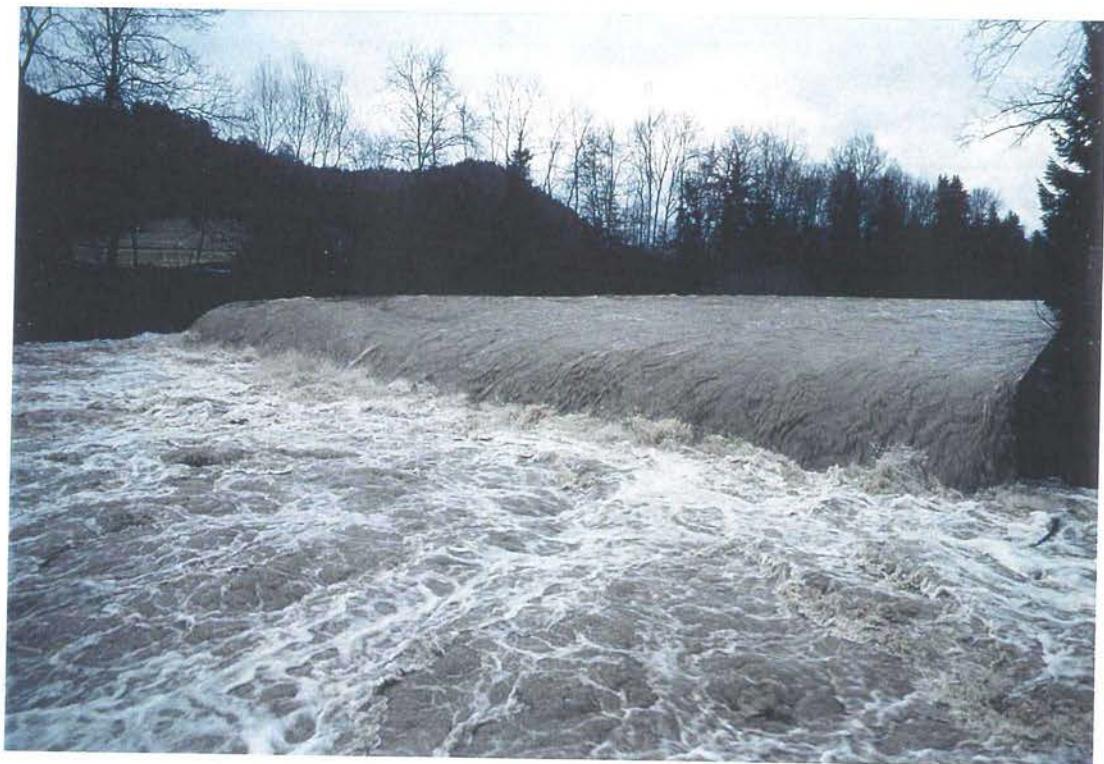
In Tabelle 2.3 sind diese Grundwasserfassungen zusammengefasst.

Name	Konzessionsmenge [l/s]	mittlere Fördermenge [l/s]	Trink (TW)- / Brauchwasser (BW)	z.Zt. in Betrieb (ja/nein)	in Betrieb seit
Aeschau	430	370	TW/BW	ja	1928
Signau	26	4	TW/BW	ja	1953
Brannmatt/ Ey	Quellfassungen	90*	----	ja	1906
Niedermoos	47	2	TW/BW	ja	1954

Tabelle 2.3: Grund- und Quellwasserfassungen der öffentlichen Wasserversorgungen im Untersuchungsgebiet (\* Einleitung in die Emme)



Figur 2.25: Emme bei Emmenmatt, Niederwasser vom 21. 11. 1989  
Foto: B. Sigrist (LHG)



Figur 2.26: Emme bei Emmenmatt, Hochwasser vom 14. 2. 1990  
Foto: B. Sigrist (LHG)



Figur 2.27: Emme bei Aeschau, Niederwasser vom 5. 8. 1992  
Foto: S. Werthmüller (Geotechnisches Institut AG, Bern)

Die Fassungsanlage in der Ramsei bei Aeschau besteht aus einer Reihe von 8 Heberbrunnen. Das geförderte Grundwasser gelangt vorerst in ein Reservoir bei Emmenmatt, wird von dort in die nach Bern führende Leitung gespiesen und der Wasserversorgung der Stadt Bern zugeführt. Die Fördermenge liegt sehr konstant bei ca. 370 l/s, die Konzession wird zu 85% ausgeschöpft.

Die Grundwasserfassung Schüpbach-Schachen gehört der Wasserversorgung Signau. Die konzessionierte Entnahmemenge beträgt 26 l/s. Effektiv gefördert werden im Durchschnitt rund 4 l/s.

Bei den Fassungsanlagen Brunnmatt/Ey handelt es sich um mit Sickerleitungen verbundene Quellfassungen, die an der Grenze Talebene/Terassenrand verlaufen. Die Sickerleitungen liegen zwischen 2 und 6 Meter unter Terrain. Die beiden Leitungen Brunnmatt und Ey vereinigen sich in der Winkelmatte. Von dort führt eine Sammelleitung in das Reservoir in Emmenmatt.

Ursprünglich wurden die Brunnmatt/Ey- und die Aeschauleitung im Reservoir in Emmenmatt zusammengeführt. Spätestens seit 1985 (wahrscheinlich seit 1972) ist die Winkel-

mattleitung ausser Betrieb. Das bedeutet, dass das in die Sickerleitungen in der Brunnmatt und Ey strömende Quellwasser, durchschnittlich zwischen 50 und 100 l/s, seither kurz oberhalb des Zusammenflusses mit der Ilfis in die Emme fliesst. Die grosse Bern-Leitung fasst maximal 430 l/s. Dies entspricht genau der Konzessionsmenge der GWB-Fassungen in Aeschau. Mit der mittleren Fördermenge von 370 l/s wird die Kapazität der Leitung zu 85% ausgenützt. Es steht also z.Zt. nur geringe zusätzliche Kapazität zur Verfügung. Die Wassermenge in der Leitung darf nicht unter 230 - 250 l/s sinken, da sonst die Feuerschäfte der umliegenden Gemeinden nicht mehr gespiesen würden.

Bei der Grundwasserfassung Niedermoos (Brunnen Moos I) in Langnau handelt es sich um einen Vertikalfilterbrunnen. Das geförderte Grundwasser wird heute zum grössten Teil für den Kühlprozess bei der Eisherstellung der Eishalle Langnau verwendet. Die Fassung ist deshalb vor allem im Februar sowie September in Betrieb. Während dieser Perioden erreicht die Fördermenge Maximalwerte von ca. 25 l/s und liegt damit noch weit unterhalb der konzessionierten Menge von 47 l/s.

### 3. NUTZUNGS-, SCHUTZ- UND ÜBERWACHUNGSKONZEPT

#### 3.1 Grundlagen für die künftige Trinkwassergewinnung aus dem Grundwasser

##### 3.1.1 Rechtliche Grundlagen

Im Themenbereich Boden-Gewässer sind mehrere Gesetze und Verordnungen in Kraft, deren Ge- und Verbote in das Nutzungs-Schutz- und Überwachungskonzept integriert werden müssen.

Das Gewässerschutzgesetz von 1991 [53] ist das wichtigste. Es fordert, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen. Unter anderem:

- Es ist verboten, Stoffe, die das Wasser unreinigen können, einzubringen oder versickern zu lassen.
- Die Kantone werden verpflichtet, Gewässerschutzbereiche sowie Schutzzonen und Schutzareale für bestehende oder künftige Grund- und Quellwasserfassungen auszuscheiden.
- Die Kantone sind verpflichtet, dafür zu sorgen, dass einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen wird, als ihm zufließt.

Einige Ausführungsbestimmungen sind in der Allgemeinen Gewässerschutzverordnung von 1972 [49], in der Verordnung über Abwassereinleitungen von 1975 [50], in der Verordnung über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten von 1981 [51] und in der Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen, von 1977/82 [13] aufgeführt.

Auf kantonaler Ebene reglementieren nach Massgabe der Bundesgesetzgebung das Gesetz über die Nutzung des Wassers (WNG, 1950) [25] und die Kantonale Gewässerschutzverordnung (KGV, 1991) [45] die Nutzung und den Schutz des Grundwassers.

Im WNG sind im speziellen die Konzessionsbestimmungen von Gebrauchswasserrechten, die Bewilligung und der Betrieb von Wasser-versorgungs- und Kanalisationsanlagen sowie Bestimmungen zur Reinhaltung der Gewässer aufgeführt.

Die KGV enthält die kantonalen Ausführungsbestimmungen der eidgenössischen Gewässerschutzgesetzgebung und des WNG.

Sauberes Trinkwasser ist eine Lebensgrundlage. Die Anforderungen, die an Lebensmittel gestellt werden, sind in der Lebensmittelverordnung von 1995 [55], im Schweizerischen Lebensmittelbuch von 1985/88 [22], und in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung von 1995 [21] aufgeführt.

Die chemischen und physikalischen Eigen-schaften von Grund- und Oberflächenwasser werden einerseits durch Gestein und Boden im Einzugsgebiet und dem Grundwasserleiter, andererseits aber auch durch anthropogene Einflüsse, v.a. Abgänge aus Haushalt, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft, massgebend bestimmt.

Im Schweizerischen Lebensmittelbuch [22] werden für einzelne Untersuchungsparameter sog. Qualitätsziele und Toleranzwerte, in der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung [21] 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 Überschreitung das Trinkwasser von den Vollzugsbehörden beanstandet wird. Grenzwerte sind Höchstkonzen-trationen von Stoffen, bei deren Überschrei-tung das Trinkwasser für die menschliche Er-nährung als ungeeignet gilt.

Die Höchstkonzentrationen werden normaler-weise entweder als Toleranzwert oder als Grenzwert angegeben, in begründeten Fällen werden beide Werte angegeben.

Wichtige Werte sind:

	Qualitätsziel	Toleranzwert
Nitrat [mg NO <sub>3</sub> /l]	bis 25	40
Oxidierbarkeit [mg KMnO <sub>4</sub> /l]	bis 3	6
Sauerstoffsättigung [%]	über 60	---
Pestizide [ $\mu\text{g/l}$ ]	---	0.1 je Sub-stanz 0.5 Summe

Tabelle 3.1: Wichtige Qualitätskriterien für Trinkwasser [21][22]

### 3.1.2 Quantitative Aspekte

Die, wie erwähnt, gesetzlich vorgeschriebene nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wasserressourcen erfordert eine sorgfältige Festlegung neuer sowie eine kritische Überprüfung bestehender Entnahmekonzessionen. Die Kenntnis der Hoch- und Niedrigwasserabflüsse ist eine wichtige Voraussetzung für die optimale Nutzung unserer Wasservorkommen. Veränderte Wertvorstellungen unserer Gesellschaft haben dazu geführt, dass sowohl an den Schutz, als auch an die Nutzung unserer Wasserressourcen höhere Ansprüche gestellt werden. Daraus ergeben sich Nutzungskonflikte.

Bei den Oberflächengewässern stehen Niedrigwasser vermehrt im Blickpunkt des Interesses, weil die Bundesverfassung seit 1975 in Art.24<sup>bis</sup> die Sicherstellung angemessener Restwassermengen fordert. Im Gewässerschutzgesetz [53] ist vorgesehen, die Mindestrestwassermengen in einer ersten Stufe mit Hilfe der Abflussmenge  $Q_{347}$  zu bestimmen. Diese ist definiert als die Abflussmenge, die gemittelt über 10 Jahre durchschnittlich während 347 Tagen pro Jahr erreicht oder überschritten wird, und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist.

Zwischen Grund- und Oberflächenwasser herrscht in einem grossen Teil der Schweiz eine sehr enge Wechselbeziehung. D.h., dass neben den direkten Eingriffen in das Oberflächengewässer (Kraftwerke, Hochwasserschutz, etc) auch die Dynamik des Grundwassers einen erheblichen Einfluss auf das Abflussregime des Flusses ausübt. Wenn also Trink- oder Brauchwasser aus einem Grundwasservorkommen gewonnen wird und sich infolgedessen der Grundwasserspiegel absenkt, wird sich in den meisten Fällen auch die Abflussmenge eines im Gebiet liegenden Flusses oder Baches verringern.

Im Sinne einer vernünftigen Nutzung unserer Wasserressourcen müssen Grund- und Oberflächenwasser als eine Einheit betrachtet und deren Wechselbeziehung quantitativ abgeschätzt werden.

Die Emme trocknet zwischen Eggiwil und Emmenmatt während längerer Trockenperioden an einigen Stellen natürlicherweise aus [66]. Diese, Fauna und Flora schädigende

Situation wird durch die Grundwasserentnahme in Aeschau verschärft.

Für die Emme bei Aeschau muss im Interesse einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcen die Mindestrestwassermenge bestimmt werden. Nun ist bei Aeschau seit Herbst 1996 eine Abflussmessstelle vorhanden. Der gemessene Abfluss ist hier aber von den Entnahmen des GWB erheblich beeinflusst und somit für die Ermittlung des  $Q_{347}$  nicht direkt brauchbar, weil die Fassungen nicht längere Zeit stillgelegt werden können.

Mit Hilfe eines Modells kann das Strömungsbild ohne Entnahme simuliert werden. Es wurde dafür ein horizontal-ebenes Grundwassermodell eingesetzt, das die 2-dimensionale Grundwasserströmung im gesättigten Grundwasserleiter berechnen kann. Sogenannte Leakage-Elemente ermöglichen auch die Berücksichtigung der In- und Exfiltration bei Emme und Ilfis. Sie weisen eine im Vergleich zu den „normalen“ Elementen des Grundwassermodells stark verringerte Durchlässigkeit auf und berücksichtigen somit den erhöhten Fliesswiderstand bei der Passage der ungesättigten Zone und insbesondere eine allfällige Abdichtung der Flussohle.

Mit diesem Konzept konnten die Oberflächengewässer über eine In- und Exfiltrationsbilanz in die Grundwasserströmungsberechnungen miteinbezogen werden. Das Ergebnis ist in Figur 3.4 in Form von berechneten Abflussganglinien der Emme bei Aeschau für verschiedene Fördermengen in den Fassungen des GWB dargestellt. Die Differenz der beiden Abflussganglinien für Fördermengen von 0 und 400 l/s beträgt in der Abflussmenge der Emme rund 300 l/s. Die Darstellung zeigt also, dass etwa 75 % der in Aeschau geförderten Wassermenge von rund 400 l/s Uferinfiltrat aus der Emme ist und lediglich rund 25 % als echtes Grundwasser bezeichnet werden kann. D.h. bei einer Fördermenge von 400 l/s wird die Abflussmenge der Emme 1992 um rund 300 l/s (max. etwa 330 l/s) reduziert.

Die Größenordnung der berechneten Abflüsse und die Differenz der Ganglinien zeigt, dass der Einfluss der Entnahme auf den Niedrigwasserabfluss, und somit natürlich auch auf die Häufigkeit der Austrocknung der Emme, erheblich ist. Letzterer Aspekt wird in Kapitel 3.2.1 ausführlich diskutiert.

### 3.1.3 Qualitative Aspekte

Grundwasservorkommen und Quellen, die ihnen entspringen, decken heute im Kanton Bern 98% (!) des Trink- und Brauchwasserbedarfs. Gesamtschweizerisch sind es 82%; davon müssen 46% nicht, und 40% nur einstufig aufbereitet werden. Dabei handelt es sich jedoch oft nur um eine vorbeugende Massnahme, um bei Betriebsstörungen und Unfällen eine Verkeimung in den Leitungsnetzen zu verhindern [17]. Man hat in der Schweiz jedoch zunehmend Schwierigkeiten, eine hygienisch einwandfreie, preisgünstige Trinkwasserversorgung sicherzustellen, weil immer mehr nicht oder schwer abbaubare chemische Schadstoffe - u.a. Nitrate, Pflanzenschutzmittel, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe - unser Grundwasser weitläufig qualitativ beeinträchtigen. Dies ist eine Folge unseres in erster Linie auf wirtschaftlichen Erfolg ausgerichteten Denkens und Handelns sowie des fehlenden Willens, uns für den Schutz dieses kostbaren Gutes einzusetzen.

Die Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern hält aber in ihrem Leitbild 1994 klar fest [18]:

„Die Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser ist in normalen Zeiten und in Notlagen sicherzustellen, indem

- die nutzbaren Grundwasservorkommen in Menge und Qualität erhalten werden,
- in Zusammenarbeit mit den Trägern der Wasserversorgungen regionale Nutzungs-konzepte und Wasserversorgungspläne erstellt und umgesetzt werden
- die Planung der Wasserversorgung in Not-lagen vorangetrieben wird.“

Das Grundwasser im obersten Emmental entspricht qualitativ weitgehend den Anforderungen, die an eine Nutzung zur Trinkwassergewinnung gestellt werden. Es handelt sich um ein mittelhartes Grundwasser (Gesamthärte: 15 bis 25°f), das durchgehend oxidierende Verhältnisse aufweist (gelöster Sauerstoff vorhanden).

Es muss festgehalten werden, dass diese generelle Beurteilung nur aufgrund der Analysenresultate der wichtigsten anorganischen Parameter und der Oxidierbarkeit (Summenparameter für die Belastung mit organischen Inhaltsstoffen) erfolgt, die bei flächendecken-

den Beprobungen im Winter 1993/94 und im Sommer 1994 in total 29 Messstellen erhoben wurden (22 Grundwasser- und 4 Quellmessstellen sowie 2 Messstellen in der Emme und eine in der Ilfis). Zur Darstellung der Analysenresultate in den Figuren 3.6a-c wurden aufgrund der im Sommer tendenziell höheren Schadstoffbelastung die im Sommer gemessenen Werte verwendet. Grundwasseranalysen der erwähnten organischen Schadstoffe, wie Pflanzenschutzmittel, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe u.ä., standen uns keine zur Verfügung. Die Risiken einer durch solche Stoffe verursachten Grundwasserverschmutzung sind, verglichen mit anderen Grundwasservorkommen des Kantons Bern, im obersten Emmental relativ klein; typische Gefahrenherde, wie grosse Industriegebiete oder intensiver Ackerbau, fehlen weitgehend. Die enge Wechselwirkung zwischen Emme resp. Ilfis und dem Grundwasser hat auch Auswirkungen auf den Chemismus. Bezüglich der Grundwasserqualität macht sich die Flusswasserinfiltration wie folgt bemerkbar:

- In den flussnahen Grundwassermessstellen sind ausgeprägte saisonale Temperaturschwankungen zu beobachten. In der Bohrung EGGB03 (1km SE Aeschau, vgl. Fig.2.1) beträgt die Temperaturdifferenz zwischen den Messungen Winter 93/94 und Sommer 94 insgesamt 7.4 °C.
- In EGGB03 wurden auch für die Oxidierbarkeit hohe Werte gemessen (Lösungsinhalt an organischer Substanz, summarisch bestimmt anhand des KMnO<sub>4</sub>-Verbrauchs in [mg/l]): 6.1 mg/l im Winter 1993/94 und 8.2 mg/l im Sommer 1994. Diese Werte liegen über dem Toleranzwert für Trinkwasser von 6 mg/l [22]. Der aussergewöhnlich hohe Gehalt an gelösten, organischen Stoffen stammt aus dem infiltrierenden Emmewasser. Die monatlichen Messungen der Emme bei Emmenmatt ergeben 1993 bis 1995 Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff C (sog. DOC-Wert) zwischen 0.8 und 6.0 mg C/l [2]. Ein Fluss sollte nicht mehr als 2 mg/l DOC enthalten [37]. Das Gewässer- und Bodenschutzlabor führt die Belastung der Emme neben den Abschwemmungen aus bewirtschafteten Gebieten insbesondere auf natürlich vorkommende, organische Stoffe aus den Mooren des Emme-Quellgebietes

- im Kanton Luzern, zwischen der Schrattenflue und dem Brienzergrat, zurück.
- Im Grundwasserleiter findet ein Abbau der organischen Stoffe statt, wodurch ein Teil des im Wasser gelösten Sauerstoffs, die Sauerstoffsättigung im Emmewasser liegt bei 100%, verbraucht wird. Dies ist z.B. bei den stark Infiltrat fördernden Fassungen Aeschau der Fall. Hier bewegte sich die Sauerstoffsättigung in den Jahren 1992 bis 94 um die 60%, die als Qualitätsziel für Trinkwasser angegeben werden [22].

Der grosse Anteil an Emmeinfiltrat im Wasser der Fassungen Aeschau macht diese anfällig auf Havarien im gesamten höher gelegenen Einzugsgebiet der Emme. Im Vergleich mit dem Grundwasser ist bei Oberflächengewässern im Falle einer Gewässerverschmutzung die Interventionszeit ungleich viel kürzer. Dies bringt eine vergleichsweise ungünstige Ausgangslage zur Abwehr von Gewässerverschmutzungen mit sich. Die Folgen für die Trinkwasserversorgung sind aber ungleich geringer, weil die Verschmutzung rasch vorbei zieht.

## 3.2 Grundwassernutzung und Grundwasserschutz

### 3.2.1 Öffentliche Grundwasserfassungen

Der weitaus wichtigste Standort bezüglich Grundwassernutzung ist Aeschau. Dort fördert die GWB (Stadt Bern) über eine Heberanlage mit 8 Fassungen seit Inbetriebnahme im Durchschnitt zwischen 350 und 400 l/s aus dem Grundwasser in die Trinkwasserversorgung der Stadt Bern.

Weiter bedeutend sind die Quellfassungen des GWB in Brunnmatt und Ey beim Zusammenfluss von Emme und Ilfis. Dort werden über Quellfassungen und 2 Sickerstränge dem Grundwasser je nach Wasserstand 50-150 l/s entnommen. Dieses Wasser wird jedoch zur Zeit nicht, wie ursprünglich vorgesehen, mit dem Aeschau-Wasser nach Bern geführt, sondern bei Emmenmatt in die Emme geleitet. Direkt oberhalb des Schwimmbades in Langnau liegt die Fassung Niedermoos (Brunnen Moos I), wo gegenwärtig im Mittel

zwischen 1-2 Liter Wasser pro Sekunde gepumpt werden.

Schliesslich existiert in Schüpbach-Schachen eine Grundwasserfassung der Wasserversorgung Signau, aus der im Durchschnitt 4l/s Grundwasser gefördert werden.

In Figur 3.1 sind in einer Übersicht die oben erwähnten Grund- und Quellwasserfassungen mit den konzessionierten Fördermengen und den rechtsgültigen Schutzzonen sowie dem Schutzareal Moos II (Langnau) dargestellt. Die Figuren 3.2a), b), c) und d) zeigen die stromaufwärts nicht begrenzten Zuströmbereiche und Isochronen, berechnet für das Gebiet des Schotter-Grundwasserleiters, nicht aber für das seitliche Einzugsgebiet.

Sollte die Pflicht, Zuströmbereiche auszuscheiden und nötige Schutzvorkehrungen zu verfügen, in einer Verordnung verankert werden, müssten diese für den Schotter-Grundwasserleiter und sein seitliches Einzugsgebiet ausgeschieden werden, wie dies in [27] dargelegt ist. Sollte diese Verankerung scheitern, müssen sich die Wasserversorgungen überlegen, wie sie auf anderem Wege ihre Bezugsorte besser absichern können.

Der Zuströmbereich wird festgelegt durch die Fliesspfade von Wasserteilchen, die sich im Einflussbereich einer Fassung bewegen. Diese werden über eine Rückwärtsrechnung ermittelt. D.h. in einem engen Kreis rund um die Fassung werden mehrere Startpunkte definiert. Aufgrund der Gefällsverhältnisse des Grundwasserspiegels (Absenktrichter) wird der Fliesspfad von den Startpunkten rückwärts berechnet bis zu dem Punkt, wo die Wasserteilchen in das Modellgebiet fliessen. Dies kann z.B. am Modellrand (seitlicher Zufluss) oder in einem Oberflächengewässer (Infiltration) stattfinden.

Die Zuströmbereiche definieren also das Einzugsgebiet einer Grundwasserfassung, d.h. den Teil des Grundwasserleiters sowie der seitlichen Einzugsgebiete, aus dem das Grundwasser der jeweiligen Fassung zuströmt. Ihre Fläche ist abzuschätzen abhängig von der lokalen Grundwasserneubildung ( $l/s \text{ km}^2$ ) und der Entnahmemenge ( $l/s$ ).

In den Figuren ist nur derjenige Teil der Zuströmbereiche dargestellt, welcher innerhalb des Schotter-Grundwasserleiters liegt. Die Zuströmbereiche reichen im allgemeinen über

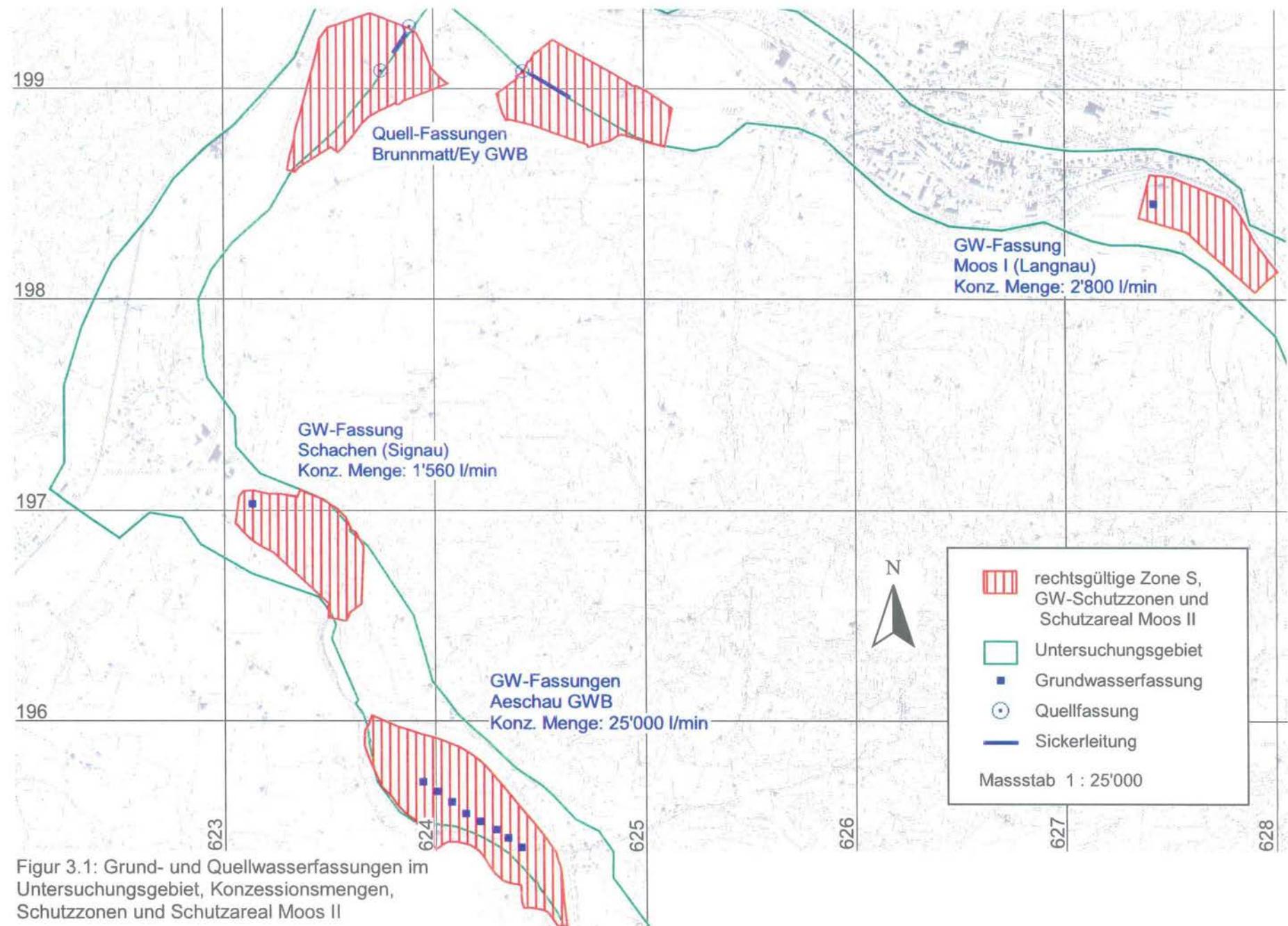
die Grenzen des eigentlichen Grundwasserleiters hinaus.

Mit Zuströmisochronen werden die Linien gleicher Fliessdauer bis zur betreffenden Fassung bezeichnet. D.h. das Grundwasser bzw. eine gelöste Substanz benötigt für den Fliessweg von der 10-Tage-Isochrone bis zur Fassung 10 Tage. Die Darstellungen enthalten die Isochronen bis zur 50-Tage-Linie.

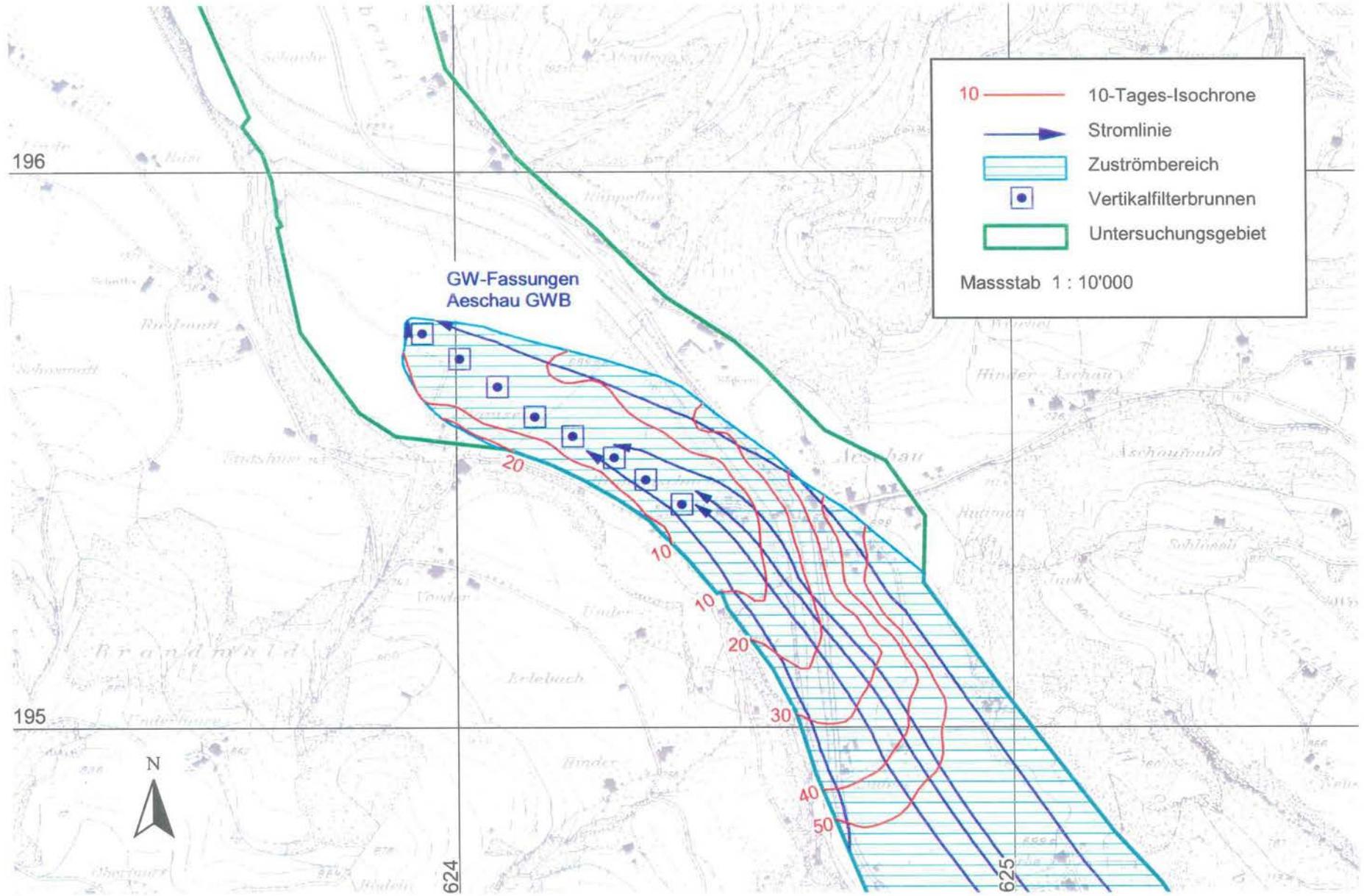
Sowohl die Form der Isochronen als auch der Verlauf der Zuströmpfade werden durch die Eigenschaften des Grundwasserleiters und seiner randlichen Einzugsgebiete wie auch durch die Oberflächengewässer beeinflusst. Unter einem Oberflächengewässer geknickte und in einem Oberflächengewässer beginnende Zuströmpfade zeigen eine Interaktion Grundwasser-Oberflächenwasser (In-/Exfiltration) an. Verlaufen die Isochronen bzw. Pfade jedoch völlig geradlinig bzw. unbeeinflusst, so kann auf Unterströmung des Oberflächengewässers geschlossen werden. In den Figuren sind zur besseren Lesbarkeit nicht alle berechneten Zuströmpfade dargestellt.

Zu berücksichtigen ist, dass den dargestellten Isochronen mittlere Fliessgeschwindigkeiten zugrundeliegen. Wie die Figur 2.20 deutlich zeigt, ist der vertikale Schichtaufbau der untersuchten Schotterablagerungen sehr heterogen, d.h. es gibt Schichten und Bereiche mit wesentlich über oder unter dem Profil-k-Wert (über ein Bohrprofil gemittelte Durchlässigkeit) liegenden Durchlässigkeiten. Das Grundwasser sucht sich den Weg des geringsten Widerstandes. Deshalb fliesst es bevorzugt und mit der grössten Fliessgeschwindigkeit entlang dieser sogenannten präferentiellen Fliesswege. Die hier auftretenden Fliessgeschwindigkeiten können 2 bis 10 mal grösser sein als deren Mittelwert [41]. Somit kann ein Schadstoff im Extremfall in einer 10 mal kürzeren Zeit die Fassung erreichen, als die dargestellten Isochronen anzeigen.

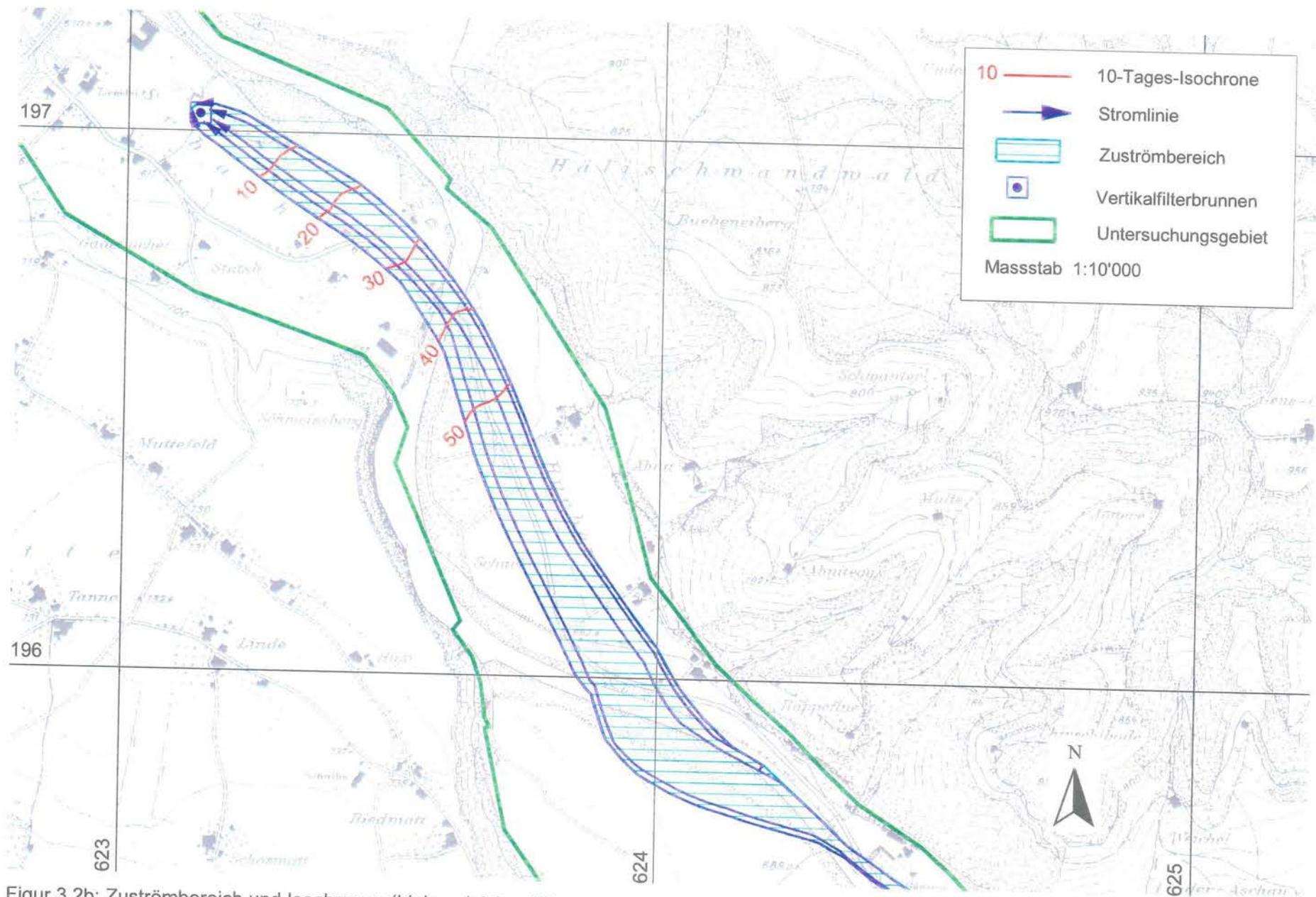
Beim Festlegen der Zuströmbereiche sind deshalb soweit als möglich auch die Heterogenitäten des Grundwasserleiters zu berücksichtigen.



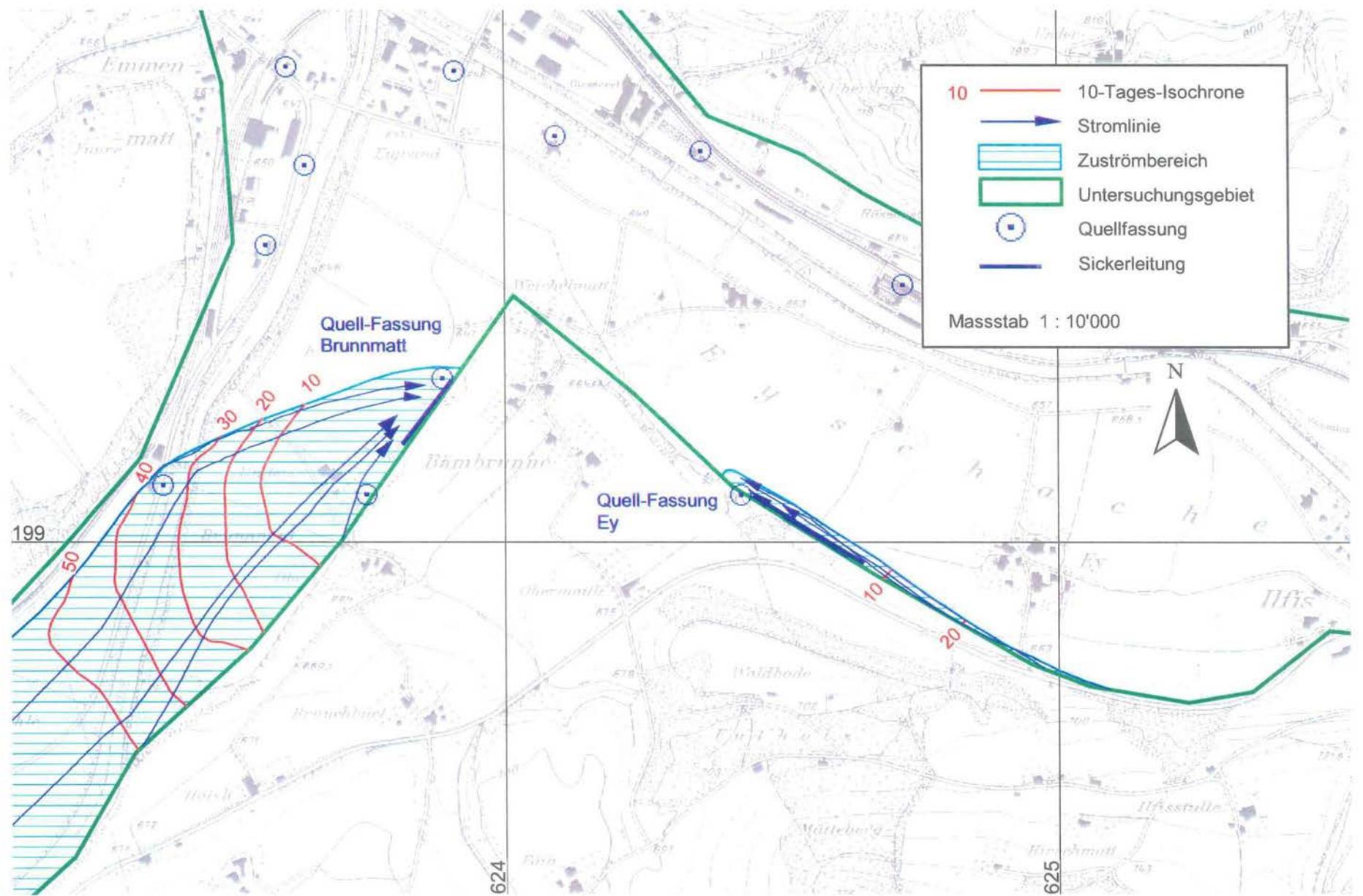
Figur 3.1: Grund- und Quellwasserfassungen im Untersuchungsgebiet, Konzessionsmengen, Schutzzonen und Schutzareal Moos II



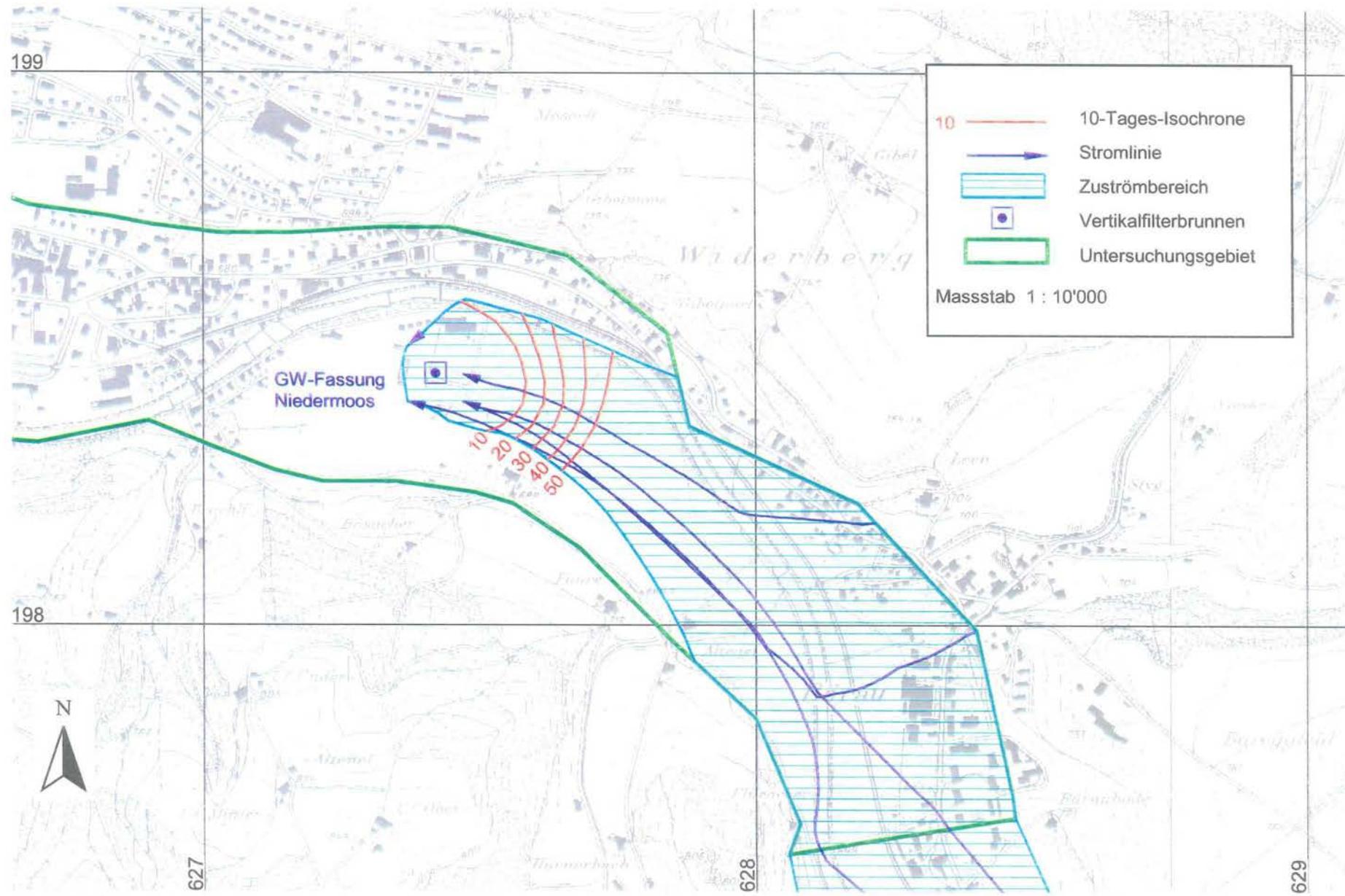
Figur 3.2a: Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fliessdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassungen Aeschau GWB



Figur 3.2b: Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fließdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassung Schüpbach-Schachen (Signau)



Figur 3.2c: Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fließdauer in Tagen bis zur Fassung), Quellwasserfassungen Brunnmatt/Ey der GWB



Figur 3.2d: Zuströmbereich und Isochronen (Linien gleicher Fließdauer in Tagen bis zur Fassung), Grundwasserfassung Niedermoos, Brunnen Moos I (Langnau)

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 dargelegt, wird die Tendenz der Emme, während niederschlagsarmer Perioden auszutrocknen, durch die Grundwasserentnahme der GWB bei Aeschau verstärkt. In der Figur 3.4 ist die Auswirkung einer reduzierten Entnahme auf das Abflussverhalten der Emme dargestellt. Die Figur 3.3a zeigt die Abflussdauerkurve der Emme bei Aeschau, berechnet mit dem Grundwassermodell, sowie die resultierende Abflussmenge  $Q_{347}$ , ohne dass Grundwasser gefördert wird. Allerdings konnten für die Berechnung lediglich die Jahre 1992 bis 1994, also 3 und nicht wie vorgeschrieben 10 Jahre, berücksichtigt werden [53], weil die übrigen Messdaten fehlen. Wie in Kapitel 2.4 dargelegt, liegen die Jahressummen des Niederschlags im Beobachtungszeitraum um durchschnittlich 10.5% über dem langjährigen Mittel. Das bedeutet, dass die berechnete Abflussdauerkurve sowie die berechnete Abflussmenge  $Q_{347}$  verglichen mit auf einer 10-jährigen Datengrundlage basierenden Werten zu hoch sind. Diesem Umstand ist bei einer Extrapolation des berechneten Abflusses  $Q_{347}$  auf 10 Jahre Rechnung zu tragen. Unter der vereinfachenden Annahme, dass Veränderungen des Niederschlags direkt proportional auf den Oberflächenabfluss übertragen werden können, wird die berechnete Abflussmenge  $Q_{347}$  der Emme bei Aeschau somit von 120 l/s auf größenordnungsmässig 110 l/s reduziert.

In Figur 3.3b ist analog zu Figur 3.3a die Abflussdauerkurve der Emme bei Emmenmatt (kurz vor der Einmündung der Ilfis) sowie die daraus resultierende Abflussmenge  $Q_{347}$  dargestellt. Diese beträgt hier 940 l/s. Unter Berücksichtigung der über dem langjährigen Mittel liegenden Jahressummen des Niederschlags (siehe oben) ergibt sich eine Reduktion des  $Q_{347}$  der Emme bei Emmenmatt um 90 auf größenordnungsmässig 850 l/s. Auch dieser Darstellung liegt eine mit dem Grundwassermodell simulierte Situation ohne jegliche menschliche Eingriffe zugrunde.

Artikel 31 des Gewässerschutzgesetzes [53] hält zur Festlegung der Mindestrestwassermenge folgendes fest:

Bei Wasserentnahmen aus Fliessgewässern mit ständiger Wasserführung muss die Restwassermenge mindestens betragen:

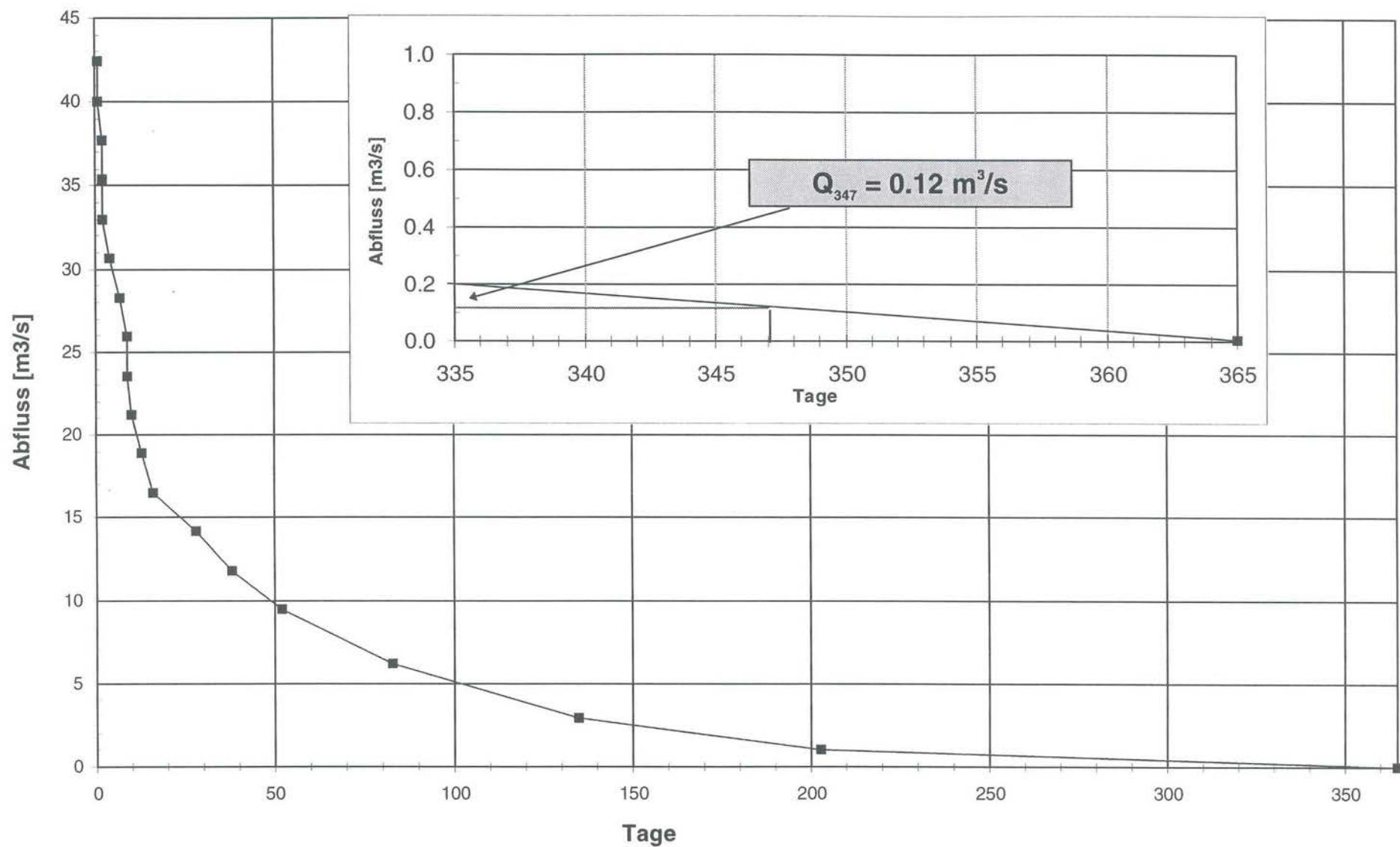
$$\begin{array}{ll} \text{für } 60 \text{ l/s Abflussmenge } Q_{347}: & 50 \text{ l/s} \\ \text{und für je weitere } 10 \text{ l/s} & + 8 \text{ l/s} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{für } 500 \text{ l/s Abflussmenge } Q_{347}: & 280 \text{ l/s} \\ \text{und für je weitere } 100 \text{ l/s} & + 31 \text{ l/s} \end{array}$$

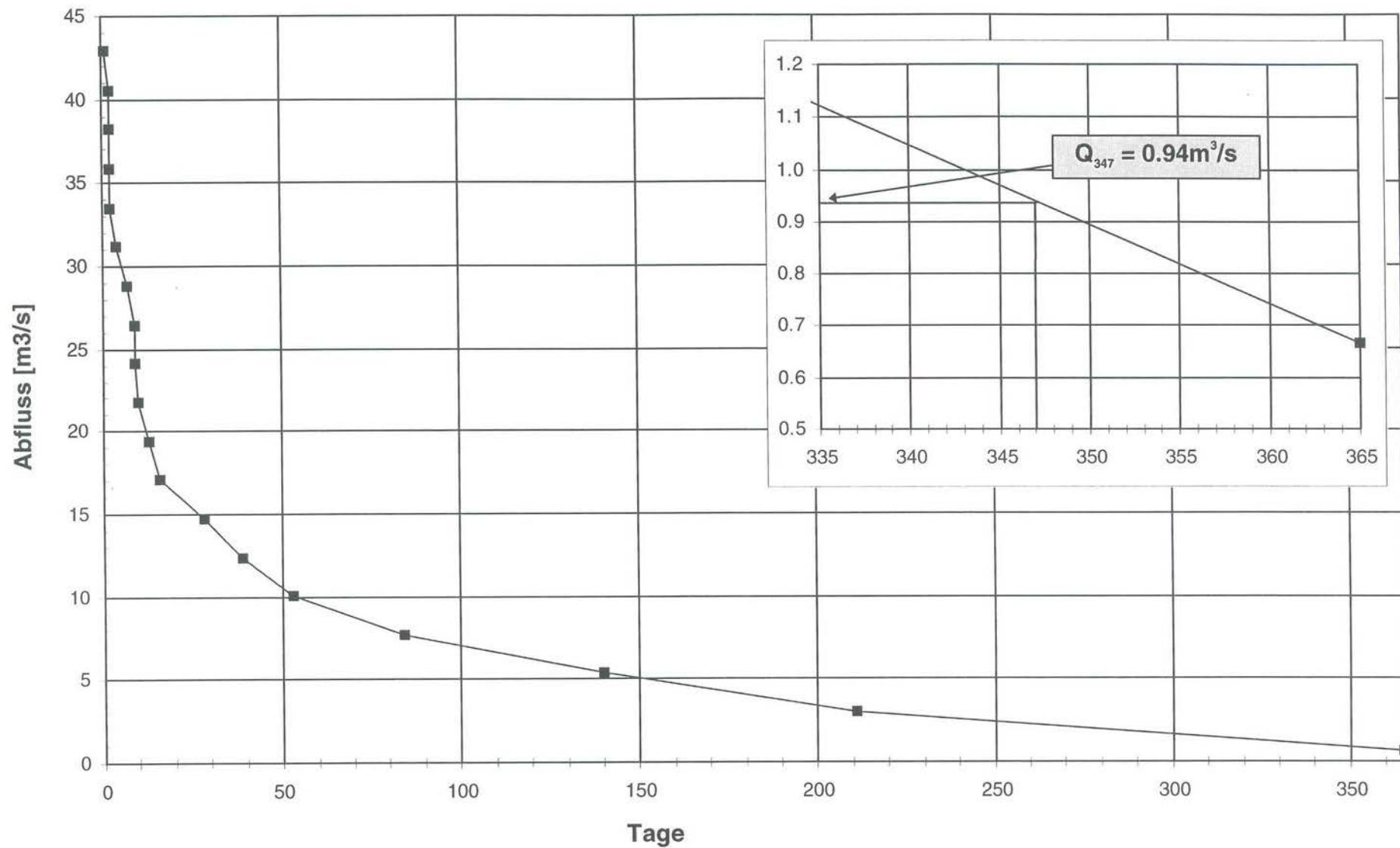
Demzufolge muss die Restwassermenge in der Emme bei einem  $Q_{347}$  bei Aeschau von 120 l/s und bei Emmenmatt von 940 l/s rechnerisch mindestens 106 l/s bei Aeschau bzw. 404 l/s bei Emmenmatt betragen. Wenn die aufgrund der Jahresniederschläge (siehe Kapitel 2.4) gemäss obiger Berechnung reduzierte Abflussmenge  $Q_{347}$  (110 l/s bzw. 850 l/s) zugrundegelegt wird, erhält man für die Emme eine Mindestrestwassermenge von 100 l/s bei Aeschau bzw. 370 l/s bei Emmenmatt.

Diese Werte werden während langanhaltender Trockenperioden jedoch an mehreren Tagen pro Jahr unterschritten.

Die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die erforderliche Mindestabflussmenge der Emme bei Aeschau unterschritten wird, wird durch die Grundwasserentnahme bei Aeschau beträchtlich vergrössert. Figur 2.27 zeigt eine Aufnahme der Emme bei Aeschau vom August 1992, als sie während mehrerer Tage austrocknete. Durch eine Reduktion der Entnahmemenge bei Niederwasser kann dieses Problem erheblich entschärft, jedoch nicht gelöst werden. Auch ohne Entnahme durch das GWB wird die berechnete Mindestrestwassermenge zeitweilig unterschritten, ja die Emme kann sogar austrocknen [66] (vgl. Figuren 3.3a und b).



Figur 3.3a: Mit dem Grundwassерmodell berechnete Abflussdauerkurve der Emme bei Aeschau 1992-1994 und Abflussmenge  $Q_{347}$ ; keine Grundwasserförderung



Figur 3.3b: Mit dem Grundwassерmodell berechnete Abflussdauerkurve der Emme bei Emmenmatt 1992-1994 und Abflussmenge  $Q_{347}$ ; keine Grundwasserförderung

Zu prüfen galt es: könnte die totale Entnahme auf mehrere Gebiete des Grundwasserleiters verteilt werden, könnten z.Bsp. bei Niederwasser als Ersatz die Sickerleitungen in der Brunnmatt und Ey wieder reaktiviert und an die Emmentalleitung angeschlossen werden. Die Gesamtleistung der Emmentalleitung von 26000 l/min kann jedoch in keinem Fall überschritten werden. Vorgängig müsste mit einem praktischen Test die hydraulische Machbarkeit der Reaktivierung der Brunnmatt-/Ey-Fassungen überprüft werden. Die im Folgenden dargelegten Modellsimulationen zeigen jedoch, dass durch die Umverteilung der Fördermenge das Problem ebenfalls umverteilt, nicht jedoch gelöst wird.

Um das Gebiet Brunnmatt/Ey, d.h. die Winkelmatt, wasserwirtschaftlich besser nutzen zu können, wäre es aufgrund der grossen Grundwassermächtigkeiten sinnvoll, einen Vertikalfilterbrunnen zu erstellen. Dafür bietet sich der Standort des Pegelschreibers bzw. der Sondierbohrung SIGB55 (siehe Fig. 2.1 und 2) in der Winkelmatt an, da hier eine Grundwassermächtigkeit von 60 m erreicht wird und mit einem aus der Flowmetermessung berechneten Profil-k-Wert von 3 mm/s eine gute Durchlässigkeit vorliegt.

Aufgrund dieser Überlegungen wurden mit Hilfe des Grundwassermodells zusätzlich zur Simulation des Ist-Zustandes drei Szenarien berechnet:

- a) Die bisher in Aeschau geförderte Grundwassermenge von rund 400 l/s wird je zur Hälfte auf die Fassungen in Aeschau und den neu zu erstellenden Brunnen Winkelmatt aufgeteilt.
- b) Die Grundwasserentnahme des GWB in Aeschau wird aufgegeben. Die 400 l/s werden aus dem fiktiven Brunnen Winkelmatt entnommen.
- c) Geprüft wurde auch der Fall, in dem die Grundwasserförderung des GWB aufgegeben und nur noch der Abfluss aus den Quellfassungen Brunnmatt/Ey in die Emme abgeleitet wird. Diese können mit grösster Wahrscheinlichkeit nicht stillgelegt werden, da sonst das Gelände versumpft.

Auf der Grundlage obiger Varianten wurde mit dem Modell die instationäre Grundwasserströmung für den Untersuchungszeitraum

1992-1994 berechnet, um den Einfluss dieser Szenarien auf den Grundwasserspiegel und die Abflussmengen in der Emme zu ermitteln (vgl. Tabelle 3.2).

Dabei interessieren insbesondere die Abflussmengen der Emme auf der Höhe der GWB-Fassungen in Aeschau sowie in Emmenmatt kurz vor der Einmündung der Ilfis. Sie sind in den Figuren 3.4 und 3.5 für das Jahr 1992 dargestellt.

Figur 3.4 zeigt die Abflussmenge der Emme bei Aeschau für den Ist-Zustand, Szenario a) sowie Szenario c). Demgegenüber sind in Figur 3.5 die Abflussganglinien der Emme bei Emmenmatt für die genannten Zustände dargestellt.

Gut zu sehen ist in Figur 3.4 die durch die Reduktion der Fördermenge in Aeschau auf 200 bzw. 0 l/s bewirkte Erhöhung des Oberflächenabflusses in Aeschau.

Figur 3.5 zeigt die durch die erhöhte Entnahme in Winkelmatt bedingte Reduktion des Abflusses in Emmenmatt (Szenario a). Im Vergleich mit der Situation in Aeschau fällt der in Bezug zur jeweiligen Fördermenge geringere Einfluss der Ableitung der Quellfassungen Brunnmatt/Ey bzw. der Entnahme in der fiktiven Fassung Winkelmatt auf den Emmeabfluss in Emmenmatt auf. Die Differenz der Abflüsse ohne und mit 200 l/s Entnahmemenge beträgt hier im Mittel ca. 90 l/s. Ein Teil dieser Differenz ist auf die Entnahme in Aeschau zurückzuführen. Die Berechnungen zeigen, dass rund 30% des in der fiktiven Fassung Winkelmatt geförderten Wassers infiltriertes Emme- bzw. Ilfiswasser und die restlichen 70% echtes Grundwasser sind.

In Tabelle 3.2 sind die wichtigsten Zahlen zusammengefasst. Sie basieren auf dem Untersuchungszeitraum 1992-1994. Enthalten sind die Nutzungsszenarien a) und b), der Ist-Zustand sowie das Szenario c) ohne Grundwasserförderung durch die Wasserversorgung des GWB. Aufgeführt sind:

- die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen die Mindestrestwassermenge unterschritten wird
- die Anzahl der Tage pro Jahr, an denen das Flussbett austrocknet.

Die Emme trocknet gemäss den Berechnungen während des Untersuchungszeitraumes bei Winkelmatt lediglich bei einer Entnahme

von 400l/s aus der Winkelmat-Fassung aus, während sie bei Aeschau sowohl im Ist-Zustand, als auch bei einer auf 200 l/s reduzierten Entnahme im August 1992, nicht aber ohne Entnahme, trockenfällt. Das Modell gibt hier die realen Ereignisse gut wider, da die Emme in diesem Zeitraum 1992 effektiv während einiger Tage austrocknete (siehe Figur 2.27).

Die Aussage, dass die Emme bei Aeschau ohne Grundwasserförderung durch das GWB nicht trockenfällt, gilt jedoch nur für den Untersuchungszeitraum 1992 - 1994. Wie in Kapitel 2.4 dargelegt, liegen die Jahressummen des Niederschlags in diesem Zeitraum über dem langjährigen Mittel. Dies wird auch durch [66] bestätigt.

Im heutigen Zustand, bei einem mittleren Abfluss der Drainage Brunnmatt / Ey von rund 100 l/s ist der Abfluss der Emme bei Winkelmat während 2 Tagen kleiner als die berechnete Mindestrestwassermenge von

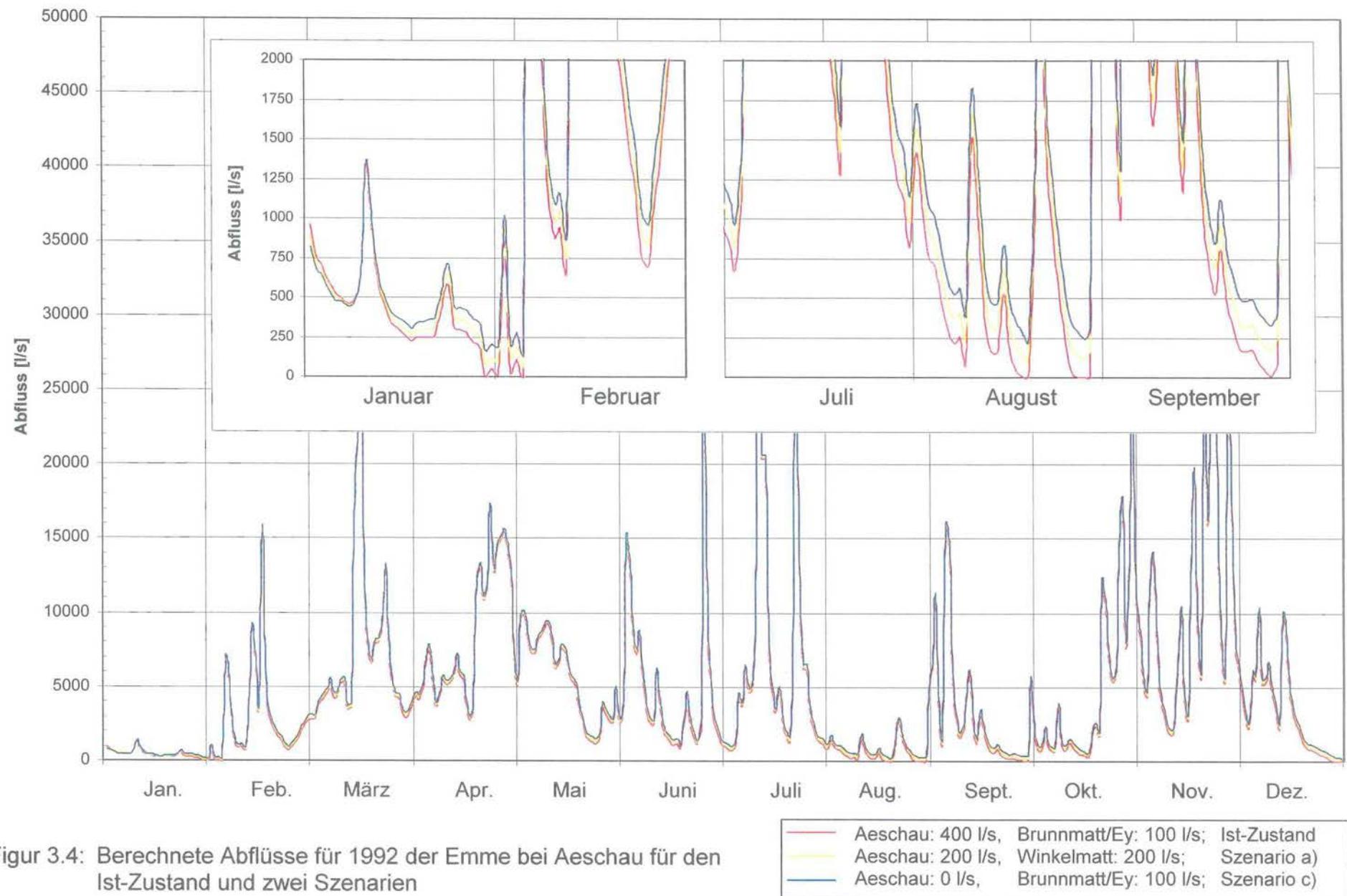
370 l/s. Bei einer Erhöhung dieser Fördermenge auf 200 l/s durch einen fiktiven Brunnen steigt dieser Zeitraum auf 5 Tage an. Aufgrund der durchgeföhrten Berechnungen wird die obenerwähnte Mindest-Restwassermenge bei Aeschau während des Untersuchungszeitraumes bei einer Grundwasserentnahme von 400 l/s an 15 Tagen und bei einer Entnahmemenge von 200 l/s an 9 Tagen unterschritten. Bei einem Verzicht einer Entnahme liegt der Abfluss während des ganzen Untersuchungszeitraumes 1992-1994 über der Mindest-Restwassermenge.

**Es zeigt sich, dass eine Nutzung mit einer Grundwasserfassung in der Winkelmat (Szenario a und b) die Restwasserproblematik nicht entschärft, sondern nur verlagert. Man wird nicht umhin kommen, die Entnahmemenge in Aeschau dem Wasserstand anzupassen bzw. bei Niederwasser zu reduzieren.**

Fördermenge		Unterschreitung der Mindestrestwassermenge (Aeschau:100l/s, Emmenmatt:370l/s)		Austrocknen der Emme		(Ist-Zustand !) Szenario a) Szenario b) Szenario c)
Aeschau	[l/s]	Aeschau	[Tage/Jahr]	Aeschau	[Tage/Jahr]	
Winkelmat		Winkelmat		Winkelmat		
400	100*	15	2	6	0	
200	200	9	5	4	0	
0	400	0	11	0	2	
0	100*	0	1	0	0	

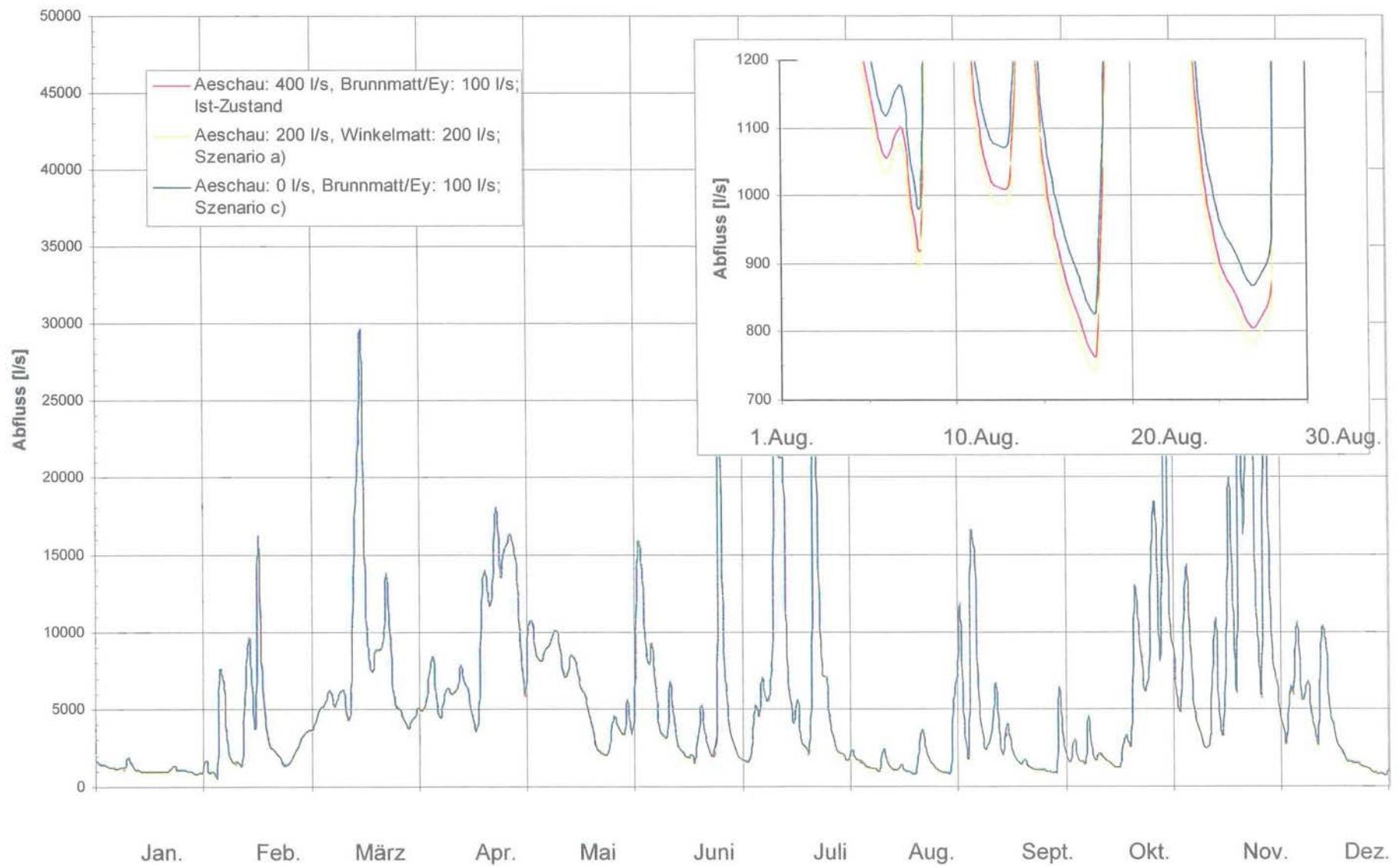
\* Abfluss aus den Sickerleitungen und Quellfassungen Brunnmatt/Ey, der in die Emme eingeleitet wird

Tabelle 3.2: Auswirkungen verschiedener Nutzungsszenarien auf den Abfluss der Emme bei Aeschau und Winkelmat (basierend auf den Abflüssen der Jahre 1992-1994)



Figur 3.4: Berechnete Abflüsse für 1992 der Emme bei Aeschau für den Ist-Zustand und zwei Szenarien

Aeschau: 400 l/s, Brunnmatt/Ey: 100 l/s; Ist-Zustand
Aeschau: 200 l/s, Winkelmatte: 200 l/s; Szenario a)
Aeschau: 0 l/s, Brunnmatt/Ey: 100 l/s; Szenario c)



Figur 3.5: Berechnete Abflüsse für 1992 der Emme bei Emmenmatt für den Ist-Zustand und zwei Szenarien

### **3.2.2 Mögliche Gefahren für die Grundwasserqualität**

#### **Landwirtschaftszone**

Im Vergleich mit anderen Grundwasservorkommen des Kantons Bern ist im obersten Emmental keine grossräumige Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch die Landwirtschaft zu erkennen, die hauptsächlich auf Milch- und Forstwirtschaft ausgerichtet ist.

Im Hauptgrundwasserleiter betrug die Nitratkonzentration im Sommer 1994 zwischen 5 und 16 mg NO<sub>3</sub>/l (das Mittel aller Messstellen beträgt rund 10 mg NO<sub>3</sub>/l, vgl. Figur 3.6b). Die monatlichen Messungen des Gewässer- und Bodenschutzlabors [65] zeigen ferner, dass die Emme bei der Messstelle Emmenmatt eine nur schwache Stickstoffbelastung aufweist (Mittelwert 1994/95: 5.7 mg NO<sub>3</sub>/l), was sich wiederum positiv auf die Grundwasserqualität auswirkt. Um die 60% des Stickstoffs, der in der Emme in Form von Nitrat (NO<sub>3</sub>), Nitrit (NO<sub>2</sub>) und Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) gemessen wird, stammen aus dem landwirtschaftlichen Bereich [2].

Dass die Beeinflussung der Grundwasserqualität durch die Landwirtschaft kleinräumig aber auch gross sein kann, zeigen die relativ hohen Nitratkonzentrationen einiger Quellen. Mit 31 mg NO<sub>3</sub>/l im Winter 93/94 und 35 mg NO<sub>3</sub>/l im Sommer 94 weist die Quell-Fassung Brunnmatt (SIGQQ3; vgl. Fig. 3.6b) eine Nitratkonzentration auf, die bereits nahe beim Toleranzwert für Trinkwasser von 40 mg NO<sub>3</sub>/l liegt. Der über die Grenzen des eigentlichen Grundwasserleiters hinausreichende Teil des Zuströmbereichs weist bis zu den Weilern „Hälischwand“, „Rindsbach“ und „Mättenberg“ eine relativ flache Topographie auf, was im Oberen Emmental die Ausnahme ist (vgl. Figur 3.1). Daher finden sich hier anstelle von Wald und Wiesen vermehrt Äcker, die bei der Nitratauswaschung ins Grundwasser die grössten Probleme bieten [7].

#### **Siedlungsgebiete**

Langnau weist mit Abstand die höchste Dichte an Wohnbauten, Industrie- und Gewerbebetriebe auf. Das Risiko einer Havarie oder eines Brandfalles mit wassergefährdenden Flüssigkeiten ist daher erhöht. Der Chemie-Risikokataster [31] verzeichnet eine kleine

Anzahl Betriebe, bei denen die Gefahr einer Gewässerverschmutzung als klein oder mittel eingestuft ist. Das Abwasser der ARA-Langnau mit 22'000 Einwohnergleichwerten entwässert kurz vor dem Zusammenfluss mit der Emme in die Ilfis.

Die Gemeinden Lauperswil, Signau und Eggiwil zeichnen sich vor allem durch kleine Dörfer und Streusiedlungen aus. Hier sind allenfalls kleinräumige Beeinträchtigungen der Grundwasserqualität durch schadhafte Kanalisationen, Regenwasserentlastungen, Fehlanschlüsse u.ä. möglich.

In den Zuströmbereichen der wichtigsten Grundwasserfassungen (Figur 3.2a - d) finden sich keine schwerwiegende Gefahrenherde.

#### **Verkehrsachsen**

Zwischen Schüpbach und Langnau führt ein Bahntrasse über den Hauptgrundwasserleiter. Eine stark befahrene Kantonsstrasse verläuft an dessen südlichem Rand, quert den Grundwasserleiter in Langnau. Diese Verkehrsachsen dienen dem Transit Bern - Luzern. Unfälle mit Zisternenwagen, die gefüllt mit wassergefährdenden Flüssigkeiten auf Strassen oder Schienen transportiert werden, sind als Ereignisse mit grösserem Schadensausmass einzustufen.

Der Kurzbericht der SBB, ausgearbeitet im Rahmen der Störfallverordnung [54,68], zeigt, dass die Häufigkeit von Störfällen mit schwerer Schädigung für Grundwasserfassungen in der Grössenordnung von  $1 \cdot 10^{-5}$  bis  $1 \cdot 10^{-6}$  pro Kilometer und Jahr liegt. Der Gefährdungsgrad wird mit dem Begriff „hinreichend kleine Häufigkeit“ angegeben.

Eine geringfügige Gefährdung besteht für heute genutzte Fassungen einzig im Niedermoos (Brunnen Moos I; WV Langnau); die Bahntrasse quert den Zuströmbereich ziemlich weit oberhalb der Grundwasserfassung. Im Rahmen einer künftig durchzuführenden genaueren Festlegung des Zuströmbereichs wären der Gefährdungsgrad und allfällig mögliche Sicherheitsvorkehrungen eingehender zu betrachten (vgl. Fig. 3.2d).

Meteorwasserversickerungen von Strassen oder Bahntrassen verursachen z.T. diffuse Einträge z.B. von Kohlenwasserstoffen oder Herbiziden ins Grundwasser. Die Zuströmb-

reiche der Fassungen Niedermoos bei Langnau, Brunnmatt und Ey werden sowohl durch die Bahn als auch durch die Kantonsstrasse gequert.

Flussaufwärts der Emmebrücke der Kantonsstrasse bei Schüpbach sind nur noch verhältnismässig wenig befahrene Strassen vorhanden. Die 20 bis 25 -Tage - Isochronen der Fassungen Aeschau und Schüpbach reichen bis zur Kantonsstrasse nach Eggiwil, wodurch trotz geringem Verkehrsaufkommen das Risiko einer Grundwasserverschmutzung besteht (vgl. Fig. 3.2a +b).

### Altlasten und Verdachtsflächen

Die im Untersuchungsgebiet 1993/94 durchgeführten flächendeckenden Erhebungen der alblastverdächtigen Deponien, Betriebs- und Unfallstandorte [3] widerspiegeln die wirtschaftliche Entwicklung der Siedlungsgebiete recht gut. In den ländlichen Gemeinden Loperswil, Signau und Eggiwil sind die Standorte zahlreicher kleinerer Bauschutt- und Kehrichtdeponien bekannt. Zudem wurden einige wenige Holzlagerplätze (Holzschutzmittel) oder Autoabbruchbetriebe (Kohlenwasserstoffe) als alblastverdächtig eingestuft. Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurde aufgrund einer ersten Risikobewertung kein vordringlicher Handlungsbedarf zur Untersuchung der erhobenen Deponien resp. Betriebe ermittelt. Die folgende Deponie, die sich auf dem Hauptgrundwasserleiter befindet (vgl. Figur 3.7a), erscheint aufgrund ihrer exponierten Lage erwähnenswert:

- Die Deponie 907-001 „Hübeli“ in der Gemeinde Signau (Figur 3.7a) wurde zwischen 1957 und 1978 in einer Emmeschlaufe mit ca. 25'000 m<sup>3</sup> Kehricht aufgefüllt. Sie liegt im Zuströmbereich der Fassung Brunnmatt, aber ausserhalb der 50-Tage-Isochronen (vgl. Figur 3.2c). Eine Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch Deponiesickerwässer war bis anhin nicht nachzuweisen.

In der Gemeinde Langnau sind mehrere Industrie- und Gewerbestandorte als alblastverdächtig eingestuft worden [3]. Als ein erfahrungsgemäss grosses Risiko für die Grundwasserqualität sind jene Betriebe speziell zu erwähnen, die mit chlorierten, leichtflüchtigen

Kohlenwasserstoffen (CKW) gearbeitet haben. In der Vergangenheit wurde die Gefährlichkeit dieser weitverbreiteten Lösungsmittel stark unterschätzt. In der Folge sind in mehreren Grundwasserleitern des Kantons Bern CKW-Verschmutzungen festgestellt worden, kostspielige Sanierungen waren nötig (vgl. z.B. [12]).

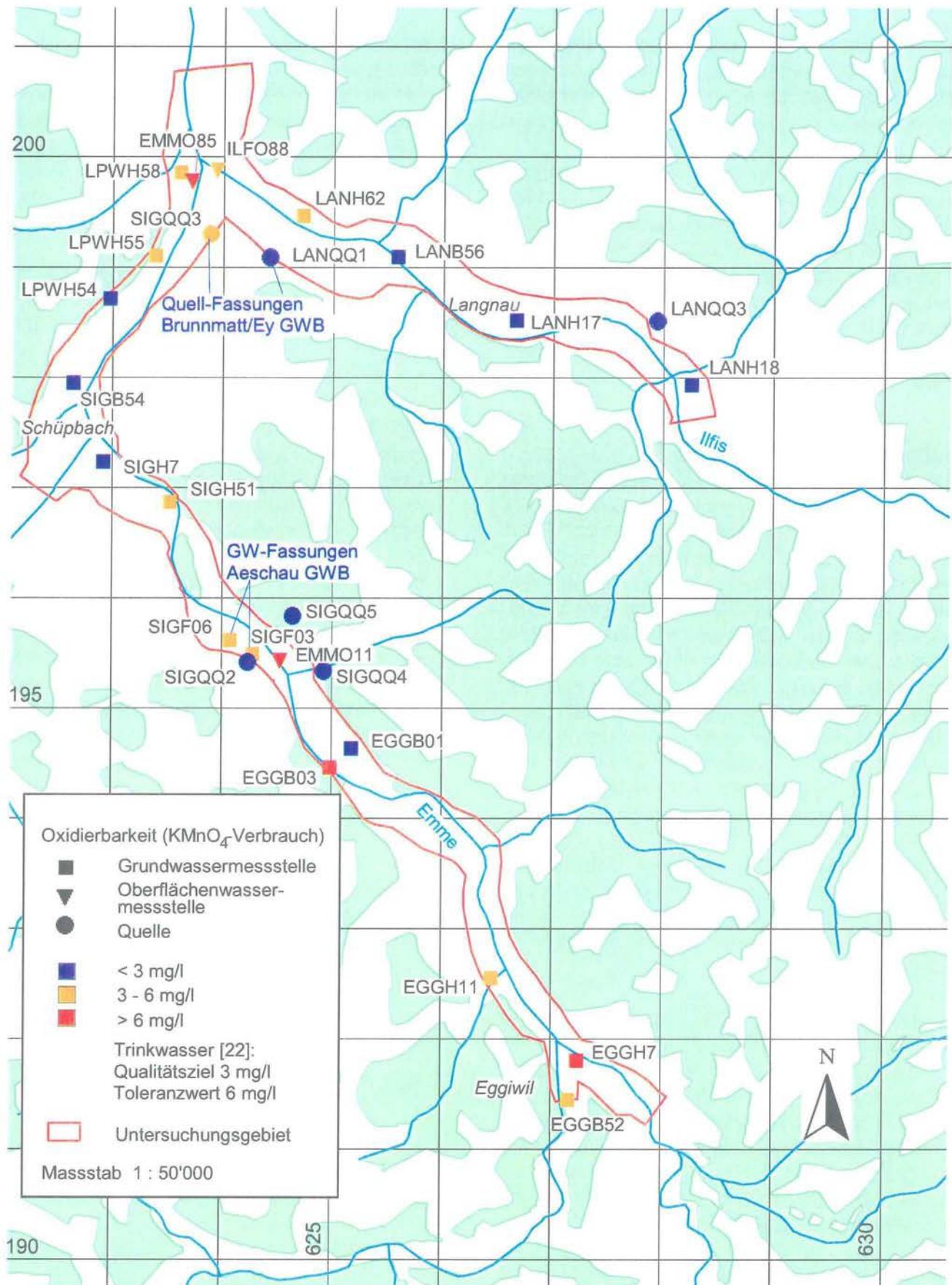
Auf dem Gemeindegebiet von Langnau sind zwei Deponien von ihrer Lage und ihrer Stoffgefährlichkeit her zu erwähnen (vgl. Figur 3.7b):

- Im Uferbereich der Emme befindet sich die Deponie Nr. 902-022 „Schützenfeld“. Die ehemalige Kiesgrube reichte bis unter den Grundwasserspiegel, sie wurde bis 1964 mit Kehricht resp. bis 1976 mit Bauschutt aufgefüllt (Gesamtvolumen: ca. 16'000m<sup>3</sup>).
- Eine Geländeaufschüttung mit eingedohntem Bach befindet sich NE von Langnau im Zuströmbereich des Grundwasserleiters. Die ehemalige Deponie Nr. 902-001 „Chatzbach“ enthält ca. 56'000m<sup>3</sup> Kehricht und wenig Schlacke aus einer Kehrichtverbrennungsanlage. Die Deponiesickerwässer gelangen nachweislich in den Bach. Wegen der vermuteten Infiltration des Baches in den Grundwasserleiter ist auch eine Beeinträchtigung des Grundwassers zu befürchten.

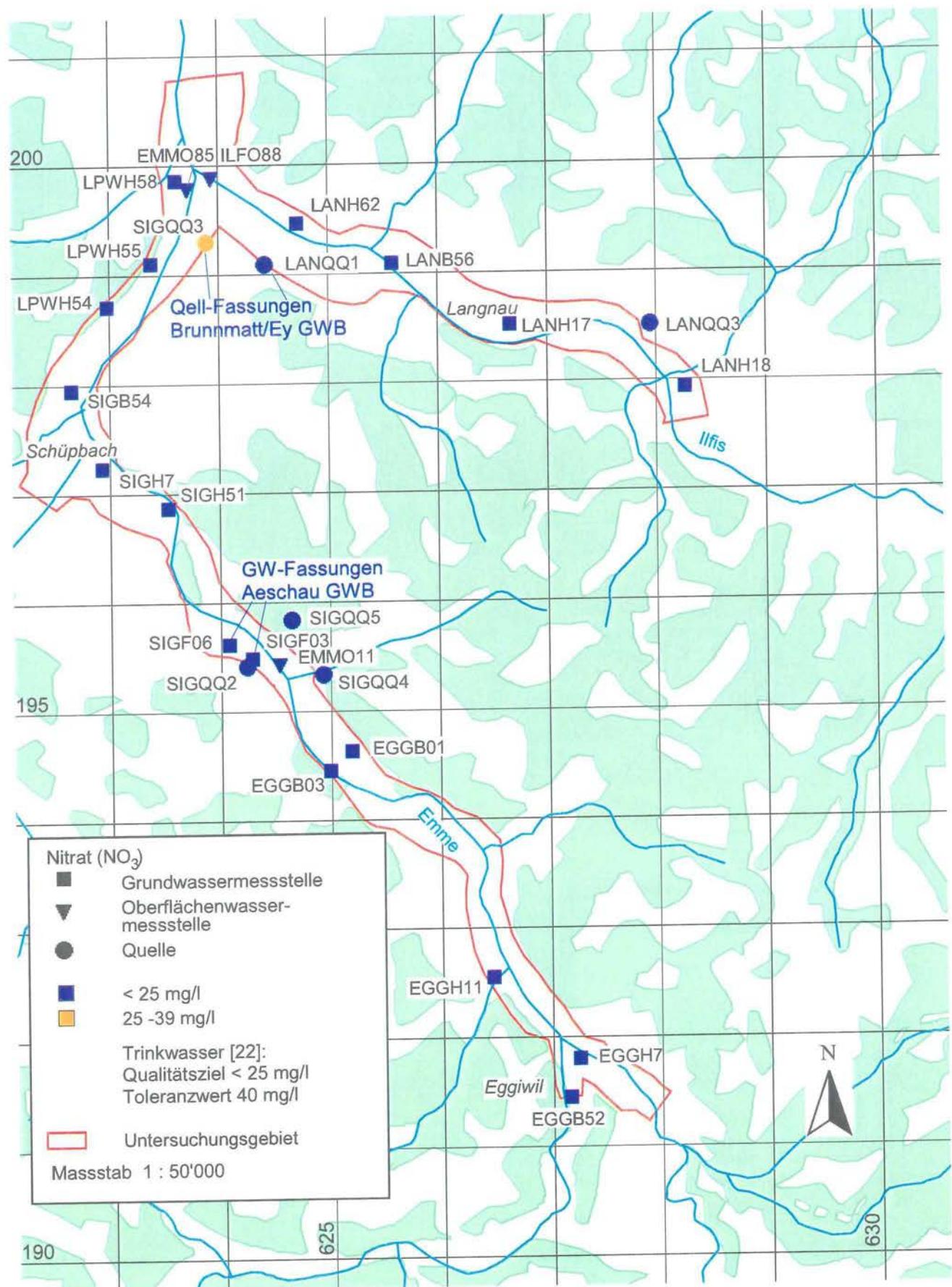
Bezüglich der erfassten Altlasten- und Verdachtsflächen erscheint das Grundwasservorkommen im Bereich Langnau und unterstrom des Dorfes, verglichen mit dem übrigen Untersuchungsgebiet, deutlich stärker gefährdet.

Fassung	Anzahl Deponien	Anzahl Betriebsstandorte
Aeschau	ca 4 kleinere Deponien an den Talflanken	keine bekannt
Schüpbach-Schachen	keine bekannt	1
Brunnmatt	Deponie „Hübeli“ u. ca. 7 kleinere Deponien an den Talflanken	6
Ey	keine bekannt	keine bekannt
Niedermoos	ca 6 kleinere Deponien an den Talflanken	1

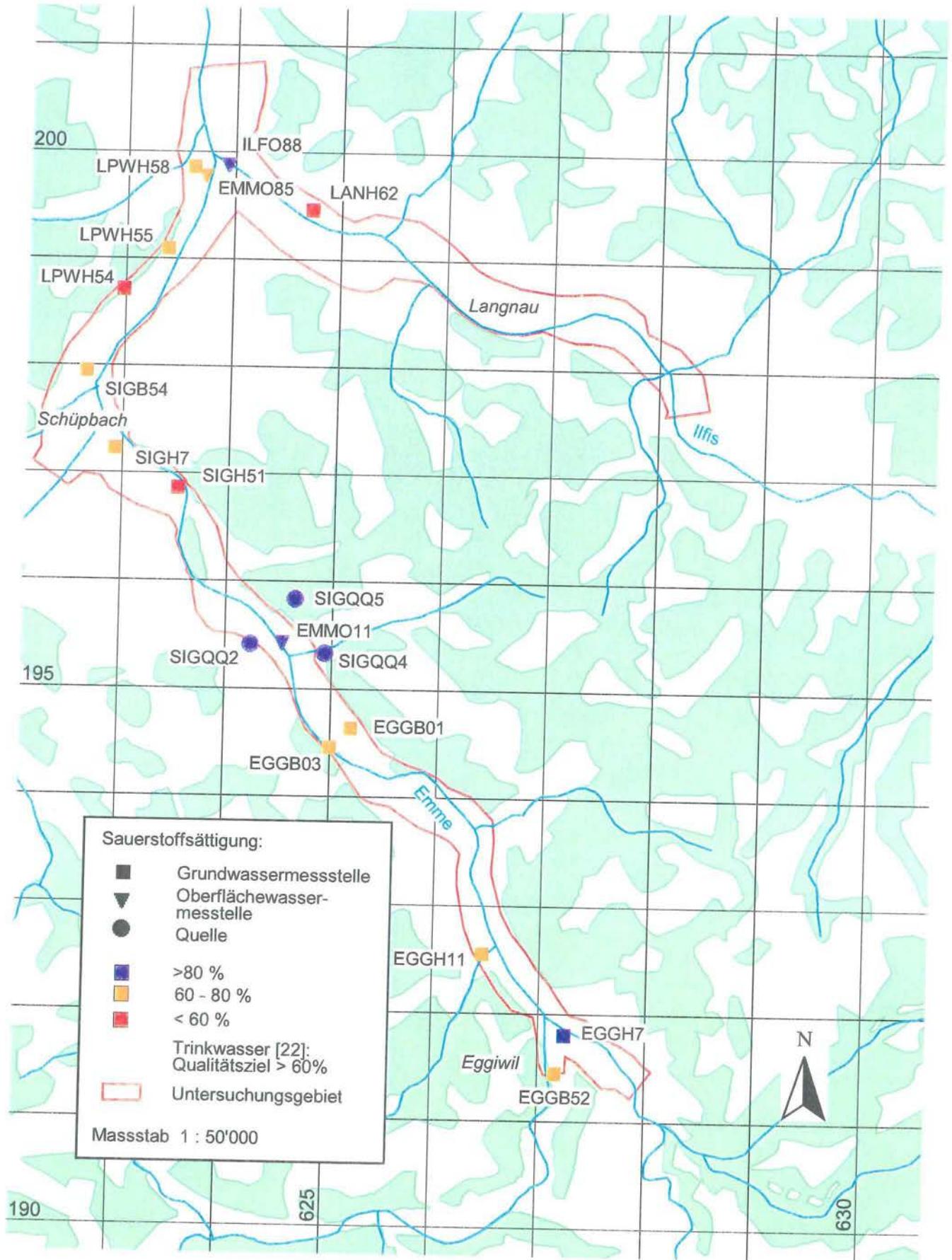
Tabelle 3.3: Altlasten- und Verdachtsflächen im Zuströmbereich der Fassungen, nach [3]



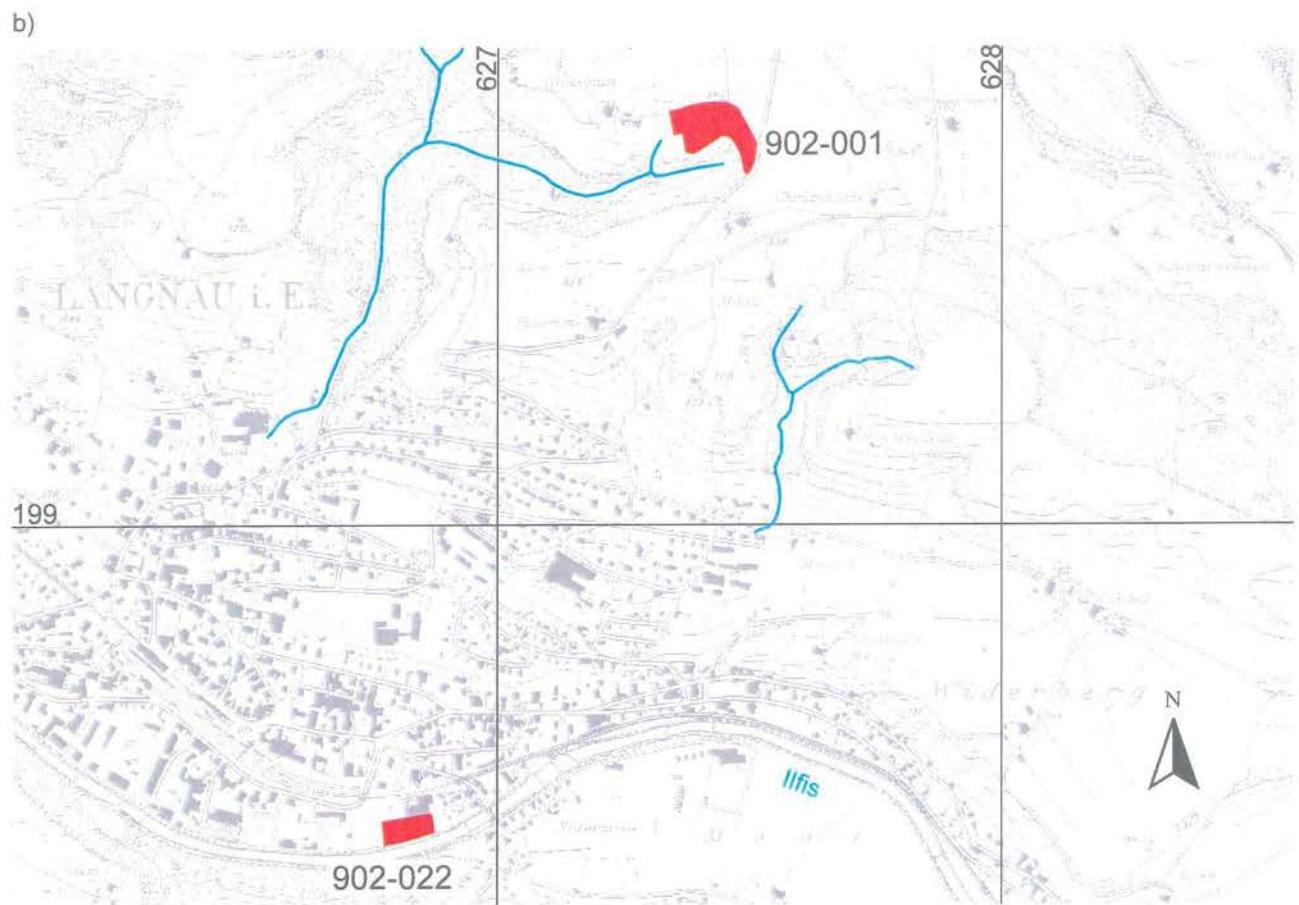
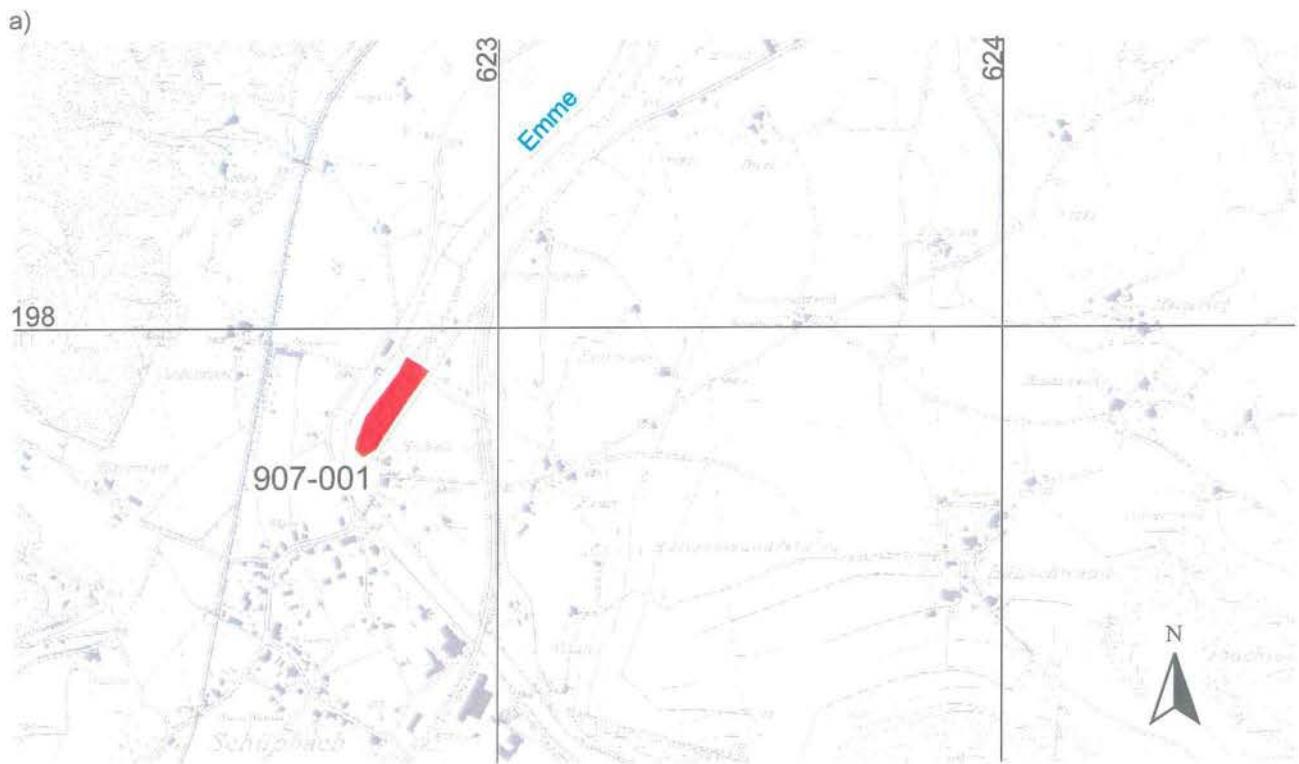
Figur 3.6a: Wasserqualität im Sommer 1994, Oxidierbarkeit



Figur 3.6b: Wasserqualität im Sommer 1994, Nitrat



Figur 3.6c: Wasserqualität im Sommer 1994, Sauerstoffsättigung



Figur 3.7: Ehemalige Deponien mit einem Gefährdungspotential für das Grundwasser, 1 : 15'000 [3]  
 a) Deponie 907-001 "Hübeli", Gemeinde Signau  
 b) Deponie 902-001 "Chatzbach" und 902-022 "Schützenfeld", Gemeinde Langnau

### **3.2.3 Nutzbares Grundwasserdargebot**

Das in einem Grundwasserleiter fliessende Wasser kann nie voll genutzt werden. Dies hat verschiedene Ursachen:

- **Ökologische Forderungen:** Die Erträge land- und forstwirtschaftlicher Kulturen können sinken, wenn der Grundwasserspiegel zu tief absinkt. - Die Restwassermengen in den Flüssen müssen gewährleistet bleiben, damit Fauna (insbesondere Fische) und Flora keine Schäden erleiden
- **Bestehende Rechte:** Quell- und Grundwassernutzungen dürfen nicht beeinträchtigt werden.
- **Gefahrenherde für die Grundwasserqualität:** Nachgewiesene, vermutete oder in Zukunft zu befürchtende Grundwasserverschmutzungen aus den im Kapitel 3.2.2 erwähnten Bereichen Landwirtschaft, Siedlungsgebiet, Verkehrsachsen sowie Altlasten- und Verdachtsflächen schränken die Grundwassernutzung zur Trinkwasserversorgung ein.

Das sogenannte nutzbare Grundwasserdargebot ist der Anteil des in einem Grundwasserleiter strömenden Grundwassers, der für die Trinkwasserversorgung genutzt werden kann. Dieser Wert ist u.a. abhängig von den Infiltrationsverhältnissen und örtlich sowie zeitlich variabel. Die folgenden Zahlen basieren auf Modellberechnungen. Die fliessende Grundwassermenge bei Niederwasser steigt von 140 l/s bei Eggwil (Summe der Zuflussprofile Heidbühl (Emme) und Gärbi (Röthenbach)) im Emmental und 290 l/s bei Bärau im Ilfistal auf 1100 l/s bei Emmenmatt. Somit beträgt die Zunahme des Grundwasservolumens bei Niederwasser rund 600 l/s.

Bei Aeschau werden 400 l/s entnommen, bei Brunnmatt und Ey zusammen ca. 100 l/s abgeleitet. Einschliesslich der Fassungen Niedermoos und Schüpbach-Schachen ergibt sich eine gesamte Entnahmemenge von etwas mehr als 500 l/s. Die gesamte konzessionierte Entnahmemenge beträgt ca. 500 l/s.

Auch wenn die Frage nach dem totalen nutzbaren Grundwasserdargebot in diesem Rahmen nicht abschliessend behandelt werden kann, so zeigen diese Zahlen wie auch die Restwasserproblematik: Eine intensivere Nutzung des Grundwasservorkommens für die Wasserversorgung ist in Niederwasserperioden nicht möglich.

### **3.3 Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

#### **3.3.1 Fassungen Aeschau (GWB)**

**Fördermenge:** Gemäss Kapitel 3.2.1 bringt die Nutzungsvariante, die Fördermenge in Aeschau zu reduzieren und dafür aus einem neu zu erstellenden Brunnen in der Winkelmatte Grundwasser zu fördern, keine Vorteile. Die Mindestrestwassermengen in der Emme können bei Niederwasser nicht eingehalten werden.

Eine weitere Einschränkung: Bei der Nutzung einer Fassung Winkelmatte für die Trinkwasserversorgung sind die hohen Nitratkonzentrationen über 30 mg NO<sub>3</sub>/l problematisch (siehe Kapitel 3.2.2). Im Zuströmbereich dieser Fassung müsste die intensive landwirtschaftliche Nutzung des Bodens eingeschränkt werden.

**Die wichtigste Aussage der vorangegangenen Kapitel:**

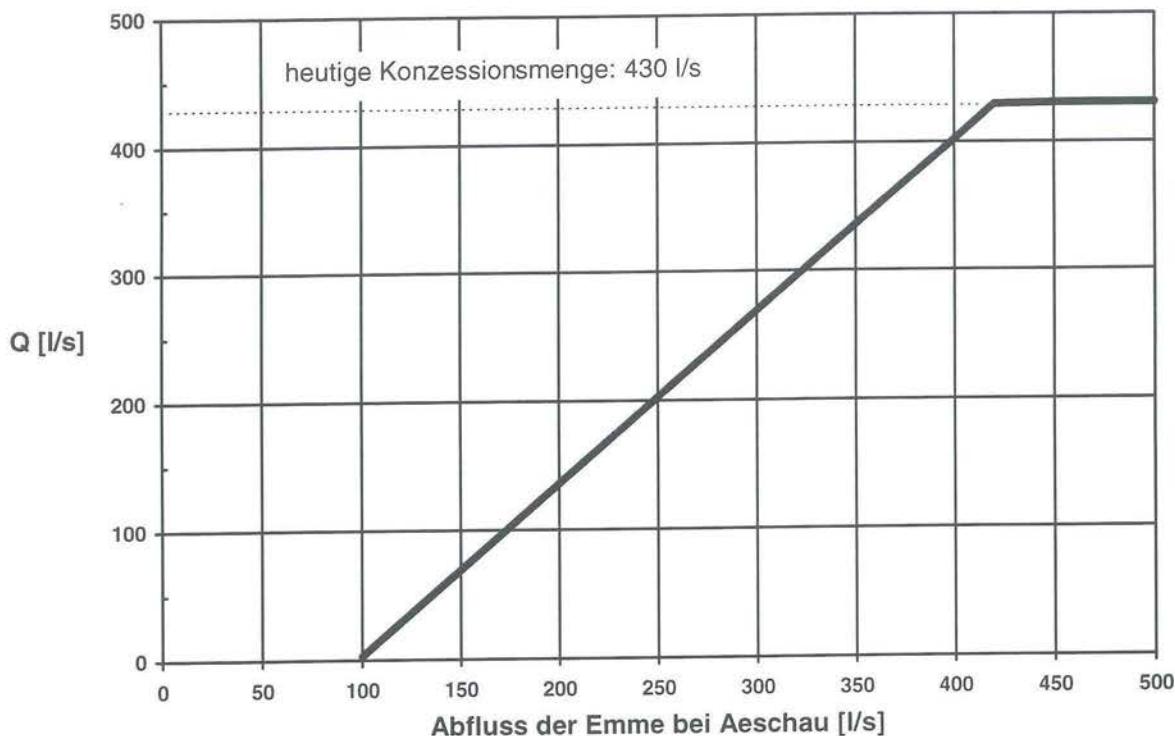
**Die bestehende Konzession für die Grundwassernutzung in Aeschau ist bei Niederwasserverhältnissen zu hoch ausgelegt.**

Da bei mittleren und hohen Wasserständen die Entnahme der konzessionierten Menge keine Probleme verursacht, ist es nicht sinnvoll, die Konzessionsmenge generell zu reduzieren. Vielmehr sollte eine flexible Lösung angestrebt werden, die bei Unterschreiten der Mindestrestwassermenge eine stufenweise Reduktion der Fördermenge vorschreibt.

Gemäss Kapitel 3.1.2 besteht das in Aeschau geförderte Grundwasser zu rund 75% aus Emmeinfiltrat. Mit der in Kapitel 3.2.1 ermittelten Mindestrestwassermenge von ung. 100 l/s für die Emme bei Aeschau ergibt sich die in Figur 3.8 dargestellte Abhängigkeit der Fördermenge vom Emmeabfluss.

Der dargestellte Zusammenhang ist als Anhaltspunkt zu verstehen und muss mit Hilfe der neu erstellten Abflussmessstation in der Emme bei Aeschau (vgl. Figur 3.10) verifiziert werden.

Mit einer solchen Lösung könnten alle vorhandenen Nutzungsinteressen optimal berücksichtigt werden.



Figur 3.8: Mögliche Fördermengen Q der Grundwasserfassungen der GWB bei Aeschau abhängig vom Emmeabfluss

**Schutz:** Ein Vergleich des Schutzzonenplanes, vom Regierungsrat 1981 genehmigt [69], mit dem Zuström- und Isochronenbild (Figur 3.2a) zeigt: Die Schutzzone genügt den heutigen Anforderungen [13]. Allerdings sind keine Sicherheitszuschläge berücksichtigt worden. 1990 abgeteuft Bohrungen im Fassungsgebiet und südöstlich davon bei Horben [66] zeigen: Die maximalen Bereichs-k-Werte sind 3 bis 5 mal höher als die Profil-k-Werte, die Mittelwerte darstellen. Das heißt mit anderen Worten: Die im Grundwasserleiter auftretenden Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers können bedeutend höher sein als die der Schutzzonenberechnung zugrunde liegenden. Die Dimension der Schutzzone sollte daher überprüft und das Reglement den neuesten Erkenntnissen angepasst werden, wie dies die schweizerische Schutzzonen-Wegleitung in nötigen Abständen verlangt [13]. Im Zuströmbereich sind keine nennenswerten Altlasten oder Verdachtsflächen bekannt. Ein geringes Risiko für eine Grundwasserverschmutzung bringen die Strasse Schüpbach-Eggiwil - sie quert den Zuströmbereich bei der 20-Tage-Isochrone und verläuft in dessen

südöstlichem Bereich weiter (vgl. Kapitel 3.2.2 und Figur 3.2a) - sowie die infiltrierende Emme mit sich [66].

### 3.3.2 Fassung Niedermoos (Brunnen Moos I)

Die Figur 3.1 zeigt die Schutzzone für den Brunnen Moos I, vom Regierungsrat genehmigt 1991 [71], und das angrenzende Schutzareal für den künftigen Brunnen Moos II, vom Regierungsrat genehmigt 1992 [72]. Vergleichen wir Schutzzonen- und -arealpläne mit dem Zuströmbereichs- und Isochronenbild (Figur 3.2d), lässt sich festhalten: Die Schutzzone des Brunnens Moos I entspricht den heutigen Anforderungen [13], enthält auch Sicherheitszuschläge, wie dies wegen der wechselnden Strömungsverhältnisse sinnvoll ist. Ihre Wirkung wird erhöht durch das Schutzareal für den Brunnen Moos II. - Auch das engere Schutzareal entspricht den heutigen Anforderungen. Da die Ilfis zwischen Flüeacker und nordwestlich Bärau unterströmt wird, und zwi-

schen Altenei und dem Schwimmbad Niedermoos auch infiltriert [72], muss die Dimension des weiteren Schutzareals überprüft werden: Es erstreckt sich in das Gebiet von Bärau.

### 3.3.3 Fassung Schüpbach-Schachen

Vergleichen wir die in Figur 3.1 dargestellte rechtsgültige Schutzone [70] mit dem mittels GrundwassermodeLL ermittelten Bild der Zuströmverhältnisse (Figur 3.2b), erkennen wir: Die Schutzone ist ordnungsgemäss ausgeschieden [13], die wegen der zeitlich und räumlich schwankenden Strömungsverhältnisse nötigen Sicherheitszuschläge sind angemessen berücksichtigt worden.

Obwohl im Zuströmbereich ausser einer Kiesgrube keine Verdachtsflächen oder Altlasten bekannt sind, darf die Gefährdung des Grundwassers durch chemische Schadstoffe, herührend von Unfällen auf der Strasse oder im Emmebereich, nicht vernachlässigt werden (vgl Kapitel 3.2.2).

## 3.4 ÜBERWACHUNG

### 3.4.1 Allgemeines

Es versteht sich: Die üblichen Qualitätskontrollen des geförderten Grundwassers durch das Labor der Kantonalen Lebensmittel- und Trinkwasserkontrolle oder durch eigene Labors sind weiterzuführen.

Das zusätzlich vorgeschlagene Überwachungskonzept basiert vollständig auf dem bestehenden Messstellennetz. Neu installiert werden müssen jedoch die Messonden für die verschiedenen Parameter. Gemessen an der Bedeutung von einwandfreiem Trinkwasser im allgemeinen und des Emmentales für die Trinkwasserversorgung im speziellen stellen die vorgeschlagenen Massnahmen einen vernünftigen Aufwand für die Sicherung der Qualität des Trinkwassers sowie für die Erhaltung der Umwelt dar.

Das seit dem 1. Juli 1995 geltende Lebensmittelgesetz fordert von allen Verantwortlichen in der Trinkwasserversorgung eine Selbstkontrolle, d.h. „**jede Trinkwasserversorgung muss die einwandfreie Qualität und gesundheitliche Unbedenklichkeit ihres Wassers jeder-**

**zeit, nachweisbar und selber garantieren“** (Zitat Dr. U. Müller, Kantonschemiker Bern, in Gas-Wasser-Abwasser 6/97, 367).

### 3.4.2 Aeschau

#### Fördermengen:

Durch die im Herbst 1996 in Betrieb genommene Abflussmessstelle (siehe Figur 3.10) in der Emme bei Aeschau sind die Voraussetzungen geschaffen, um die Einhaltung der aufgrund der Modellrechnungen ermittelten Mindestrestwassermenge (siehe Kapitel 3.2.1) zu überwachen. Die gemessenen Abflussmengen können mit den berechneten verglichen, und damit die Güte des GrundwassermodeLLs beurteilt werden. Wenn nötig ist das Modell mit den neuen Messungen nachzueichen. Wobei auch hier die Jahressummen des Niederschlags dem langjährigen Mittel gegenübergestellt und gegebenenfalls entsprechend berücksichtigt werden müssen.

Wie bereits in Kap.3.3 dargelegt, sollte bei der Unterschreitung einer festzulegenden Abflussmenge die Fördermenge in Aeschau stufenweise gedrosselt werden, damit der Emmeabfluss die Mindestrestwassermenge nie unterschreitet (siehe Fig. 3.8).

#### Schutz:

Wegen des hohen Anteils an Flussinfiltrat im bei Aeschau geförderten Trinkwasser ist dessen Qualität bei einer eventuellen Verschmutzung der Emme oberhalb Aeschau unmittelbar gefährdet. In Oberflächengewässern sind Fliessgeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde durchaus normal. Deshalb ist die Vorwarnzeit auch bei weit stromaufwärts liegenden Verschmutzungsherden äusserst kurz, auch wenn man die Verweilzeit des Flussinfiltrats im Boden auf dem Weg zwischen der Flussohle und den Fassungen berücksichtigt. Gemäss [41] sind die Fliessgeschwindigkeiten entlang präferentieller Fliesswege bis zu 10 mal grösser als die im GrundwassermodeLL verwendeten mittleren Fliessgeschwindigkeiten. Das bedeutet, dass die obenerwähnte Verweilzeit des Infiltratwassers im Boden von (gemäss Figur 3.2a) 10 Tagen auf im Extremfall lediglich 1 Tag reduziert wird.

Aufgrund obiger Überlegungen empfehlen wir eine Dreiteilung der Qualitätsüberwachung für die GWB-Fassungen bei Aeschau, wobei die Reihenfolge der Massnahmen die Prioritäten widerspiegelt:

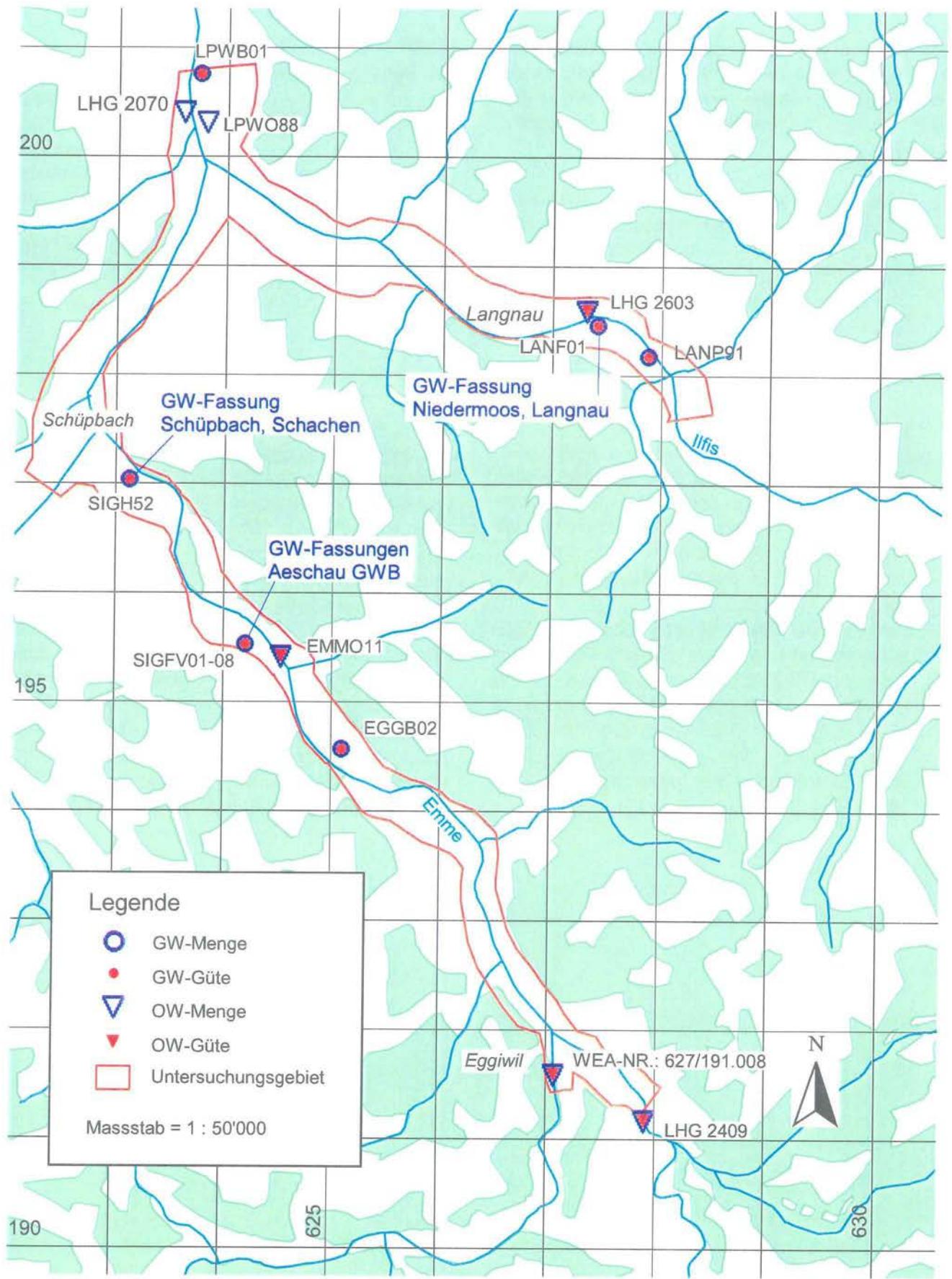
1. Permanente Messung und monatliche Einzelbeprobung gemäss Tabelle 3.4 bei der neu erstellten Abflussmessstelle EMMO11 in der Emme bei Aeschau (vgl. Figur 3.9). Ziel: Erfassung des direkt auf der Höhe von Aeschau unter dem Einfluss der Fassungen infiltrierenden Wassers.
2. Permanente Messung gemäss Tabelle 3.4 bei den Abflussmessstellen in der Emme bei Heidbühl LHG Nr. 2409 sowie im Röthenbach Eggiwil bei WEA Nr. 627/191.008 (vgl. Figur 3.9). Ziel: Genauere Lokalisierung einer potentiellen Schadstoffquelle und Erfassung des zwischen Eggiwil und Aeschau infiltrierenden und auf diesem Weg zu den Fassungen gelangenden Wassers.
3. Permanente Messung und monatliche Einzelbeprobung gemäss Tabelle 3.4 in der Bohrung EGGB02 unterhalb Eggiwil und in der Fassung z.B. SIGFV01 Aeschau (siehe Figur 3.9). Ziel: Erfassung des als echtes Grundwasser dem Untersuchungsgebiet und auch den Fassungen zufließenden Wassers.

### 3.4.3 Niedermoos

Die Fassung Niedermoos (Brunnen Moos I) wird zur Zeit nur zur Brauchwasserversorgung der Eisbahn Langnau verwendet. Die Fassung muss aber jederzeit auch für die Trinkwasserversorgung einsatzbereit sein. Zur Überwachung der Grundwasserqualität empfehlen wir eine monatliche Beprobung der Ilfis (LHG Nr. 2603) sowie des Grundwassers (LANP91) und LANF01 (Brunnen Moos I) gemäss Tabelle 3.4 (vgl. Fig. 3.9).

### 3.4.4 Schüpbach-Schachen

Die Fassung Schüpbach-Schachen dient der Trinkwasserversorgung der Gemeinde Signau. Die für die Fassungen Aeschau vorgesehene Überwachung der Oberflächen- und Grundwasserqualität kommt auch dieser Fassung zugute. Als zusätzliche Gefahrenherde, die sich im Zuströmbereich der Fassung Schüpbach-Schachen befinden, sind vor allem die Hauptstrasse und eine Kiesgrube (400m ESE der Fassung) zu nennen. Daher erscheint eine quartalsweise Beprobung in der Fassung gemäss der Tabelle 3.4, ergänzt mit einer monatlichen Analyse nach Kohlenwasserstoffen (Treibstoffabgänge aus Strassenverkehr und Werkverkehr in der Kiesgrube), ausreichend.



Figur 3.9: Messstellennetz Überwachung

<b>Aeschau</b>		
Messstellen	Parameter für permanente Messung	<u>zusätzliche</u> Parameter bei monatlicher Einzelbeprobung
EMMO11 (Emme) LHG Nr. 2409 (Emme, Eggiwil) WEA Nr. 627/191.008 (R'bach, Eggiwil) EGGB02 (Grundwasser-Messstelle) SIGFV01 (Fassung Aeschau)	Pegelstand / Abfluss Temperatur elektrische Leitfähigkeit pH ev. Trübung 1) ev. Fluoreszenz 1)	Geruch, Farbe wichtigste anorganische Inhaltsstoffe (Ionen) DOC / Oxidierbarkeit chlorierte Kohlenwasserstoffe
<u>zusätzliche</u> Parameter für Grundwasser-Messstelle EGGB02 und Fassung SIGFV01	Sauerstoff	Geschmack Pflanzen- und Holzschutzmittel Kohlenwasserstoffe

<b>Niedermoos</b>		
Messstellen	Parameter für monatliche Einzelbeprobung	
LHG Nr. 2603 (Ilfis, Langnau) LANP91 (Grundwasser-Messstelle) LANF01 (Fassung Moos I)	Pegelstand / Abfluss Temperatur elektrische Leitfähigkeit pH ev. Trübung 1) ev. Fluoreszenz 1)	Geruch, Farbe wichtigste anorganische Inhaltsstoffe (Ionen) DOC / Oxidierbarkeit Kohlenwasserstoffe

<b>Schüpbach-Schachen</b>		
Messstellen	Parameter für quartalsweise Einzelbeprobung (Chlorierte Kohlenwasserstoffe monatlich)	
SIGH52 (Fassung Schüpbach) EMMO11 (Emme, vgl. Aeschau)	Pegelstand / Abfluss Temperatur elektrische Leitfähigkeit pH ev. Trübung 1) ev. Fluoreszenz 1)	Geruch, Farbe wichtigste anorganische Inhaltsstoffe (Ionen) DOC / Oxidierbarkeit Kohlenwasserstoffe

1) Die Aussagekraft dieser permanenten Messungen sollte für jedes Gewässer zuerst überprüft werden (z.B. anhand mehrerer Einzelmessungen).

Tabelle 3.4: Vorschlag zur Qualitätsüberwachung der Grund- und Oberflächenwässer



Figur 3.10: Abflussmessstelle der GWB bei Aeschau;  
Foto: Ingenieurbüro E. Kramer, Sumiswald, März 1994

## 4. DATENBANK

### 4.1 Aufbau der Datenbank

Im Laufe der Projektbearbeitung sind sowohl als Grundlagen als auch als Resultate grosse Datenmengen angefallen, die in einer systematischen Ablage verwaltet werden müssen. Als Verwaltungs-Werkzeug wurde das Geographische Informationssystem ArcView gewählt. In diesem GIS sind die Objekte in Landeskoordinaten gespeichert und können grafisch am Bildschirm dargestellt werden. Die zugehörigen Sachdaten sind in Tabellen abgespeichert und für Abfragen und Nachführung zugänglich.

Die Daten wurden in fünf Sachbereiche unterteilt und dementsprechend in folgenden Überichten (Views) dargestellt:

- Grundwasserleiter
- Grundwasserbeobachtungen
- Grundwassernutzung
- Grundwasserschutz
- Grundwasserüberwachung

Im Anhang 4.1 sind die Views mit den Themen und die zugehörigen Sachdaten vollständig aufgelistet. Zusammenfassend sind folgende Daten enthalten:

**Grundwasserleiter:** Daten über den Aufbau des Grundwasserleiters, den Grundwasserspiegel, die Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen, die Zu- und Wegflüsse usw.

**Grundwasserbeobachtungen:** Daten der Niederschlags-, Oberflächengewässer- und Grundwassermessstellen sowie die zugehörigen Messwerte

**Grundwassernutzung:** die konzessionierten Leistungen, bestehende Rechte, Angaben über  $Q_{347}$  in Oberflächengewässern usw.

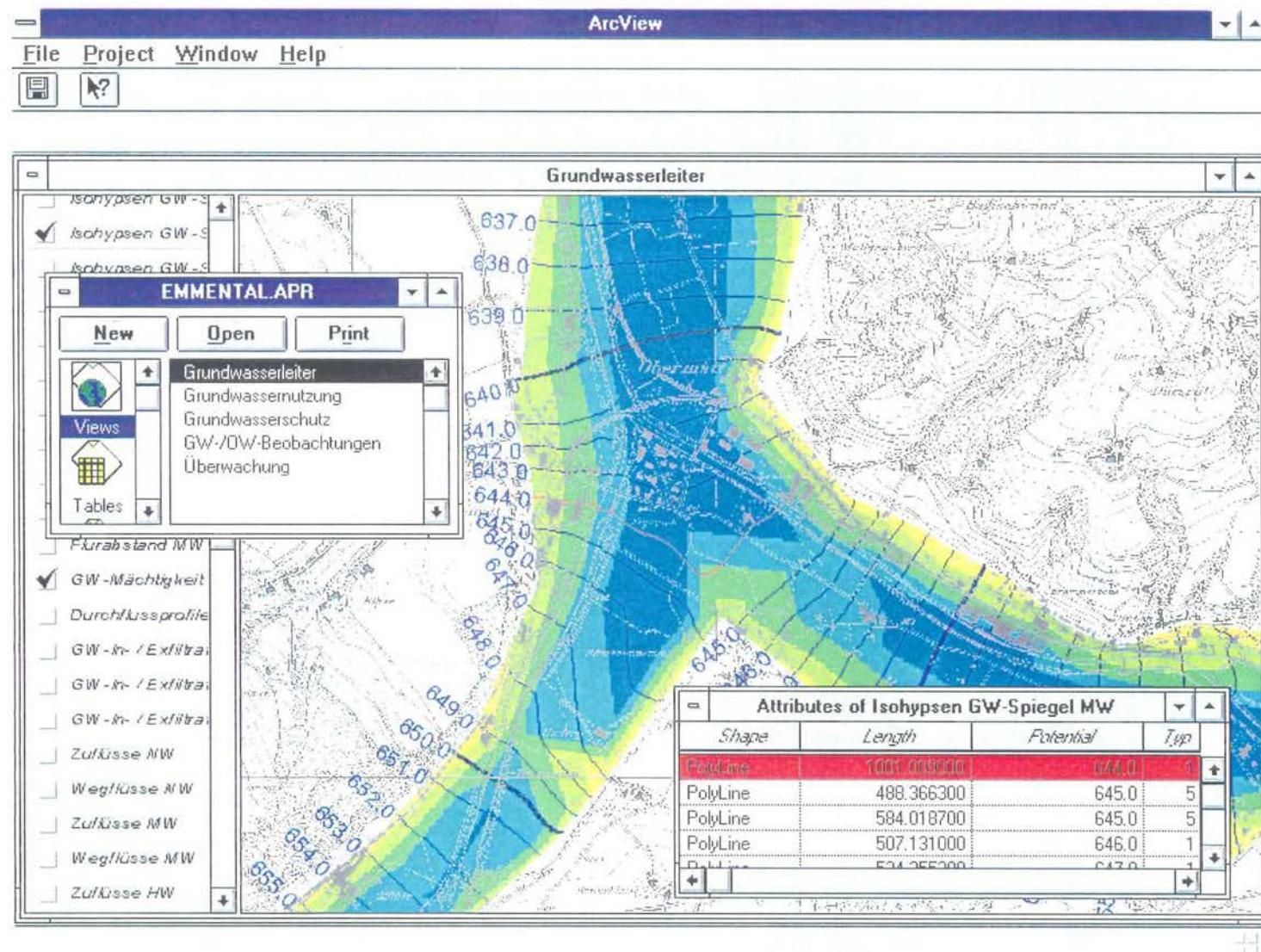
**Grundwasserschutz:** Schutzzonen und -areale, Zuströmbereiche zu den Fassungen und Isochronen

**Grundwasserüberwachung:** Oberflächengewässer- und Grundwasser-Überwachungsmessstellen.

In Figur 4.1 ist als Beispiel die Übersicht **Grundwasserleiter** dargestellt. Es erscheinen auf der linken Seite alle zur Verfügung stehenden Themen. Der Benutzer kann nun beliebige Themen auf dem Bildschirm darstellen. Nach dem Aufruf der zugehörigen Sachdatentabelle stehen ihm alle vorhandenen Daten für Abfragen und die weitere Bearbeitung zur Verfügung.

### 4.2 Verfügbarkeit der Datenbank

Die Datenbank wurde nach Abschluss der Untersuchungen an das WEA übergeben, und steht für die weitere Benutzung zur Verfügung. Das WEA ist für die Verwaltung und Nachführung der Daten zuständig. Wenn Dritte die Daten verwenden wollen, ist mit dem WEA Kontakt aufzunehmen.



Figur 4.1: ArcView-Oberfläche - View Grundwasserleiter; Zusammenfluss Emme-Ilfis, mit Isohypsen des GW-Spiegels und Mächtigkeitsstufen des GW-Leiters (Mittelwasser 16.6.84)

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
GRUNDWASSER-LEITER	UNTERSUCHUNGSGEBIET	F	FLAECHE UMFANG	AREA PERIMETER	R R		
	GEOLOGIE	F	IDENTIFIKATIONSNUMMER LITHOLOGIE	ID LITHOLOGIE	I S		
	GRUNDWASSERSTAUER	L	LAENGE STAUERKOTE [M U M]	LENGTH STAUER	R R		
	NATUERLICHE GW-AUSTRITTE	P	IDENTIFIKATIONSNUMMER FELDBEZEICHNUNG X Y MENGE OBJEKTKLASSE	IDNR FELDBEZNG X Y MENGE OBJ_KLASSE	I S R R R S		KEINE NAMEN KEINE ANGABEN
	ISOHYPSEN GW-SPIEGEL NW	L	LAENGE GRUNDWASSERSPIEGEL [M U M] TYP	LENGTH POTENTIAL TYP	R R I		
	ISOHYPSEN GW-SPIEGEL MW	L	LAENGE GRUNDWASSERSPIEGEL [M U M] TYP	LENGTH POTENTIAL TYP	R R I		
	ISOHYPSEN GW-SPIEGEL HW	L	LAENGE GRUNDWASSERSPIEGEL [M U M] TYP	LENGTH POTENTIAL TYP	R R I		
	GW-SPIEGEL-GANGLINIEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG OBJEKTKLASSE HOTLINK	X Y FELDBEZNG OBJ_KLASSE HOTLINK	R R S S S		
	STROEMUNGSPFEILE NW	L	ID FLIESSGESCHW. NW [M/TAG]	ID FL_GESC_NW	I R		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER DES FE-NETZ
	STROEMUNGSPFEILE MW	L	ID FLIESSGESCHW. MW [M/TAG]	ID FL_GESC_MW	I R		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER DES FE-NETZ
	STROEMUNGSPFEILE HW	L	ID FLIESSGESCHW. HW [M/TAG]	ID FL_GESC_HW	I R		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER DES FE-NETZ
	SPEZ. DURCHFLUSS NW	L	ID	ID	I		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			SPEZ. DURCHFLUSS NW [M/TAG]	SP_DUFL_NW	R		DES FE-NETZ
	SPEZ. DURCHFLUSS MW	L	ID SPEZ. DURCHFLUSS MW [M/TAG]	ID SP_DUFL_MW	I R		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER DES FE-NETZ
	SPEZ. DURCHFLUSS HW	L	ID SPEZ. DURCHFLUSS HW [M/TAG]	ID SP_DUFL_HW	I R		ID ENTSPRICHT DER ELEMENTENNUMMER DES FE-NETZ
	FLURABSTAND MW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] IDENTIFIKATIONSNUMMER FLURABSTAND [M]	AREA PERIMETER IDNR FL_ABST_MW	R R I I		
	GW-MAECHTIGKEIT MW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] MAECHTIGKEIT MW [M]	AREA PERIMETER RANGE_CODE	R R I		
	DURCHFLUSSPROFILE	L	NAME Q-TOTAL MW [L/S] Q1 MW [L/S] Q2 MW [L/S] ...	NAME Q_TOTAL_MW Q1_MW Q2_MW ...	S I I I		
	GW-IN-/EXFILTRATION, SEMIQUANT.(* NW	L	IDENTIFIKATIONSNUMMER NAME FLUSS NW [L/S] IN/EXFILTRATION NW	IDNR NAME FLUSS_NW IN_EX_NW	I S I S		
	GW-IN-/EXFILTRATION, SEMIQUANT.(* MW	L	IDENTIFIKATIONSNUMMER NAME FLUSS MW [L/S] IN/EXFILTRATION MW	IDNR NAME FLUSS_MW IN_EX_MW	I S I S		
	GW-IN-/EXFILTRATION, SEMIQUANT.(* HW	L	IDENTIFIKATIONSNUMMER NAME FLUSS HW [L/S] IN/EXFILTRATION HW	IDNR NAME FLUSS_HW IN_EX_HW	I S I S		
	ZUFLUESSE NW	L	NAME FLUSS NW [L/S]	NAME FLUSS_NW	S I		
	WEGFLUESSE NW	L	NAME FLUSS NW [L/S]	NAME FLUSS_NW	S I		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
	ZUFLUESSE MW	L	NAME FLUSS MW [L/S]	NAME FLUSS_MW	S I		
	WEGFLÜSSE MW	L	NAME FLUSS MW [L/S]	NAME FLUSS_MW	S I		
	ZUFLUESSE HW	L	NAME FLUSS HW [L/S]	NAME FLUSS_HW	S I		
	WEGFLÜSSE HW	L	NAME FLUSS HW [L/S]	NAME FLUSS_HW	S I		
	DIREKTE GW-NEUBILDUNG NW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NUMMER FLAECHE TOTAL FLAECHE FELD FLAECHE WALD GEWICHT LANGNAU GEWICHT HOHWACHT FELDKAPAZITAET FELD FELDKAPAZITAET WALD VERDUNSTUNGSFAKTOR FELD VERDUNSTUNGSFAKTOR WALD OBERFLAECHENABFL. IN % N DIR. GWNEUBILDUNG NW [L/S]	AREA PERIMETER NR FLAECH_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA VERD_FKT_F VERD_FKT_W OAF_IN_%_N GW_NEU_NW	R R S R R R I I I I R R I R		
	DIREKTE GW-NEUBILDUNG MW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NUMMER FLAECHE TOTAL FLAECHE FELD FLAECHE WALD GEWICHT LANGNAU GEWICHT HOHWACHT FELDKAPAZITAET FELD FELDKAPAZITAET WALD VERDUNSTUNGSFAKTOR FELD	AREA PERIMETER NR FLAECH_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA VERD_FKT_F	R R S R R R I I I I R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			VERDUNSTUNGSFAKTOR WALD OBERFLAECHENABFL. IN % N DIR. GWNEUBILDUNG MW [L/S]	VERD_FKT_W OAF_IN_%_N GW_NEU_MW	R I R		
	DIREKTE GW-NEUBILDUNG HW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NUMMER FLAECHE TOTAL FLAECHE FELD FLAECHE WALD GEWICHT LANGNAU GEWICHT HOHWACHT FELDKAPAZITAET FELD FELDKAPAZITAET WALD VERDUNSTUNGSFAKTOR FELD VERDUNSTUNGSFAKTOR WALD OBERFLAECHENABFL. IN % N DIR. GWNEUBILDUNG HW [L/S]	AREA PERIMETER NR FLAECH_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA VERD_FKT_F VERD_FKT_W OAF_IN_%_N GW_NEU_HW	R R S R R R I I I I R R I R		
	HYDROL. EINZUGSGEBIETE NW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NR FLAECHE TOT [M2] FLAECHE FELD [M2] FLAECHE WALD [M2] GEWICHTUNG LANGNAU [%] GEWICHTUNG HOHWACHT [%] FELDKAPAZITAET FELD [HPA] FELDKAPAZITAET WALD [HPA] MITTL. BASISABFLUSS [L/S] OBERFL. ABFLUSS IN % DES N. VERD. FAKTOR FELD [-] VERD. FAKT. WALD [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER1 [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER2 [-]	AREA PERIMETER NR FLAECHE_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA MITTL_BAFL OAF_IN_%_N VERD_FKT_F VERD_FKT_W ENTW_K_SP1 ENTW_K_SP2	R R S R R R I I I I R I R R R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			SICKERWASSER MAX. INSP2 [] GW NEUBILDUNG NW [L/S] SEITENLAENGE [M]	SW_MAX_IN2 GW_NEU_NW SEITENLNGE	R R R		
	HYDROL. EINZUGSGEBIETE MW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NR FLAECHE TOT [M2] FLAECHE FELD [M2] FLAECHE WALD [M2] GEWICHTUNG LANGNAU [%] GEWICHTUNG HOHWACHT [%] FELDKAPAZITAET FELD [HPA] FELDKAPAZITAET WALD [HPA] MITTL. BASISABFLUSS [L/S] OBERFL. ABFLUSS IN % DES N. VERD. FAKTOR FELD [-] VERD. FAKT. WALD [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER1 [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER2 [-] SICKERWASSER MAX. INSP2 [] GW NEUBILDUNG MW [L/S] SEITENLAENGE [M]	AREA PERIMETER NR FLAECHE_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA MITTL_BAFL OAF_IN_%_N VERD_FKT_F VERD_FKT_W ENTW_K_SP1 ENTW_K_SP2 SW_MAX_IN2 GW_NEU_MW SEITENLNGE	R R S R R R I I I I I R I R R R R R		
	HYDROL. EINZUGSGEBIETE HW	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] NR FLAECHE TOT [M2] FLAECHE FELD [M2] FLAECHE WALD [M2] GEWICHTUNG LANGNAU [%] GEWICHTUNG HOHWACHT [%] FELDKAPAZITAET FELD [HPA] FELDKAPAZITAET WALD [HPA] MITTL. BASISABFLUSS [L/S]	AREA PERIMETER NR FLAECHE_T FLAECHE_F FLAECHE_W GEWICHT_LA GEWICHT_HO FELDKAP_FE FELDKAP_WA MITTL_BAFL	R R S R R R I I I I R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			OBERFL. ABFLUSS IN % DES N. VERD. FAKTOR FELD [-] VERD. FAKT. WALD [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER1 [-] ENTWAE. KONST. SPEICHER2 [-] SICKERWASSER MAX. INSP2 [] GW NEUBILDUNG HW [L/S] SEITENLAENGE [M]	OAF_IN_%_N VERD_FKT_F VERD_FKT_W ENTW_K_SP1 ENTW_K_SP2 SW_MAX_IN2 GW_NEU_HW SEITENLNGE	I R R R R R R R		
GW-BEOBACHTUNGEN	KLIMA-/NIEDERSCHLAGS-STATIONEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG FLURNAME IDENTIFIKATIONSNUMMER BETREIBER	X Y FELDBEZNG FLURNAME IDNR BETREIBER	R R S S I S		
	OW-MESSSTELLEN	P	X Y IDENTIFIKATIONSNUMMER WEA NUMMER OBJEKTYP STATUS DES OBJEKTES OBERKANTE TERRAIN OBJEKTNAME, FLURNAME POLITISCHE GEMEINDE SACHBEARBEITERIN DATUM DER LETZTEN MUTATION FELDBEZEICHNUNG ABSTICKKOTE [M U M] BEPROBUNG OBJEKTKLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR FELDBEZEICHNUNG DATUM	X Y IDNR WEA_NR TYP_CD STATUS_CD OKT NAME GDNR SACH_CD MUTDAT FELDBEZNG ABSTICK_KTE BEPROBUNG OBJ_KLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR FELDBEZNG DATUM	R R I I S S R S I S S R S S S S S S R		STANDART GRUNDDATENSATZ FUER ALLE MESSSTELLEN STANDART GRUNDDATENSATZ FUER ALLE MESSSTELLEN SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL LINK-TABELLE 2 MESSKAMPAGNEN GW/OW LINK-TABELLE 2 MESSKAMPAGNEN GW/OW

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			ZEIT POT/WSP [M] FELDBEZEICHNUNG DATUM ABFLUSS [L/S] ZEIT	ZEIT POT_WSP FELDBEZNG DATUM ABFLUSS ZEIT	S R S R R S		LINK-TABELLE 2 MESSKAMPAGNEN GW/OW LINK-TABELLE 2 MESSKAMPAGNEN GW/OW LINK-TABELLE 3 MESSKAMPAGNEN OW LINK-TABELLE 3 MESSKAMPAGNEN OW LINK-TABELLE 3 MESSKAMPAGNEN OW LINK-TABELLE 3 MESSKAMPAGNEN OW
	OW-GUETE	P	X Y FELDBEZEICHNUNG PROBEDATUM MESSKAMPAGNE O2 SAETTIGUNG [%] O2 GEHALT [MG/L] OW TEMPERATUR [°C] PH WERT [-] LEITFAEHIGKEIT [mS/CM] K [MG/L] HCO3 [MG/L] MG [MG/L] CA [MG/L] NA [MG/L] CL [MG/L] SO4 [MG/L] NO3 [MG/L] NO2 [MG/L] NH4 [MG/L] TOT N IN N [MG/L] KMNO4-VERBRAUCH [MG/L] CALCIT SI [-] DOLOMIT SI [-] HPO4 [MG/L] REDOXPOTENTIAL [MV] LADUNGSBILANZ [MEQ/L]	X Y FELDBEZNG PROBEDATUM MESSKAMPNE O2_SAETTNG O2_GEHALT OW_TEMP PH_WERT LEITFAEHIG K HCO3 MG CA NA CL SO4 NO3 NO2 NH4 TOT_N_IN_N KMNO4 CALCIT DOLOMIT HPO4 REDOXPOT LADUNGBLNZ	R R S R I R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			ARAGONIT SI [-] P CO2 [-]	ARAGONIT P_CO2	R R		
	OXIDIERBARKEIT KMN04 OW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	AMMONIUM NH4 OW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	NITRAT NO3 OW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	SAUERSTOFF-SAETTIGUNG OW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	FASSUNGEN (BAUWERKE)	P	X  ...  DATUM DER AUSFUEHRUNG TIEFE DER BOHRUNG [M U M] FELDBEZEICHNUNG BEPROBUNG OBJEKTKLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR STAUERKOTE ERREICHT STAUERKOTE [M U M] OK MESSPUNKT [M U M] FILTERDURCHMESSER [M] OK FILTERLOCHUNG [M] UK FILTERLOCHUNG [M] UK FILTERROHR [M] BESITZER FELDBEZEICHNUNG DATUM ZEIT POT/WSP [M]	X  ...  AUSF_DATUM UK_OBJEKT FELDBEZNG BEPROBUNG OBJ_KLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR STAUERK_ER STAUERKOTE OK_MESSPKT FILTER_DM OK_FILTERL UK_FILTERL UK_FILTERR BESITZER FELDBEZNG DATUM ZEIT POT_WSP	R  ...  DATUM R S S S S S S S S R R R R R R S S R S R		STANDARD GRUNDDATENSATZ FUER ALLE MESSSTELLEN  ...  STAMMDATEN S FUER FASSUNGEN STAMMDATEN S FUER FASSUNGEN SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL LINK-TABELLE 2 LINK-TABELLE 2 LINK-TABELLE 2 LINK-TABELLE 2
	SICKERLEITUNGSFASSUNG	L	X  ...  DATUM DER AUSFUEHRUNG TIEFE DER BOHRUNG [M U M]	X  ...  AUSF_DATUM UK_OBJEKT	R  ...  DATUM R		STANDARD GRUNDDATENSATZ FUER ALLE MESSSTELLEN  ...  STAMMDATEN S FUER FASSUNGEN STAMMDATEN S FUER FASSUNGEN
	PEILROHR (BAUWERKE)	P	X  ...	X  ...	R  ...		STANDARD GRUNDDATENSATZ FUER ALLE MESSSTELLEN

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			DATUM DER AUSFUEHRUNG SPEZIFIKATION UK-OBJEKT TIEFE DER BOHRUNG [M U M] DURCHMESSER DER BOHRUNG FELDBEZEICHNUNG BEPROBUNG OBJEKTKLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR STAUERKOTE ERREICHT STAUERKOTE [M U M] OK MESSPUNKT FILTERDURCHMESSER [M] OK FILTERLOCHUNG [M] UK FILTERLOCHUNG [M] UK FILTERROHR [M] BESITZER FELDBEZEICHNUNG DATUM ZEIT POT/WSP [M]	AUSF_DATUM UK_OBJEKT_ UK_OBJEKT BOHR_DURCH FELDBEZNG BEPROBUNG OBJ_KLASSE BESCHRIEB KOMMENTAR STAUERK_ER STAUERKOTE OK_MESSPKT FILTER_DM OK_FILTERL UK_FILTERL UK_FILTERR BESITZER FELDBEZNG DATUM ZEIT POT_WSP	DATUM S R R S S S S S S R R R R R R R R R		STAMMDATEN S FUER PEILROHRE STAMMDATEN S FUER PEILROHRE STAMMDATEN S FUER PEILROHRE STAMMDATEN S FUER PEILROHRE SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL SPEZIELL PROJEKTE SEELAND UND EMMENTAL LINK-TABELLE 2 LINK-TABELLE 2 LINK-TABELLE 2
	GW-GUETE	P	X Y FELDBEZEICHNUNG PROBEDATUM MESSKAMPAGNE O2 SAETTIGUNG [%] O2 GEHALT [MG/L] GW TEMPERATUR [°C] PH WERT [-] LEITFAEHIGKEIT [mS/CM] K [MG/L] HCO3 [MG/L]	X Y FELDBEZNG PROBEDATUM MESSKAMPNE O2_SAETTNG O2_GEHALT OW_TEMP PH_WERT LEITFAEHIG K HCO3	R R S R I R R R R R R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			MG [MG/L] CA [MG/L] NA [MG/L] CL [MG/L] SO4 [MG/L] NO3 [MG/L] NO2 [MG/L] NH4 [MG/L] TOT N IN N [MG/L] KMNO4-VERBRAUCH [MG/L] CALCIT SI [-] DOLOMIT SI [-] HPO4 [MG/L] REDOXPOTENTIAL [MV] LADUNGSBILANZ [MEQ/L] ARAGONIT SI [-] P CO2 [-]	MG CA NA CL SO4 NO3 NO2 NH4 TOT_N_IN_N KMNO4 CALCIT DOLOMIT HPO4 REDOXPOT LADUNGBLNZ ARAGONIT P_CO2	R R R R R R R R R R R R R R R R		
	OXIDIERBARKEIT KMN04 GW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	AMMONIUM NH4 GW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	NITRAT NO3 GW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	SAUERSTOFF-SAETTIGUNG GW	P					GLEICHE SACHDATEN WIE OW-CHEMIEMESSSTELLEN
	BEREICH-K-WERTE	P	X Y FELDBEZEICHNUNG DATUM BEREICH B1 K-WERT KB1 [M/S] BEREICH B2 K-WERT KB2 [M/S] ...	X Y FELDBEZNG DATUM BEREICH_B1 K_WERT_KB1 BEREICH_B2 K_WERT_KB2 ...	R R S D S R S R		
	PROFIL-K-WERT	P	X Y FELDBEZEICHNUNG	X Y FELDBEZNG	R R S		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			K-WERT KP[M/S] DATUM AUSWERTMETHODE	K_WERT_KP DATUM AUSW_METH	R D S		
	K-WERT	F	K-WERT KE [M/S]	K_WERT_KE	R		GLEICHE SACHDATEN WIE MODELLELEMENTE
	MODELLKNOTEN	P	X Y NUMMER	X Y NUMMER	R R I		
	MODELLELEMENTE	F	NUMMER FLAECHE [M2] UMFANG [M] K-WERT [M/S] S-WERT [-]	NUMMER AREA PERIMETER K_WERT S_WERT	I R R R R		
	LEAKAGEKNOTEN	P	X Y NUMMER	X Y NUMMER	R R I		
	LEAKAGEELEMENTE	F	NUMMER FLAECHE [M2] UMFANG [M] K-WERT [M/S] S-WERT [-]	NUMMER AREA PERIMETER K_WERT S_WERT	I R R R R		
GRUNDWASSER-NUTZUNG	KONZESSIONIERTE LEISTUNGEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG OBJEKTKLASSE KONZ. LEISTUNG [L/S]	X Y FELDBEZNG OBJ_KLASSE KONZ_LEIST	R R S S R		
	BESTEHENDE RECHTE	P	X Y FELDBEZEICHNUNG OBJEKTKLASSE QUELLRECHT	X Y FELDBEZNG OBJ_KLASSE QUELLRECHT	R R S S S		
	Q347	P	X Y NAME	X Y NAME	S R R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
GRUNDWASSER-SCHUTZ	ISOCHRONEN FASSUNG AESCHAU MW	L	HOTLINK FASSUNG TAGESWERT [TAG] WASSERSTAND	HOTLINK FASSUNG TAGESWERT WASSERSTND	S S S	EXCEL	
	FLIESSPFADE/ZUSTROEMBEREICHE FASSUNG AESCHAU	L	FASSUNG NUTZUNGSBESCHRAENKUNG TYP	FASSUNG NUTZ_BESCH TYP	S S S		NICHT EINGEBAUT
	ISOCHRONEN FASSUNG SCHUEPBACH-SCHACHEN MW	L	FASSUNG TAGESWERT [TAG] WASSERSTAND	FASSUNG TAGESWERT WASSERSTND	S I S		
	FLIESSPFADE/ZUSTROEMBEREICHE FASSUNG SCHUEPBACH-SCHACHEN (SIGNAU)	L	FASSUNG NUTZUNGSBESCHRAENKUNG TYP	FASSUNG NUTZ_BESCH TYP	S S S		NICHT EINGEBAUT
	ISOCHRONEN DRAINAGE WINKELMATT MW	L	FASSUNG TAGESWERT [TAG] WASSERSTAND	FASSUNG TAGESWERT WASSERSTND	S I S		
	FLIESSPFADE/ZUSTROEMBEREICHE DRAINAGE WINKELMATT	L	FASSUNG NUTZUNGSBESCHRAENKUNG TYP	FASSUNG NUTZ_BESCH TYP	S S S		NICHT EINGEBAUT
	ISOCHRONEN FASSUNG NIEDERMOOS MW	L	FASSUNG TAGESWERT [TAG] WASSERSTAND	FASSUNG TAGESWERT WASSERSTND	S I S		
	FLIESSPFADE/ZUSTROEMBEREICHE FASSUNG NIEDERMOOS	L	FASSUNG NUTZUNGSBESCHRAENKUNG TYP	FASSUNG NUTZ_BESCH TYP	S S S		NICHT EINGEBAUT
	SCHUTZZONEN/SCHUTZBEREICHE	F	FLAECHE [M2] UMFANG [M] GSK96 GSK96 ID TYP NUTZUNGSBESCHRAENKUNG	AREA PERIMETER GSK96_ GSK96_ID TYP NUTZ_BSCH	R R I I S S		
UEBER-WACHUNG	KLIMAMESSSTELLEN	P	X Y	X Y	R R		

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			FELDBEZEICHNUNG FLURNAME BESITZER KOMMENTAR OBJEKTKLASSE	FELDBEZNG NAME BESITZER KOMMENTAR OBJ_KLASSE	S S S S S		
	OW-MENGE-MESSSTELLEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG FLURNAME GEWAESSER BESITZER KOMMENTAR OBJEKTKLASSE	X Y FELDBEZNG NAME GEWAESSER BESITZER KOMMENTAR OBJ_KLASSE	R R S S S S		IST-ZUSTAND
	OW-GUETE-MESSSTELLEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG FLURNAME GEWAESSER BESITZER KOMMENTAR OBJEKTKLASSE	X Y FELDBEZNG NAME GEWAESSER BESITZER KOMMENTAR OBJ_KLASSE	R R S S S S		IST-ZUSTAND
	GW-MENGE-MESSSTELLEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG FLURNAME BESITZER KOMMENTAR OBJEKTKLASSE	X Y FELDBEZNG NAME BESITZER KOMMENTAR OBJ_KLASSE	R R S S S S		IST-ZUSTAND
	GW-GUETE-MESSSTELLEN	P	X Y FELDBEZEICHNUNG FLURNAME BESITZER	X Y FELDBEZNG NAME BESITZER	R R S S S		IST-ZUSTAND

## Anhang 4.1: Datenbank Nutzungs-, Schutz- und Überwachungskonzept Grundwasserleiter Oberstes Emmental

VIEW	THEME	GEOMETRIE	SACHDATEN	FELD-NAME	FORMAT	GRAPHIK	BEMERKUNG
			KOMMENTAR OBJEKTKLASSE	KOMMENTAR OBJ_KLASSE	S S		
	INDUSTRIE + GEWERBEKATASTER	P	STOFFLISTE		S		

(\*: SEMIQUANTITATIV = JA ODER NEIN BZW. VORHANDEN ODER NICHT VORHANDEN)

GEOMETRIE:

P = PUNKTDATEN  
L = LINIENDATEN  
F = FLAECHENDATEN

FORMAT:

D = DATUM  
I = INTEGER  
R = REAL  
S = STRING

RANGE\_CODE (GW-MAECHTIGKEIT):

1 = 0-5 M 6 = 25-30 M  
2 = 5-10 M 7 = 30-35 M  
3 = 10-15 M 8 = 35-40 M  
4 = 15-20 M 9 = 40-45 M  
5 = 20-25 M 10 = >45 M

NW = NIEDERWASSERSTAND  
MW = MITTELWASSERSTAND  
HW = HOCHWASSERSTAND

FELDNAME DARF MAX. 10 ZEICHEN ENTHALTEN

09.09.97 15:51

## Referenzen

- [1] AEMMER, F. et al [1989]: Niederwasser: Bestimmung, Nutzung und Erhaltung. Beitr. z. Geol. d. Schweiz - Hydrologie Nr.34. - Bern (Kümmerly+Frey).
- [2] AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ UND ABFALLWIRTSCHAFT [1995,a]: Fliessgewässer und Seen 1993/94. VOKOS Vollzugskonzept Siedlungsentwässerung. Juni1995. - Bern (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern).
- [3] AMT FÜR GEWÄSSERSCHUTZ UND ABFALLWIRTSCHAFT [1995,b]: Altlasten- und Verdachtsflächenkataster des Kantons Bern 1:10'000; Gemeindeberichte Eggwil, Lauperswil, Langnau i. E. und Signau inklusive Planbeilagen - Bern (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern).- Nicht veröffentlicht; nur für dienstlichen Gebrauch.
- [4] ASCHWANDEN, H. [1992]: Die Niedrigwasserabflussmenge  $Q_{347}$  - Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten. BUWAL, Landeshydrologie und -geologie. Mitt. Nr.18. - Bern (Landeshydrologie und -geologie).
- [5] ASCHWANDEN, H. et al [1986]: Abschätzung der Abflüsse in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessung. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie Nr. 33. Bericht zum Teilprojekt C des Nationalen Forschungsprogrammes Nr.2 „Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes“. Schweizerische geotechnische Kommission / Hydrologische Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. - Bern (Kümmerly+Frey).
- [6] ASCHWANDEN, H. & SPREAFICO, M. [1989]: Übertragungsfunktionen Niederschlag-Abfluss in ausgewählten schweizerischen Einzugsgebieten. Landeshydrologie und -geologie Bern, Mitteilung Nr.11. - Bern (Landeshydrologie und -geologie).
- [7] BALMER W. [1993]: Nitratbelastung des Grundwassers im Urtenental. Ursachen - Wirkungen - Verbesserungsvorschläge. Nitrat - Stoffbilanzen und -Transportmodellierung. Geologisches Institut der Universität Bern. Wasser- und Energiewirtschaftsamt Kanton Bern. - Zwischenbericht; nicht veröffentlicht.
- [8] BALMER W. [1995]: Nitratbelastung des Grundwassers im Urtenental 1987 bis 1993 - Ist die Integrierte Produktion eine Sanierungsmöglichkeit? - Eclogae geol. helv. 88, 2: 435 - 449.
- [9] BEAR, J. & VERRUIJT, A. [1987]: Modeling Groundwater Flow and Pollution. - Dordrecht (D.Reidel, Publishing Company).
- [10] BLAU, R.V., TRÜEB, E., FISCH, W., WERNER, A., HUFSCHMIED, P. [1983]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrogeologie Emmental, Teil IV, Modellstudie zur Bestimmung des Grundwasserdargebotes im Testgebiet Emmental; erarbeitet im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes Wasserhaushalt. - Bern (WEA).
- [11] BLAU, R.V., MUCHENBERGER, F., TRÜEB, E., WERNER, A., WUERSTEN, M. [1984]: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental; Handbuch erarbeitet im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes Wasserhaushalt. - Gas-Wasser-Abwasser. 64/5: 249-388.

- [12] BLAU, R.V., WERNER, A., WÜRSTEN, M. [1991]: Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern. Hydrgeologie Mittleres und Unteres Langetental. - Bern (WEA).
- [13] BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ [1977/82]: Wegleitung zur Ausscheidung von Gewässerschutzbereichen, Grundwasserschutzzonen und Grundwasserschutzarealen. - Bern (BUS).
- [14] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT [jährlich]: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. - Bern (Landeshydrologie und -geologie).
- [15] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT [1991]: Handbuch I zur Störfallverordnung StFV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. - Bern (EDMZ).
- [16] BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT [1992]: Handbuch III zur Störfallverordnung StFV. Richtlinien für Verkehrswege. - Bern (EDMZ).
- [17] BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ [1994]: Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz. - Umweltmaterialien Nr. 22. - Bern (BUWAL).
- [18] BVE [1994]: Leitbild der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern. - Bern (BVE).
- [19] DAGAN, G. [1989]: Theory of Flow and Transport in Porous Formations. - Heidelberg (Springer).
- [20] DYCK, S. & PESCHKE, G. [1995]: Grundlagen der Hydrologie, - Berlin (Verlag für Bauwesen GmbH).
- [21] EIDG. DEPARTEMENT DES INNERN [1995]: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln. - Bern (EDMZ).
- [22] EIDG. LEBENSMITTELBUCH-KOMMISSION [1985, Nachtrag 1988]: Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 27: Trinkwasser und Mineralwasser. - Bern (EDMZ).
- [23] FACHKOMMISSION NITRATBEKÄMPFUNG, PROJEKT NITRAT [1996]: Programm zur Unsachenbekämpfung der Nitratauswaschung im Kanton Bern 1989-1995. Schlussbericht. - Bern (Direktion für Verkehr, Energie und Wasser des Kantons Bern, Koordinationsstelle für Umweltschutz).
- [24] GAS-, WASSER- UND FERNWÄRMEVERSORGUNG DER STADT BERN [1992 - 94]: Analysenresultate der Fassungen im Emmental (nicht veröffentlichte Laborberichte)
- [25] GROSSER RAT DES KANTONS BERN (1950, mit zahlreichen Änderungen): Gesetz über die Nutzung des Wassers. - Bern (Staatskanzlei). Das Gesetz ist überarbeitet und aufgeteilt worden; die neue Fassung des WNG erscheint voraussichtlich 1998.
- [26] HALDEMANN, E.G., HAUS, H.A., HOLLIGER, A., LIECHTI, W., RUTSCH, R.F., DELLA VALLE, G. (1980): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt Eggiwil. - Basel (Schweiz. geol. Kommission)
- [27] HOEHN, E., BLAU, R.V., HARTMANN, D., KANZ, W., LEUENBERGER, H., MATOUSEK, F., ZUMSTEIN, J. [1994]: Der Zuströmbereich als Element eines zeitgemässen Grundwasserschutzes. - Gas-Wasser-Abwasser, 3/94, 187-193.

- [28] HUFSCHMIED, P. [1983]: Die Ermittlung der Durchlässigkeit von Lockergesteins-Grundwasserleitern, eine vergleichende Untersuchung verschiedener Feldmethoden. - Dissertation ETH Zürich Nr.7397 in BLAU et.al. [1983].
- [29] HUFSCHMIED, P. [1991]: Natürlicher und künstlicher Wärmeeintrag - Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt im Testareal Kirchberg, Teilbericht 4 „Ermittlung Makroskopischer Transportparameter am Beispiel des Grundwasserleiters im Hydrothermischen Testareal Aefligen“. - Nationales Forschungsprogramm Nr.2 „Grundlegende Probleme des Schweiz. Wasserhaushaltes“. - Gas-Wasser-Abwasser 1 und 3.
- [30] JUSSEL, P. [1992]: Modellierung des Transports gelöster Stoffe in inhomogenen Grundwasserleitern, Dissertation, R-29-92, - Zürich ( Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETH).
- [31] KANTONALES LABORATORIUM BERN [1995]: Geographischer Chemie-Risikokataster. - Bern (Kant. Laboratorium). - Nicht veröffentlicht; alle Angaben unterstehen dem Amtsgeheimnis.
- [32] KINZELBACH W. & SCHÄFER W. [1989]: Coupling of chemistry and transport, Groundwater Management: Quantity and Quality, Proceedings of Benidorm Symposium, October 1989. IAHS publ. no. 188.
- [33] KINZELBACH W. [1993]: Numerische Methoden zur Modellierung des Transports von Schadstoffen im Grundwasser, 2. Auflage, Schriftenreihe gwf Wasser Abwasser, Band 21. - München (Oldenbourg).
- [34] KOZEL, R. [1992]: Erfassung organischer Spurenbelastungen, insbesondere durch Pflanzenbehandlungsmittel, in oberflächennahen Lockergesteins Grundwässern. - Dissertation Universität Neuenburg. - nicht veröffentlicht.
- [35] KOZEL, R., & ZWAHLEN, F. [1994]: Methodical approach for the detection of pesticides in groundwater: a Swiss example. - Eclogae geol. Helv. 87/2, 439-444.
- [36] KUHLMANN, U. [1992]: Inverse Modellierung in geklüfteten Grundwasserträgern, Dissertation, publiziert in Mitt. VAW, ETH Zürich, Nr. 120.
- [37] KUMMERT, R. & STUMM, W. [1989, 2. erweiterte Auflage]: Gewässer als Ökosysteme, Grundlagen des Gewässerschutzes. - Zürich (VdF)
- [38] LEUCHS, W. [1988]: Vorkommen, Abfolge und Auswirkungen anoxischer Redoxreaktionen in einem pleistozänen Porengrundwasserleiter, - Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 52.
- [39] LINDBERG, R.D. & RUNNELS, D.D. [1984]: Ground water redox reaktions: An analysis of equilibrium state applied to Eh measurements and geochemical modeling, - Science, 225, 925 927.
- [40] LUCKNER, L. & SCHESTAKOW, W. [1986]: Migrationsprozesse im Boden- und Grundwasserbereich. - Leipzig (VEB).
- [41] MARTI, F. DELLA VALLE, G., KRECH, U., GEES, R.A., BAUMGARTNER, E. [1979]: Markierversuche in Grundwasser mit Farbe, Bakterien und Viren. - Alimenta 18 1979, 134-145.

- [42] MARRER, H. [1982]: Zustand der Gewässer im Emmental, Fischerei-Pachtvereinigung Emmental, Burgdorf.
- [43] MIZELL, S.A., FAUST, C.R., MILLER, W.J. & PEARSON, F.J. [1982]: Stochastic Analysis of Spatial Variability in Two Dimensional Steady State Groundwater Flow Assuming Stationary and Nonstationary Heads, - Water Resour. Res. 18,4: 1053-1067.
- [44] OMLIN, M. & BOSSART, P. [1993]: GW-Neu-Handbuch, Ein Programm zur Bestimmung von Bodenwasserbilanz und Grundwasserneubildung, Geotechnisches Institut AG, Bern, erarbeitet im Auftrage des WEA des Kt. Bern; nicht veröffentlicht.
- [45] REGIERUNGSRAT DES KT. BERN (1991): Kantonale Gewässerschutzverordnung (KGV). Bern (Staatskanzlei).
- [46] SCHÄLCHLI, U., [1993]: Die Kolmation von Fliessgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. - Mitt. VAW, ETH Zürich, Nr. 124.
- [47] SCHLÜCHTER, CH. [1979]: Übertiefe Talabschnitte im Berner Mittelland zwischen Alpen und Jura. - Eiszeitalter u. Gegenwart 29, 102-113.
- [48] SCHWARZENBACH, R. [1994]: Chemistry of Organic Groundwater Pollutants, Lecture Notes, 15th International Course on Groundwater Pollutant Transport. - Zürich (ETH Hönggerberg).
- [49] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1994]: Allgemeine Gewässerschutzverordnung vom 19.Juni 1972, Stand 1.Juli 1994. - Bern (EDMZ).
- [50] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1975]: Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8.Dezember 1975, Stand 1.Oktober 1991. - Bern (EDMZ).
- [51] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1981]: Verordnung über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten (VWF) vom 28.September 1981. - Bern (EDMZ).
- [52] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1990]: Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10.Dezember 1990. - Bern (EDMZ).
- [53] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1991,a]: Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) vom 24.Januar 1991. - Bern (EDMZ).
- [54] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1991,b]: Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27.Februar 1991. - Bern (EDMZ).
- [55] SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT [1995]: Lebensmittelverordnung vom 1.März 1995. - Bern (EDMZ).
- [56] SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT [monatlich]: Monatstabellen der meteorologischen Stationen der Schweiz. - Zürich (SMA).
- [57] SCHWEIZERISCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHS (SVGW) [1984]: Siedlungswasserwirtschaft in der Schweiz. - Zürich (SVGW).
- [58] SEVRUK, B. [1985]: Der Niederschlag in der Schweiz. In: Beitr. Geol. Schweiz - Hydrol. Nr.31, 13-15, 65-75, 127-137.

- [59] SIGG, L. & STUMM, W. [1994]: Aquatische Chemie. - Zürich (VdF).
- [60] STAUFFER, F. [1987]: Grundwassermodellierung unter Anwendung geostatistischer Methoden. R 25-87. - Zürich (Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETH).
- [61] TRÖSCH, J. [1975]: Numerische Simulation Dupuit'scher Grundwasserströmungen, Mitteilung Nr. 14 und 15. - Zürich (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH). bzw. nicht veröffentlichte Überarbeitungen 1990, 1993, 1995.
- [62] TRÖSCH, J. [1993]: 2-D Grundwasser- und Stoffausbreitungsmodell. - Zürich (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH). - nicht veröffentlicht.
- [63] VISCHER, D. [1970]: Einfluss eines schwankenden Vorfluterspiegels auf den Grundwasserspiegel. - Schweizerische Bauzeitung, 88,12.
- [64] VOGEL, T.M. & MCCARTY, P.L. [1985]: Appl. Environ. Microbiol., 49, 1080 - 1083.
- [65] WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN [jährlich]: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Bern. - Bern (WEA).
- [66] WÜRSTEN, M. [1991]: Hydrogeologische Untersuchungen Aeschau. - Untersuchung ausgearbeitet im Auftrag des GWB Bern. - Bericht Geotechnisches Institut AG Bern; nicht veröffentlicht.
- [67] ZYSSET, A. [1993]: Modellierung des chemischen Zustandes in Grundwasser-Infiltrations-Systemen, Dissertation, R 30-93. - Zürich (Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETH).
- [68] SCHWEIZERISCHE BUNDESBAHNEN, KREISDIREKTION I, HAUPTABTEILUNG BETRIEB (1993): Kurzbericht der SBB im Rahmen der Störfallverordnung; Teil II: Ortsbezogene Aspekte Kanton Bern. -ausgearbeitet im Auftrag der SBB vom Ingenieurbüro Emch+Berger AG, Bern; nicht veröffentlicht.
- [69] DIREKTION FÜR VERKEHR, ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN (1981):Gemeinde Signau - Schutzzonenplan und -reglement für die Grundwasserfassungen Ramsei-Aeschau der Stadt Bern - vom Regierungsrat genehmigt mit Beschluss Nr. 2579 vom 12.August 1981.
- [70] KELLERHALS, P., HAEFELI, CH. (1991): Wasserversorgung Signau - Schutzzonenüberprüfung Grundwasserfassung Schüpbach. - Bericht ausgearbeitet im Auftrag der WV Signau und der Bauherrschaft Ausbildungs-, Schulungs- und Freizeitzentrum, nicht veröffentlicht. Schutzzonenplan und -reglement vom Regierungsrat des Kantons Bern genehmigt mit Beschluss Nr. 2500 vom 17.August 1994.
- [71] KELLERHALS, P., HAEFELI, CH. (1990): Überprüfung Schutzzone Grundwasserfassung Moos I der WV Gemeinde Langnau. - Bericht erarbeitet im Auftrag des Bauamtes der Gemeinde Langnau, nicht veröffentlicht. Schutzzonenplan und -reglement vom Regierungsrat des Kantons Bern genehmigt mit Beschluss Nr.0018 vom 9.Januar 1991.
- [72] KELLERHALS, P., HAEFELI, CH. (1991): Schutzareal Moos II, Langnau. - Bericht ausgearbeitet im Auftrag des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes des Kantons Bern, nicht veröffentlicht. Plan und Reglement für das Schutzareal der zukünftigen Grundwasserfassung Moos II der Wasserversorgung Langnau vom Regierungsrat des Kantons Bern genehmigt mit Beschluss Nr.2985 vom 5.August 1992.

- [73] BLAU, R.V., INGENIEUR- UND STUDIENBÜRO A. WERNER, BÜRO PETRAQUA (1976): Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil II: Mittleres Emmental. - Bern (WEA).
- [74] GEOTEST (1985): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern, Hydrogeologie Rötenbachtal. - Bern (WEA).
- [75] BLAU, R.V., INGENIEUR- UND STUDIENBÜRO A. WERNER, BÜRO PETRAQUA (1975): Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern, Hydrogeologie Emmental, Teil I: Oberes Emmental. - Bern (WEA).
- [76] GEOTECHNISCHES INSTITUT AG (1992): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern - Hydrogeologie Oberstes Emmental zwischen Eggiwil und Emmenmatt; 1. Zwischenbericht 1991. - Bern (WEA); nicht veröffentlicht.