

NEU!  
Grundwasser-  
utzungs- u. Schutz-Karte  
Unteres Sensetal 1:25 000

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Unteres Sensetal,  
zwischen Thörishaus und Laupen



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

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

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologie Unteres Sensetal,  
zwischen Thörishaus und Laupen



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

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

**Bericht:**  
Hydrogeologie Unteres Sensetal,  
zwischen Thörishaus und Laupen

**Ausgabe:** 1993

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

**Bearbeitung:**  
Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

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

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

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

# INHALTSVERZEICHNIS

Seite

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	7
<b>RESUME</b>	9
<b>1. EINLEITUNG</b>	11
1.1 Aufgabe und Zielsetzung	11
1.2 Kredite, Subventionen	12
1.3 Bearbeiter	12
1.4 Unterlagen	13
<b>2. GEOLOGISCHE SITUATION</b>	14
2.1 Allgemeiner Ueberblick	14
2.2 Tertiär	15
2.2.1 Molassestufen	15
2.2.2 Molasseoberfläche	15
2.3 Quartär	16
<b>3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN</b>	18
3.1 Allgemeines	18
3.2 Niederschlag	20
3.3 Abfluss	22
3.4 Verdunstung	26
<b>4. EIGENSCHAFTEN DES GRUNDWASSERLEITERS</b>	28
4.1 Allgemeines	28
4.2 Räumliche Ausdehnung	29
4.3 Grundwasserstauer	29
4.4 Deckschichten	33
4.5 Lithologischer Aufbau und hydraulische Kennwerte	35

	Seite
<b>5. GRUNDWASSERSTROEMUNG</b>	<b>38</b>
5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse	38
5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Sense und Grundwasser	39
5.3 Grundwasserspiegelschwankungen	43
5.4 Grundwasserfeld Flamatt - Neuenegg	46
<b>6. WASSERQUALITAET</b>	<b>53</b>
6.1 Allgemeines	53
6.2 Physikalische Eigenschaften	53
6.2.1 Oberflächengewässer	53
6.2.2 Grundwasser	55
6.3 Chemische Eigenschaften	58
6.3.1 Oberflächengewässer	58
6.3.2 Grundwasser	62
6.3.2.1 Allgemeines	62
6.3.2.2 Einzelne Komponenten	63
<b>7. GRUNDWASSERBILANZ</b>	<b>67</b>
<b>8. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE</b>	<b>70</b>
8.1 Grundwasserdargebot	70
8.1.1 Abschnitt Heiti-Büffel - SBB-Brücke Thörishaus	70
8.1.2 Abschnitt SBB-Brücke Thörishaus - Flamatt (Profil IV)	72
8.1.3 Abschnitt Flamatt, Profil IV - Profil (Freiburger Seite)	72
8.1.4 Abschnitt Neuenegg, Profil IV - Profil VI (Berner Seite)	72
8.1.5 Abschnitt stromabwärts von Flamatt (Profil V) und Neuenegg (Profil VI)	73
8.1.6 Zusammenfassung	73
8.2 Grundwassernutzung	74
8.2.1 Bestehende Nutzung	74
8.2.2 Grundwasserbewirtschaftung	74
8.2.2.1 Nutzungsbereiche	77
8.2.2.2 Trinkwassernutzungsmöglichkeiten	78
8.3 Grundwasserschutz	80
<b>VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR</b>	<b>83</b>

## VERZEICHNIS DER FIGUREN

Seite

3.1	Verlauf der Grundwasserstände (Tagesmittel), des Sense-Abflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsmittel) September 1991 - März 1993	19
3.2	Dauerkurven für den Senseabfluss bei Thörishaus (593.193/59) Abflussmessstation der Landeshydrologie	24
3.3	P/Q-Beziehung der Sense bei Thörishaus (593.193/59) Abflussmessstation der Landeshydrologie	24
4.1	Elektromagnetische Messungen (VLF-R) Karte des elektrischen Widerstandes bei 200 kHz	30
4.2	Mächtigkeit des wassergesättigten Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand	31
4.3	Längsprofil des wassergesättigten Grundwasserleiters entlang der Rinnenachse (Situation siehe Fig. 4.2)	32
4.4	Flurabstand bei mittlerem Grundwasserstand	34
5.1	Beziehung zwischen dem Grundwasserspiegel beim Pumpwerk Wander (PW2; 590.193/84) und dem Senseabfluss vor und nach dem Unwetter vom 29. Juli 1990	42
5.2	Beziehung zwischen der Schüttungsmenge der Sickerleitung Oelebach (590.193/65) und dem Senseabfluss vor und nach dem Unwetter vom 29. Juli 1990	42
5.3	Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels zwischen August 1991 und April 1993	44
5.4	Verhalten des Grundwasserspiegels und der Sense bei Starkniederschlag	45
5.5	Korrelation zwischen Senseabfluss und Grundwasserspiegel während niederschlagsfreien Perioden und verschiedenen Wasserständen	47
5.6	Grundwassereingriffe und Gewässer der Talebene von Neuenegg	49
5.7	Isohypsen des Grundwasserspiegels im Raum Flamatt-Neuenegg bei Niederwasser	50
5.8	Isohypsenkarte des Grundwasserspiegels vor Ende des Pumpversuchs (24.2.1993) im Pumpwerk der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt (Q = 3'000 l/min.; 590.193/18)	51
5.9	Grundwasserspiegelabsenkung vor Ende des Pumpversuchs (24.2.93) im Pumpwerk der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt (Q = 3'000 l/min.)	52
6.1	Temperaturganglinie der Sense und des Grundwassers (1986 - 1992)	54
6.2	Grundwassertemperatur am 8.5.1992	56
6.3	Korrelation zwischen Sulfatgehalt und Abflussmenge der Sense	61
7.1	Bilanz des Grundwasserstroms im Sensetal bei mittlerem Grundwasserstand	68

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

	Seite
3.1 Niederschläge im Sensetal 1991 - März 1993	21
3.2 Veränderung der Flussole der Sense zwischen Heiti-Büffel und Neueneegg	22
3.3 Abflussmessungen in der Sense und ihren Seitenbächen am 24.2.1993	27
6.1 Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers und der Sense (Situation Beilage 2)	59
6.2 Chemische und physikalische Eigenschaften des Grundwassers in den WEA-Sondierbohrungen (Situation Beilage 2)	60
6.3 Chemische und physikalische Eigenschaften der Oberflächengewässer am 3. Juni 1992 (Situation Beilage 2)	61
8.1 Konzessionierte Grundwasserentnahme (Stand August 1993)	75
8.2 Basisdaten für die Grundwasserbewirtschaftung	76

## VERZEICHNIS DER BEILAGEN

1	Grundkarte 1:25 000
2	Isohypsen des Grundwasserspiegels, Mittelwasserstand, Oberfläche des Grundwasserstauers 1:10 000 Geologische Profile L ~ 1:10 000 H ~ 1:1 000 10fach überhöht
3	Hydrochemie, 4 Teilkarten 1:25 000
4	Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1:25 000

## VERZEICHNIS ANHANG

85

Profile der Bohrungen KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6  
(mit WEA-Ordnungsnummer)

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Sensetal befindet sich auf dem Kantonsgebiet das grösste Grundwasservorkommen westlich von Bern und das einzige, das von mehreren öffentlichen Fassungen genutzt wird. Die überbauten und eingezonten Gebiete, Verkehrsadern sowie die intensiv geführten Landwirtschafts- und Gärtnereibetriebe bedrohen indessen die bestehende und künftige Grundwassernutzung immer mehr, was öfters zu Interessenkonflikten führt.

Ausschlaggebend für die Speisung des Grundwassers ist die Sense. Sie ist auch weitgehend für die gute Qualität des Grundwassers verantwortlich, das in der Regel ohne Aufbereitung als Trinkwasser genutzt werden kann.

Bis heute wurde das Sensetal-Grundwasservorkommen weder güte- noch mengenmässig massiv beeinträchtigt. Es gilt dies auch in Zukunft zu verhindern und eine möglichst optimale Bewirtschaftung dieses Trinkwasserreservoirs zu ermöglichen. Der vorliegende Bericht soll die Grundlagen dazu liefern.

Die wichtigsten Ergebnisse der Studie, die den Grundwasserstrom zwischen Heiti-Büffel südwestlich Mittelhäusern und Laupen umfasst, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Ausdehnung und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters ermöglichen zwischen Heiti-Büffel und Neuenegg eine intensive Grundwassernutzung, die dank der Speisung durch die Sense auch in Trockenzeiten gewährleistet ist. Zwischen Neuenegg und Laupen sind bestenfalls lokal kleinere Fassungen möglich.
- Das nutzbare Grundwasserdargebot beläuft sich im untersuchten Perimeter auf 21'500 l/min., davon werden heute effektiv 7'800 l/min. genutzt. Von der möglichen Zusatznutzung von 13'700 l/min. stehen für Trinkwasser noch 8'000 l/min. vorbehaltlos zur Verfügung.
- Chemisch weist das Grundwasser in der Regel Trinkwasserqualität auf. Dank dem wenig belasteten Flusswasserinfiltrat beträgt der Nitratgehalt in den Trinkwasserfassungen nur 6 - 12 mg/l. Der Toleranzwert von 40 mg/l wird, von wenigen Ausnahmen abgesehen, im gesamten Untersuchungsgebiet eingehalten.

- Die Sense bildet eine hydraulische Barriere zwischen den Grundwasservorkommen der Berner und Freiburger Seite. Nur zwischen der SBB-Brücke bei Thörishaus und Oberflamatt wird der Fluss vom Grundwasserstrom unterflossen. Auf diesem Abschnitt besteht keine direkte hydraulische Verbindung zwischen Sense und Grundwasser, wie sie sonst im gesamten Untersuchungsgebiet feststellbar ist.
- Veränderungen im Flussbett durch Hochwasser und Flussverbauungen beeinflussen die Flusswasserinfiltration nachhaltig, sowohl quantitativ wie qualitativ (Flussverbauung von 1969, Hochwasser vom 29./30. Juli 1990). Die Bedingungen für künftige bauliche Eingriffe im Sensebett müssen daher vorgängig sorgfältig abgeklärt werden.
- Um langfristig eine möglichst zweckmässige Nutzung der Grundwasserressourcen zu gewährleisten, wurde der Grundwasserleiter in Nutzungsbereiche unterteilt, die namentlich die Trinkwasserentnahme sichern sollen. Dabei wurde vor allem stromabwärts des Heiti-Büffels die Ausscheidung eines rechtsgültigen Schutzareals vorgeschlagen, das eine Entnahme von 3'000 l/min. qualitativ einwandfreiem Trinkwasser ermöglicht.

## **RESUME**

Dans la vallée de la Singine se trouve le plus grand aquifère du Canton à l'ouest de Berne, qui est également le seul à être exploité par plusieurs captages publics. Les zones construites ou constructibles, les routes ainsi que les exploitations maraîchères et agricoles intensives menacent de plus en plus l'exploitation actuelle et future de la nappe, ce qui mène souvent à des conflits d'intérêts..

La Singine est déterminante pour l'alimentation de la nappe aquifère. Elle est aussi responsable, dans une grande mesure, de la bonne qualité de l'eau souterraine, qui peut généralement être utilisée sans traitement comme eau potable.

A ce jour, la nappe de la vallée de la Singine n'a jamais été altérée de manière significative ni quant à la quantité ni quant à la qualité. Il s'agit d'éviter que cela se produise à l'avenir, et de permettre une gestion optimale de ce réservoir d'eau potable. C'est à cela qu'est destiné le présent rapport.

Les principaux résultats de cette étude, qui concerne l'écoulement souterrain entre Heiti-Büffel au sud-ouest de Mittelhäusern et Laupen, peuvent être résumés comme suit:

- L'extension et la perméabilité de l'aquifère permettent une exploitation intensive de l'eau souterraine entre Heiti-Büffel et Neueneegg; cette exploitation est assurée même en période de sécheresse grâce à l'alimentation par la Singine. En revanche entre Neueneegg et Laupen seuls de petits captages locaux sont possibles.
- Les ressources d'eau souterraine exploitables s'élèvent à 21'000 l/min. dans le secteur étudié, dont 7'800 l/min. sont aujourd'hui effectivement exploités. Des 13'700 l/min. actuellement non exploités, 8'000 l/min. sont certainement exploitables comme eau potable.
- L'eau souterraine répond généralement aux exigences chimiques pour l'eau potable. Grâce à l'eau d'infiltration peu chargée de la Singine, la teneur en nitrates dans les captages d'eau potable n'est que de 6 à 12 mg/l. A quelques exceptions près, la valeur tolérée de 40 mg/l est respectée dans toute la région étudiée.
- La Singine forme une barrière hydraulique entre les nappes des rives bernoise et fribourgeoise. La nappe ne s'écoule par dessous cette rivière qu'entre le pont CFF de Thörishaus et Oberflamatt. Dans cette section, il n'y a pas de liaison hydraulique

entre la Singine et la nappe aquifère, au contraire de ce qui a pu être mis en évidence dans tout le reste de la région étudiée.

- Des modifications du lit de la Singine provoquées par des crues et par des ouvrages de correction influencent ses conditions d'infiltration de façon durable, tant qualitativement que quantitativement (correction du lit de 1969, crue des 29./30. juillet 1990). C'est pourquoi les conditions pour de futures corrections du lit de la Singine devront être déterminées avec le plus grand soin.
- Afin de garantir une utilisation optimale à long terme des ressources d'eau souterraine, l'aquifère a été divisé en secteurs d'exploitation, qui doivent notamment assurer l'exploitation d'eau potable. Dans ce cadre, nous proposons avant tout la mise en vigueur d'un secteur de protection des eaux souterraines à l'aval de Heiti-Büffel, qui permettra d'exploiter en permanence 3'000 l/min. d'eau qualitativement potable.

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Aufgabe und Zielsetzung

Das Grundwasservorkommen, das in der mit Schottern gefüllten eiszeitlichen Rinne des Sensetales zwischen Mittelhäusern und Laupen fliesst, wird heute vor allem in den Gemeinden Neuenegg (BE) und Wünnewil-Flamatt (FR) für die Trink- und Brauchwasserversorgung genutzt. Mit der in den letzten Jahren gesteigerten Nutzung des Landes durch die Landwirtschaft, die Industrie und das Gewerbe, wie auch wegen der sich ausdehnenden Siedlungsfläche, sind Konflikte entstanden: Das Grundwasser wird zunehmend gefährdet

- qualitativ durch versickernde chemische Schadstoffe, wie z.B. Lösungsmittel, Nitrate, Abwasser aus undichten Kanalisationen;
- quantitativ durch die steigende Verdichtung landwirtschaftlich genutzter Böden und die wachsende Versiegelung durch Strassen, Plätze usw.

Da es sich um das einzige grössere Grundwasser-Vorkommen südwestlich von Bern handelt, ist eine optimale Bewirtschaftung und ein ausreichender Schutz vor allem vor chemischen, schwer abbaubaren Verunreinigungen für die regionale Wasserversorgung bedeutend. Im weiteren gilt es, die Hoheitsrechte der beiden Kantone Freiburg und Bern gegeneinander abzuwägen und eine gemeinsame Bewirtschaftungs- und Schutzstrategie zu entwickeln. Die von früheren lokalen Untersuchungen vorliegenden Daten genügten nicht, um diese Aufgabe zu erfüllen.

Bereits 1984 ist ein Untersuchungsprogramm für das Gebiet des Kantons Bern aufgestellt worden. Die zur Verfügung stehenden Kredite erlaubten nicht, es aufzunehmen. 1989 sind erneut zwei Konkurrenzofferten für die Untersuchungen eingeholt worden. Verschiedene in der Zwischenzeit von Privaten durchgeführte geologische und hydrogeologische Abklärungen sowie die Entwicklung verbesserter elektromagnetischer Untersuchungsmethoden erlaubten, die Gesamtkosten gegenüber 1984 zu senken.

Die Zielsetzung hätte eine enge Zusammenarbeit mit dem Umweltschutzamt des Kantons Freiburg gefordert. Verschiedene Gespräche sind mit dem zuständigen Geologen, Herrn Dr. F. Becker, geführt, ein Programm für Zusatzuntersuchungen ist unterbreitet worden. Leider konnte sich der Kanton Freiburg an den Untersuchungen nicht beteiligen, weil im mehrjährigen Finanzplan andere Prioritäten festgelegt wor-

den sind. Das Umweltschutzamt hat aber die Gemeinde Wünnewil-Flamatt gebeten zu prüfen, ob sie nicht mit einer Schutzzonen-Untersuchung für ihre Grundwasserfassung im beschränkten Rahmen mithelfen könnte, einige wichtige Fragen auf freiburgischem Gebiet zu beantworten. Dies war möglich, die ergänzenden Abklärungen waren für uns sehr wertvoll (KELLERHALS & HAEFELI, 1993).

## **1.2 Kredite, Subventionen**

Der Grosse Rat hat am 15. Februar 1990 das ihm unterbreitete Untersuchungsprogramm, das Kosten von Fr. 492'530.-- vorsah, genehmigt (GRB 4675). Wegen der Finanzknappheit konnten die Untersuchungen erst 1991 richtig aufgenommen werden. Der Kostenrahmen konnte eingehalten werden.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft hat gestützt auf Art. 34 des Gewässerschutzgesetzes von 1971 an die Gesamtsumme eine Subvention von 23.52 %, d.h. Fr. 115'885.--, ausbezahlt. Das Gesetz erlaubt leider nicht, wichtige Grundlagen für Nutzungs- und Schutzkonzepte wie Bewirtschaftungsszenarien, Aufnahmen der Gefahrenpotentiale usw. voll zu subventionieren.

## **1.3 Bearbeiter**

Die Untersuchungen sind von Dr. R. V. Blau, Vorsteher der Stabsstelle Geologie des kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes, geleitet worden. Für den Programmablauf, die Bauleitung der Bohrungen, die Erstellung der übrigen Messstellen, die Feldversuche, die Datenerhebung und -verarbeitung sowie die Bearbeitung der siedlungswasserwirtschaftlichen Aspekte war die Firma Kellerhals & Haefeli AG zuständig, als Sachbearbeiter wirkte Dr. A. Greco.

Die physikalisch-chemischen und bakteriologischen Analysen führte das Kantonale Laboratorium Bern durch. Die elektromagnetischen Messungen (VLF-R) sind von Prof. Dr. I. Müller, Thielle-Wavre, die Bohrarbeiten von der Firma Stump Bohr AG Bern ausgeführt worden.

An dieser Stelle sei allen, die mitgeholfen haben, bestens gedankt. In den Dank einbezogen werden auch die Mitarbeiter der Wasserversorgungen und Bauverwaltungen der im Untersuchungsgebiet liegenden Gemeinden. Sie waren stets bereit, ihr spezielles Wissen mitzuteilen. Ebenfalls herzlicher Dank gebührt den vielen Privaten, die uns bereitwillig ihre örtlichen Kenntnisse, ihr Land für Bohr-, Rammarbeiten

und Installationen von Messgeräten und ihre Unterlagen zur Verfügung stellten. Ein spezieller Dank geht an Herrn P. Eichwald, Kartograf im WEA, der den vorliegenden Bericht sehr sorgfältig zusammengetragen, die Karten und Pläne hervorragend gestaltet hat.

#### **1.4 Unterlagen**

Der vorliegende Schlussbericht ist eine Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse.

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

## **2. GEOLOGISCHE SITUATION**

### **2.1 Allgemeiner Ueberblick**

Das Untersuchungsgebiet ist stark geprägt durch die Erosionsformen und Ablagerungen aus dem jüngeren Quartär. Die markante Talfurche des Sensetales zwischen dem Heiti-Büffel südwestlich von Unter Mittelhäuseren und der Gegend östlich von Laupen ist zu einem grossen Teil auf die Erosion des Rhonegletschers zurückzuführen, der in die Molasse einen mehr oder weniger tiefen Trog ausgehobelt hat.

Ein erster Trog - das Ost-West gerichtete Sensetal zwischen Laupen und Thörishaus - dürfte bereits während der vorletzten, der Risseiszeit, gebildet worden sein, als der Rhonegletscher weit nach Osten vorsties. Nach dem Rückzug des Gletschers setzte eine intensive Talbildung ein. Im anschliessenden Riss-Würm-Interglazial diente dabei das heutige Sensetal dem Schwarzwasser als Abflussrinne; die Sense floss zu diesem Zeitpunkt (RUTSCH, 1967 a) vom Becken von Plaffeien nach Westen ins Galterntal.

Der würmeiszeitliche Rhonegletscher hat den heutigen geologischen Aufbau und die Morphologie des Untersuchungsgebietes stark geprägt. Der Molassefels der angrenzenden Talflanken und Hügelzonen ist teilweise bedeckt mit Vorstoss-Schottern und Moränen. Zwischen Laupen und Thörishaus führte der Gletschervorstoss zu einer weiteren Vertiefung des Sensetales. Ob an der Basis der heutigen Lockergesteinsauffüllung des Troges auch noch Schotterablagerungen aus dieser Phase übriggeblieben sind, ist fraglich: entsprechende geologische Hinweise (z.B. Gradierung, Grundmoräne über der Schotterabfolge) fehlen.

Beim Rückzug des Gletschers folgten die Schmelzwässer ("Sense" und "Schwarzwasser") dem abschmelzenden Eisrand und flossen nach Norden: Eine derartige Abflussrinne existierte z.B. bei Thörishaus (in Richtung Wangental) und möglicherweise auch nordöstlich von Neuenegg, wo der Molassefels am nördlichen Talhang heute auf einer längeren Strecke durch ältere Schotter (Stauschotter, evtl. auch Rinnenschotter) abgelöst wird (vgl. auch RUTSCH 1967 a und BLUMER 1976). Erst nach dem Rückzug der Gletschermassen fand die Sense ihren heutigen Lauf nach Westen. In einer ersten, frühen Rückzugsphase wurde dabei der Sensetal-trog vorerst mit einer mächtigen Schottermasse gefüllt. Deren Oberkante lag, wie die Schotterterrasse südlich von Laupen zeigt, mindestens 20 - 30 m über dem heutigen Talboden (BECKER UND RAMSEYER 1972, BECKER 1973). Zu einem späteren, sicher postglazialen Zeitpunkt wurde diese Schotterabfolge jedoch grösstenteils wieder bis auf die heutige Talsohle erodiert.

## 2.2 Tertiär

### 2.2.1 Molassestufen

Der Untergrund und die Talflanken des Untersuchungsgebietes werden durch die Ablagerungen der flachliegenden mittelländischen Molasse gebildet und zwar fast ausnahmslos durch den oberen Teil der Unteren Süsswassermolasse, das "**Aquitaniën**" (vgl. RUTSCH & FRASSON (1953) sowie KELLERHALS & HAEFELI, im Druck). Es handelt sich dabei um meist massige, feinkörnige Sandsteinabfolgen, welche mit bunten Mergeln wechsellagern. Diese Gesteinsserie kann gesamthaft als sehr wenig durchlässig bezeichnet werden. Die Schichtabfolgen werden in der Region gemäss RUTSCH & SCHLUECHTER (1973) und BLUMER (1976) als **Gümmenen-Schichten** bezeichnet; sie weisen im Untersuchungsgebiet eine leichte Neigung nach Süden auf.

Ganz im Süden des Untersuchungsgebietes, wo sich das Sensetal beim Heiti-Büffel stark verengt, treten an den Talflanken die Ablagerungen der nächstjüngeren Stufe, dem "**Burdigalien**" auf (unterer Teil der Oberen Meeresmolasse). Ueber dem markanten Grenzhorizont, der Scherli-Nagelfluh, folgt hier eine massige Abfolge von Sandsteinen und Muschelsandsteinen. Die unterschiedliche Höhenlage der Scherli-Nagelfluh an den beiden Talflanken in diesem Gebiet ist nur durch eine tektonische Störung (Bruch) erklärbar (vgl. Profile I und II in Beilage 1).

### 2.2.2 Molasseoberfläche

(Vgl. Profilsereien in Beilage 2)

Die ursprüngliche Erosionsform der Molasse im Sensetal ist durch eine Vielzahl von Bohrungen, durch Detailkartierungen und durch geophysikalische Untersuchungen weitgehend bekannt. Die auf Beilage 2 aufgezeichneten Isohypsen des Grundwasserstauers entsprechen in weiten Teilen auch denjenigen der Molasseoberfläche.

Im obersten Abschnitt des Untersuchungsgebietes zwischen dem Heiti-Büffel südwestlich von Unter Mittelhäuseren und Thörishaus wird das enge Sensetal durch steile Felsflanken begrenzt. Die Trogbreite beträgt lediglich ca. 100 bis 200 m. Die Uebertiefung kann aufgrund älterer geophysikalischer Untersuchungen und weniger Bohrungen mit ca. 20 m im Süden bis ca. 26 m in der Gegend der Thörishaus-Au angegeben werden (Profile I und II).

Im Abschnitt zwischen Thörishaus und Neuenegg weitet sich das Becken auf eine Breite von 400 - 500 m aus. Es wird auch hier weitgehend durch steile Felsflanken begrenzt (Profile III und IV). Lediglich nordöstlich von Neuenegg wird der Molassehang auf einer Strecke von ca. 1.3 km durch eine Terrasse mit würmzeitlichen Schottern unterbrochen (Profil V). Die maximale Uebertiefung nimmt von Osten nach Westen kontinuierlich von ca. 25 m auf ca. 10 m ab. Im Louelemoos unmittelbar westlich von Neuenegg beträgt die Uebertiefung sogar nur noch ca. 4 - 6 m (Profil VI). Die Felsoberfläche ist in diesem Abschnitt gekennzeichnet durch verschiedene kleinere Rinnen, welche teilweise mit einer geringmächtigen Moränenschicht (Würm?) überdeckt sind (Profil V).

Unterhalb des Louelemooses ist das Sensetal vorerst auf einer Strecke von ca. 2 km erneut nur etwa 200 - 300 m breit und wird beidseits durch steile Molasseflanken begrenzt (Profil VII). Im Gebiet der Riedli-Au weitet sich das Tal bis nach Laupen allmählich wieder. Die nördliche Abgrenzung des Troges wird weiterhin durch steile Felsflanken gebildet. Am südlichen Talrand sind der Felsflanke jedoch junge, spät- bis postglaziale Schotter angelagert. Die Uebertiefung ist in diesem Abschnitt nur noch sehr gering und beträgt maximal ca. 4 - 5 m (Profile VIII und IX). Ausgangs des Sensetales bei Laupen wurde der Molassefels in der südlichen Talseite gemäss der Bohrung 584.194/10 erst in einer Tiefe von ca. 11 m erreicht (Profil IX). Möglicherweise handelt es sich hier um eine ältere (tiefe ?) Entwässerungsrinne der Sense.

### 2.3 Quartär

Wie im Kapitel 2.1 bereits ausgeführt, wurden grosse Teile des Sensetaltrages im Untersuchungsgebiet wahrscheinlich bereits während der vorletzten Eiszeit (Riss), sicher jedoch im Interglazial zwischen den beiden letzten Eiszeiten angelegt. Ablagerungen aus dieser Zeit sind heute vermutlich keine mehr vorhanden.

Hingegen sind heute noch verschiedene Sedimente zu finden, die während der letzten, der würmeiszeitlichen Vergletscherung abgelagert worden sind. Auf den angrenzenden Hügelzonen und im oberen, abflachenden Teil der steilen Talflanke ist der Molassefels grösstenteils von einer **Deckmoräne** (dm) und von Vorstoss-Schottern (nördlich des Sensetals als **Forst-Schotter** (fs) bezeichnet, nach KELLERHALS & HAEFELI, im Druck) des Rhonegletschers bedeckt. Im Trogbereich werden gewisse Ablagerungen der Würmzeit zugeordnet. Als **Würmmoräne** (wm) interpretiert werden die feinkörnigen Schichten, die z.B. beim Filterbrunnen (590.193/28) in Neuenegg direkt über dem Molassefels, an der Basis der

darüberliegenden jungen Schotter, erbohrt worden sind (Profil V, Beilage 1). Die Schotter an der Talflanke nordöstlich von Neuenegg werden als **Stauschotter** (ss) angesehen, die in einem eisfreien Trog während eines Stadiums des Gletscherstandes entstanden sind. Möglicherweise handelt es sich bei diesem Vorkommen teilweise auch um **Rinnenschotter** (rs), die bei einem interstadialen Stand des Rhonegletschers in einer nach Norden gerichteten Schmelzwasserrinne geschüttet worden sind. Als **Rückstausedimente** (rt) des zurückweichenden Gletschers werden schliesslich die feinkörnigen, z.T. tonigen Sedimente betrachtet, welche ausgangs des Sensetales bei Laupen auf der Südseite des Troges erbohrt worden sind (Profil IX).

Die Auffüllung des Sensetales erfolgte vermutlich grösstenteils während und nach dem etappenweise erfolgten Rückzug des würmzeitlichen Rhonegletschers (d.h. spät- bis postglazial) durch die Ablagerung von **jungen alluvialen Schottern** (js), den sogenannten Sense-Schottern. Es handelt sich dabei um einen mehr oder weniger einheitlichen Schotterkörper, der vorwiegend aus sauberen Kiessanden besteht. Diese Schotter bilden den hauptsächlichen Grundwasserleiter des Untersuchungsgebietes. Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, wiesen diese Ablagerungen ursprünglich eine bedeutend grössere Mächtigkeit auf: Das Vorkommen von jungen Schottern an der südlichen Talflanke südöstlich von Laupen zwischen Bösinggen und Noflen entspricht mit seiner Terrassenoberfläche von 500 - 510 m.ü.M. wahrscheinlich einem alten Talboden während einer frühen spät- bis postglazialen Erosionsphase der Sense. Durch die rückschreitende Erosion wurden jedoch diese Schotter allmählich bis auf das heutige Talniveau abgetragen. Während der Schotterauffüllung des Sensetales wurde von den seitlichen Talflanken verschiedentlich auch **Gehänge- und Bachschutt** (gs) in den Trog transportiert.

### **3. HYDROLOGISCHE BASISDATEN**

#### **3.1 Allgemeines**

Das gesamte Einzugsgebiet des untersuchten Talabschnittes umfasst über 400 km<sup>2</sup>. Es erstreckt sich vor allem in südlicher Richtung, wo es bis zur Gantrischkette reicht. Die nördliche Ausdehnung ist dagegen eng begrenzt und erreicht bestenfalls wenige Kilometer. Bis zur Talwasserscheide Thörishaus/Halen sind es rund 1.4 km. Die hydrologischen Verhältnisse im Sensetal sind deshalb stark voralpin geprägt, die durch keine Staustufen gebremsten Sense und Schwarzwasser übertragen das Niederschlagsgeschehen in der Gantrischregion rasch ins Untersuchungsgebiet.

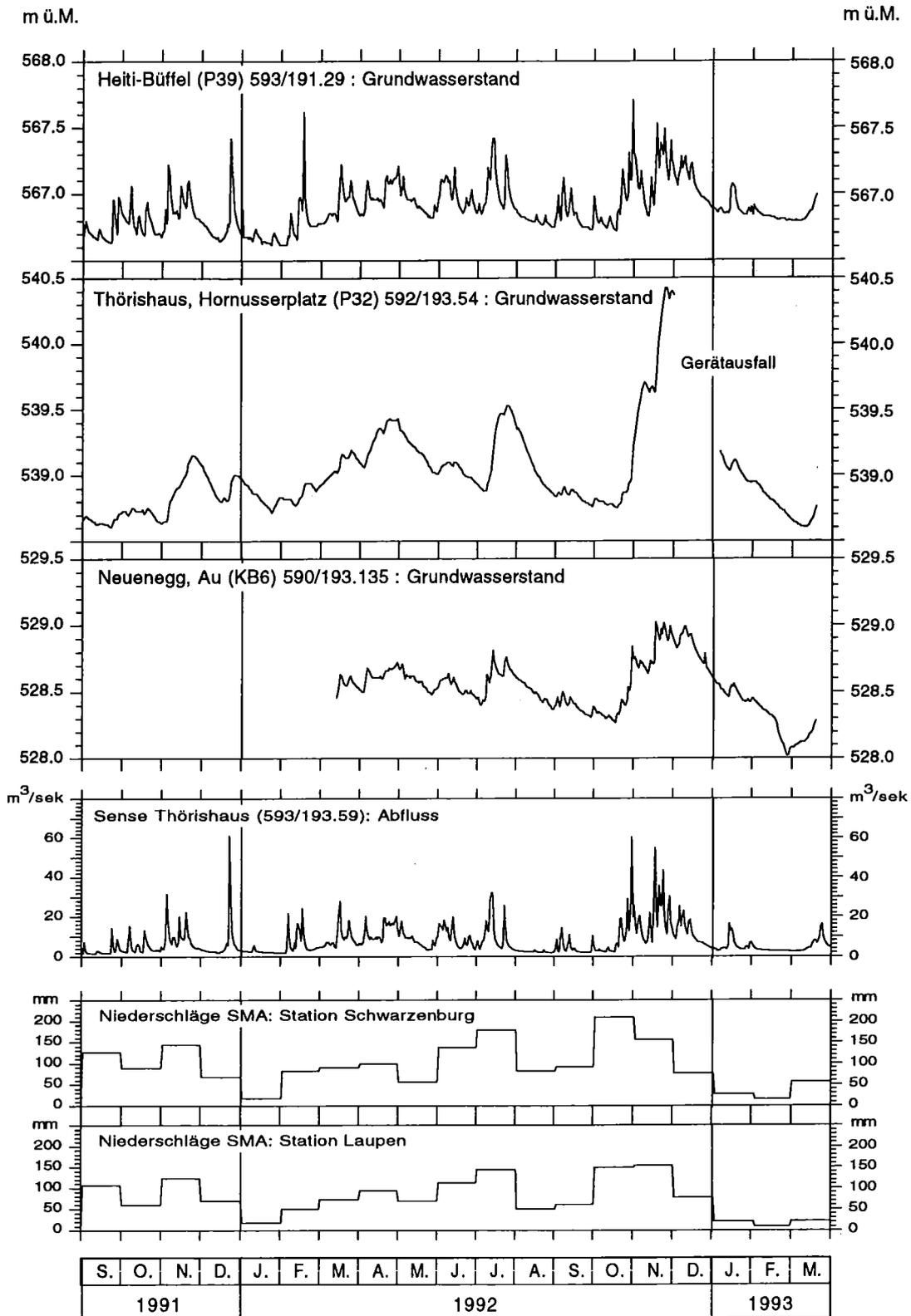
Auf eine hydrologische Gesamtbilanz wurde in diesem eng begrenzten, schlauchförmigen Grundwassergebiet mit der Sense als dominierende Komponente von vornherein verzichtet. Sie hätte das Ziel dieser Studie und die zur Verfügung stehenden Mittel bei weitem überschritten. Es wurde deshalb nur eine Grundwasserbilanzierung angestrebt, wozu die hydrologischen Daten Grenz- und Richtwerte abgaben.

Die Beobachtungsperiode betrug grösstenteils 18 Monate und begann im Frühjahr 1991, wobei einige Messstellen bis zum Herbst 1993 unterhalten wurden (Limnigraphen). Daneben wurden zu Vergleichszwecken einzelne Messungen ausserhalb dieser Periode berücksichtigt. Die 2 wichtigsten Stationen (593.191/29 und 592.193/54) werden in das permanente hydrometrische Netz des Kantons eingegliedert.

Das Grundwasser-Messstellennetz umfasste 3 Limnigraphen, 5 Grundwasserfassungen (Vertikalfilterbrunnen), 9 Grundwasserschächte, 6 Kernbohrungen mit Beobachtungsrohren, 8 Schlagbohrungen mit Beobachtungsrohren sowie bis zu 79 gerammte Beobachtungsrohre (Zahl variabel, da einige nur kurzfristig). Der Oberflächenwasser-Abfluss wurde erfasst mit dem Limnigraphen der Landeshydrologie an der Sense (Station Thörishaus) und 59 Pegelmarken an Oberflächengewässern. Zudem konnten bei der Abklärung von speziellen Problemen (meist im Zusammenhang mit Untersuchungen für Gemeinden) vorübergehende Installationen benutzt werden.

Einen allgemeinen Ueberblick zum Verhalten des Grundwasserspiegels im Vergleich zu den Niederschlägen und der Wasserführung der Sense vermittelt Figur 3.1. Die enge hydraulische Beziehung zwischen Sense und Grundwasser kommt

**Figur 3.1 Verlauf der Grundwasserstände (Tagesmittel), des Sense-Abflusses (Tagesmittel) und der Niederschläge (Monatsmittel) September 1991 - März 1993**



deutlich zum Ausdruck. So liegt z.B. der Grundwasserspiegel infolge der Schneeschmelze im Gantrischgebiet im April höher als im Juni, obwohl im Juni mehr Niederschläge zu verzeichnen waren.

### **3.2 Niederschlag**

Am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes liegt die Station Laupen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA). Weitere, nur 6 - 7 km von der Sense entfernte Niederschlagsstationen der SMA befinden sich in Schwarzenburg und Bern-Liebefeld. In Anbetracht dessen, dass Schwarzenburg mitten im Einzugsgebiet liegt, Bern-Liebefeld sich dagegen etwas weiter entfernt und ausserhalb befindet, wurden nur die Stationen Schwarzenburg und Laupen in die Untersuchungen einbezogen.

Die gemessenen monatlichen Niederschläge für die Periode Januar 1991 - März 1993 sind in der Tabelle 3.1 aufgeführt. Infolge der zu geringen Beobachtungsdauer steht leider für die Station Laupen kein Normalwert als Vergleichsbasis zur Verfügung. Wie die Figur 3.1 zeigt, verläuft jedoch das Niederschlagsgeschehen in Schwarzenburg im allgemeinen ziemlich ähnlich wie in Laupen, mit dem Unterschied, dass die Niederschlagshöhen in Schwarzenburg im Mittel ca. 25 % höher liegen als in Laupen. Selbstverständlich gibt es Ausnahmen von dieser Regel, z.B. die Niederschläge im Mai 1992 (Tab. 3.1). Gegenüber den langjährigen Mittelwerten der Station Schwarzenburg fällt für die Beobachtungsperiode vor allem folgendes auf:

- Die Jahre 1991 und 1992 waren keine Extremjahre. 1991 war etwas trockener und 1992 leicht niederschlagsreicher als das Normaljahr. Aus dieser Sicht gibt die Beobachtungsperiode repräsentative Durchschnittsverhältnisse wieder.
- Unverhältnismässig trocken war der August 1991 (ca. 10 % des Normalwertes), dagegen war der Oktober 1992 äusserst nass (242 % des Normalwertes).

Tabelle 3.1: Niederschläge im Sensetal 1991 - März 1993

**Verwendete Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt**

Schwarzenburg (SMA 5780) : 806 m ü.M.  
 Laupen (SMA 5790) : 481 m ü.M.

**Monatssummen**

Station	Jahr	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Schwarzenburg	1991	67	43	85	57	136	223	123	14	127	90	144	69	1'178
Laupen	1991	51	33	89	36	69	169	112	11	107	59	123	69	928
Schwarzenburg	1992	18	82	90	99	56	137	179	83	92	209	157	77	1'279
Laupen	1992	18	51	73	94	69	113	144	51	62	150	154	78	1'057
Schwarzenburg	1993	27	16	57										
Laupen	1993	21	10	22										

**Mittelwerte 1991 - 1992**

Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Schwarzenburg	42.5	62.5	87.5	78	96	180	151	41.6	104.5	141.5	150.5	73	1'228.5
Laupen	34.5	42.0	81.0	65	69	141	128	31	84.5	104.5	138.5	73.5	992.5

**Mittelwerte (Normalwerte) 1901 - 1960**

Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Schwarzenburg	68.8	65.7	82.9	95.0	114.9	142.6	135.4	135.0	106.7	86.3	82.8	76.2	1'194

**Verhältnis Mittelwerte 1991 - 1992 / Normalwerte [%]**

Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Total
Schwarzenburg	61.8	95.1	105.5	82.1	83.6	126.2	111.5	30.8	102.6	173.2	181.8	95.8	102.9

### 3.3 Abfluss

Der Senselauf wurde in den Jahren 1904 - 1926 grösstenteils kanalisiert. Infolge verschiedener Kiesausbeutungen, namentlich bei Laupen, und grösseren Fließgeschwindigkeiten der Sense wurde das Flussbett vertieft. Durch behelfsmässigen Holzverbau (Tannenwalzen, Faschinen) versuchte man dieser Entwicklung entgegenzusteuern. Der systematische Einbau von Flussschwellen erfolgte in den 60er Jahren, vor allem 1969. Später gab es keine wesentlichen Veränderungen mehr im Flussverbau, mit Ausnahme von Schwellenverbesserungen oder Instandstellungsarbeiten nach Hochwässern (EIDG. AMT FÜR STRASSEN- UND FLUSSBAU, 1970; BLUMER, 1976).

In nachstehender Tabelle 3.2 sind die Veränderungen des Flusssohlenniveaus summarisch festgehalten. Jede Veränderung der Sohle hatte selbstverständlich auch eine Aenderung des Wasserstandes und damit des Grundwasserspiegels zur Folge (siehe Kap. 5.2 und 8.1).

Tabelle 3.2 Veränderung der Flussole der Sense zwischen Heiti-Büffel und Neuenegg

<b>Abschnitt</b> (Ortsbezeichnungen siehe Beilage 2)	<b>Sohlenveränderung</b> 1961/62 bis 1992 (km ab Einmündung in Saane)
Heiti-Büffel (593'520/191'220) - Sensematt / (vor Scherlibach-Einmündung)	± 0.5 m (10.7 - 12.0 km)
Sensematt - Riedernbrücke (593'490/192'900)	- 0.5 bis 1.2 m (10.1 - 10.7 km)
Riedernbrücke - SBB-Brücke (593'150/193'150)	± 0.5 m (9.7 - 10.1 km)
SBB-Brücke - Autobahnbrücke (592'820/193'230)	- 0.5 bis 1.0 m (9.4 - 9.7 km)
Autobahnbrücke - Alte Strassenbrücke Thörishaus-Flamatt (591'770/193'560)	± 0.5 m (8.1 - 9.4 km)
Flamatt (591.770/193.560) - Neuenegg (589.500/193.500)	± 1.0 m (6.0 - 8.1 km) (Tendenz abnehmend)

Die von der Landeshydrologie seit 1927 betriebene Abflussmessstation Thörishaus befindet sich im oberen Teil des Untersuchungsgebietes in der Sensematt (Koord. 593.350/193.020) auf 548 m ü.M. Sie liegt damit 10.0 km vor der Einmündung der Sense in die Saane, dem untersten Punkt des Untersuchungsperimeters. Das Einzugsgebiet bis zur Station beträgt 352 km<sup>2</sup> und besitzt eine mittlere Höhe von 1'068 m ü.M. (LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE).

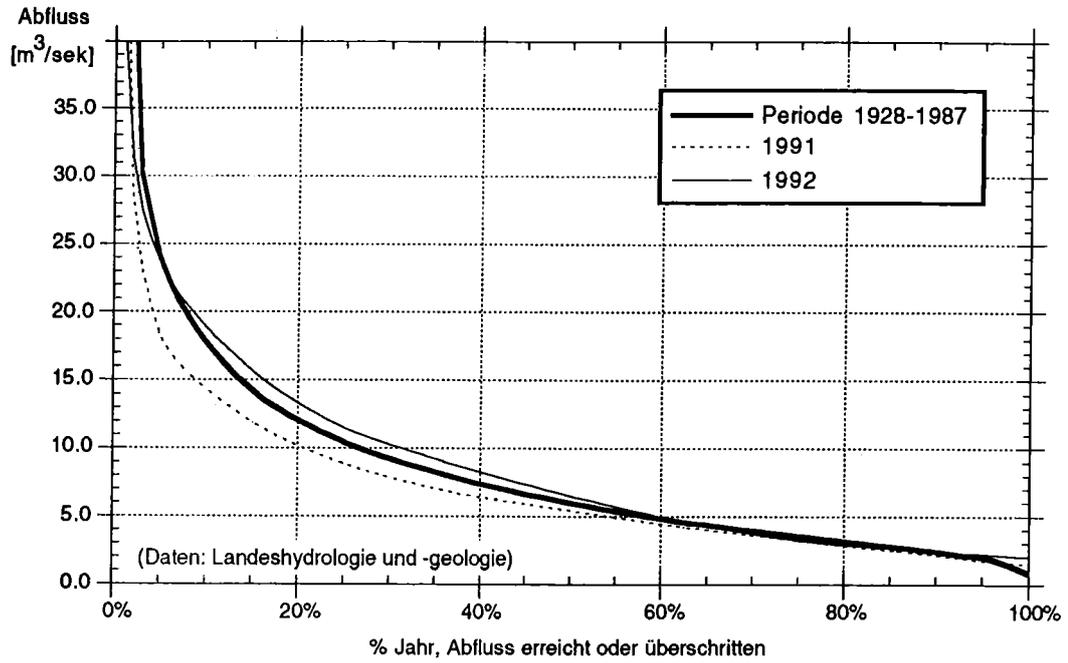
Bei einer durchschnittlichen Jahresabflussmenge von 8.56 m<sup>3</sup>/s variieren die Extremwerte ausserordentlich stark zwischen 0.79 und 360 m<sup>3</sup>/s. Abgesehen vom Schwarzsee, aus dem die warme Sense entspringt, besteht nirgends ein Retentionsbecken oder eine Staustufe, was die grossen Hochwasserspitzen erklärt. Das Abflussregime der Sense ist aus der Dauerkurve (Fig. 3.2) ersichtlich. Für die langjährige Periode 1928 - 1987 und die Jahre 1991 und 1992 ergaben sich folgende charakteristische Werte:

	1928-1987	1991	1992
Q min. [m <sup>3</sup> /s]	0.79	1.47	1.86
Q max. [m <sup>3</sup> /s]	360	99	149
Q 90 1) [m <sup>3</sup> /s]	2.37	2.13	2.40
Q 50 1) [m <sup>3</sup> /s]	5.98	5.42	6.52
MQ 2) [m <sup>3</sup> /s]	8.56	7.19	6.71
Spende [l/s · km <sup>2</sup> ]	24.3	21.0	19.1

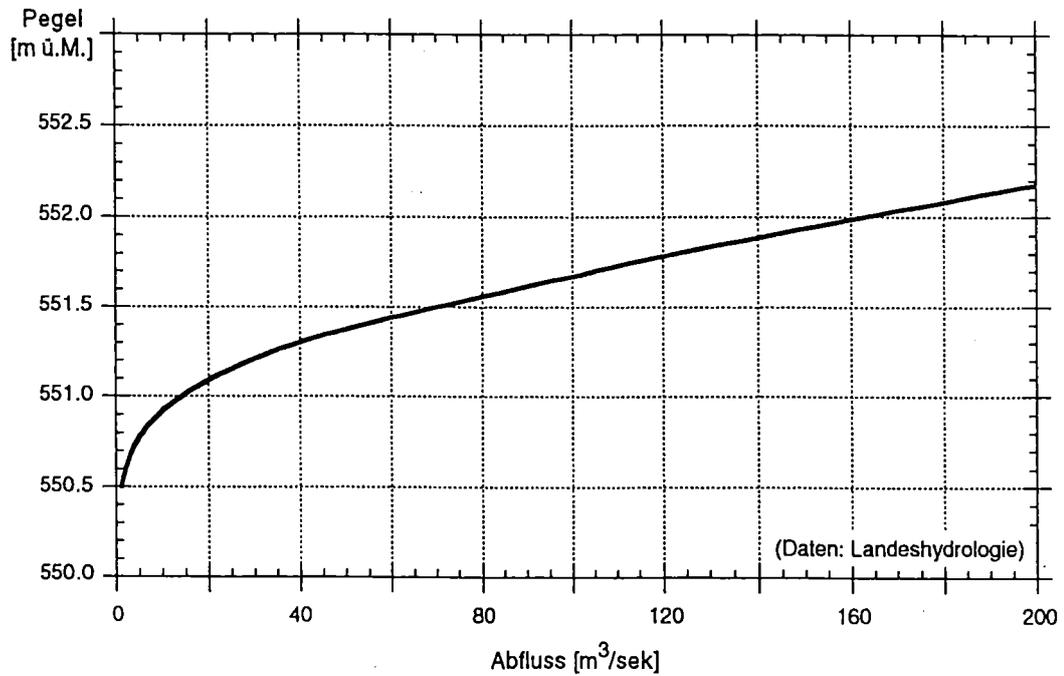
- 1) Abflussmengen während 90 % bzw. 50 % des Jahres vorhanden oder überschritten
- 2) Durchschnittliche Jahresabflussmenge

Die nicht besonders flach verlaufende Dauerkurve, das Verhältnis Q 90/Q 10 ist in der Regel > 8 (wäre ohne Schwarzsee noch grösser), weist auf ein Einzugsgebiet von eher geringem Speichervermögen hin, was aufgrund des meist stark prägenden Reliefs nicht erstaunt. Andererseits deutet die tiefe Abflussspende an, dass sich ein wesentlicher Teil des Einzugsgebietes im relativ tiefliegenden Mittelland befindet (geringe Niederschlagshöhe).

Figur 3.2 Dauerkurven für den Senseabfluss bei Thörishaus (593.193/59)  
Abflussmessstation der Landeshydrologie



Figur 3.3 P/Q-Beziehung der Sense bei Thörishaus (593.193/59)  
Abflussmessstation der Landeshydrologie



Figur 3.3 illustriert die Pegel-Abflussbeziehung bei der Station Thörishaus. Infolge des breiten Flussbettes steigt der Flusswasserspiegel mit zunehmendem Abfluss verhältnismässig wenig an. Der bei einer Abflussmenge von  $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$  registrierte steile Wasseranstieg ist darauf zurückzuführen, dass die Sense bei Nieder- und Mittelwasser häufig nicht über die gesamte Breite des Flussbettes fliesst, sondern nur entlang des Prallhanges. Da zwischen Sense und Grundwasser eine meist enge hydraulische Beziehung besteht (Kap. 5.2), ist der Grundwasserspiegel meist stark vom Wasserstand der Sense abhängig, wie dies z.B. der Figur 3.1 entnommen werden kann. Der Grundwasserspiegel schwankt dementsprechend in recht engen Grenzen und übersteigt kaum die 2 m-Amplitude (Fig. 5.4).

An folgenden Stellen fliesst die Sense direkt auf der Molasseoberfläche:

- Zwischen Heiti-Büffel (593.520/191.220) und Riedernbrücke (592.490/192.900): linkes Ufer mit einigen Unterbrüchen
- Station Landeshydrologie Thörishaus (593.370/193.030) - SBB-Brücke Thörishaus (593.150/193.150): meist gesamte Flussbreite
- Alte Sensebrücke bei Oberflamatt (591.770/193.560) - Brücke Autobahnzubringer (591.280/193.610): rechtes Ufer bis gesamte Flussbreite
- Prallhang südlich Freiburghaus (588.000/193.150): linkes Ufer
- Schloss Laupen (584.900/194.500): rechtes Ufer

Bis zur Sensematt besitzt das linke Ufer teilweise einen künstlichen Erosionsschutz, der jedoch das Flussbett wenig einengt, so dass die Sense namentlich im unteren Abschnitt ziemlich mäandriert. Von dort bis zur Mündung in die Saane ist der Fluss beidseitig kanalisiert.

Das durchschnittliche Gefälle der Sense beträgt 7 - 8 ‰, wobei es Richtung Mündung leicht abnimmt. Damit liegt es etwas über dem Durchschnitt der mittleren Mittellandflüsse (Unterlauf). Infolge ihrer grossen Schleppkraft mussten deshalb zahlreiche Schwellen eingebaut werden. Diese haben meist eine Höhe von 0.5 - 0.9 m und beeinflussen namentlich bei angeschlossener Infiltration<sup>1)</sup> (Kap. 5.2) die Grundwasserströmung lokal. Trotz diesen Schutzmassnahmen besitzt die Sense bei

- 1) Infiltration = Speisung des Grundwassers durch Oberflächengewässer  
Exfiltration = Speisung des Oberflächengewässers durch Grundwasser

Hochwasser genügend Erosionskraft, um nicht eine vollständige Verdichtung des Flussbettes aufkommen zu lassen. Bezeichnenderweise kommt es deshalb immer wieder zu Zerstörungen der Schwellen und des Uferschutzes (Kap. 5.3).

Am 24. Februar 1993 wurde bei ausgesprochenem Niederwasser und stabilen Witterungsverhältnissen eine Abflussmesskampagne durchgeführt, die auch die Seitenbäche umfasste. Da die Sense meist breitflächig über untiefe Rinnen floss, beeinflusste das steinige bis blockige Flussbett die Genauigkeit der Tauchstabmessungen erheblich, so dass durchschnittliche Messfehler von mindestens 10 % in Rechnung gestellt werden mussten. Die Ungenauigkeit erreichte damit die Grössenordnung der möglichen Wasseraustauschmengen zwischen Fluss- und Grundwasser. Die Messungen waren deshalb für die Grundwasserbilanzierung von beschränktem Nutzen. Immerhin ist tendenziell eine kräftige Infiltration von Flusswasser zwischen Heiti-Büffel und der Abflussmessstation Thörishaus sowie eine ebenso starke Exfiltration von Grundwasser zwischen Flamatt und Sensebrügg deutlich erkennbar. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3.3 summarisch aufgeführt (Situation siehe Beilage 2).

Die sich bis Laupen aufsummierende Differenz von ca. 300 l/s zwischen den Bachwasserzuflüssen und der Abflusszunahme in der Sense ( $\Delta Q$  Heiti-Büffel - Laupen) ist einerseits auf die erwähnten Messfehler zurückzuführen. Andererseits fungiert die Sense letztlich als Vorfluter für sämtliches Meteorwasser, sofern dieses nicht direkt der ARA Laupen zugeführt wird, unabhängig von vorübergehenden In- und Exfiltrationen. So gelangt alles nicht durch Seitenbäche erfasste Niederschlags- und Hangwasser mehr oder weniger diffus in die Sense.

### **3.4 Verdunstung**

Auf die Ermittlung der Gebietsverdunstung wurde aus Kostengründen verzichtet.

Tabelle 3.3 Abflussmessungen in der Sense und ihren Seitenbächen am 24.2.1993

Seitenbäche <sup>1)</sup>			Sense	
links	rechts	l/s		l/s
			Heiti-Büffel (593.520/191.220)	1'820
	Vätere (593.500/192.160)	10*		
	Scherlibach (593.620/192.570)	225		
Mülibach (593.440/192.390)		10*		
		245	Thörishaus (Station LHYG) (593.370/193.030)	1'640
Oberflamatt Bach Ost (592.140/193.390)		15*		
	Bach Camping Thörishaus (591.870/193.580)	30*		
Oberflamatt Bach West (591.810/193.500)		15*		
		60	Oberflamatt (591.280/193.610)	1'780
Tafersbach (590.090/193.340)		26		
Pumpversuch Flamatt <sup>2)</sup>		50		
		76	Sensebrügg (588.960/193.650)	2'400
	Wileringbächli (589.330/193.850)	43		
Seisematta (588.350/193.450)		8*		
Seiserein (587.870/193.160)		15*		
Brüggmatt (587.300/193.390)		37		
	Riedli-Au (587.110/193.590)	20*		
Riedacker (586.770/193.700)		10*		
Noflen (585.640/193.720)		40		
		173	Laupen (585.140/194.400)	2'660
<b>Total Seitenbäche</b>		<b>554</b>	<b>Δ Q Sense (Heiti-Büffel-Laupen)</b>	<b>840</b>

\* Abflussmenge geschätzt

1) Ohne Bäche, die durch Grundwasseraufstösse gespiesen werden

2) Pumpmenge, die während dem Grosspumpversuch im Pumpwerk Flamatt direkt in die Sense eingeleitet wurde (590.900/193.520)

## **4. EIGENSCHAFTEN DES GRUNDWASSERLEITERS**

### **4.1 Allgemeines**

Nachfolgend ist nur vom Grundwasser im Lockergestein des Talbodens die Rede. Allfällige lokale Grundwasservorkommen in den angrenzenden Hügellgebieten sind nicht untersucht worden, da sie für eine wirtschaftliche Grundwassergewinnung nicht in Betracht kommen.

Stromabwärts von Neuenegg ist der Grundwasserleiter des Sensetals im allgemeinen sehr geringmächtig (< 3 m) ausgebildet und deshalb kaum nutzbar. Jedenfalls fällt er für öffentliche Grundwasserfassungen ausser Betracht. Nachdem trotz grosser Anstrengungen mittels elektromagnetischer Messungen (Fig. 4.1) und Rammsondierungen keine alte schotterverfüllte Erosionsrinne in diesem Talabschnitt gefunden werden konnte, konzentrierten sich die Untersuchungen vorwiegend auf den stromaufwärts von Neuenegg liegenden Perimeter.

Bei den elektromagnetischen oder VLF-R Sondierungen (Very low frequency - Resistivity) handelt es sich um eine Methode, welche sich die von Radiostationen ausgesandte elektromagnetische Energie (Radiowellen) zu Nutze macht (MUELLER & KETTIGER, 1987). Diese Wellen dringen in den Untergrund ein und induzieren dort einen elektrischen Strom. Mittels eines speziellen Empfängers lässt sich an der Geländeoberfläche eine Potentialdifferenz zwischen zwei Elektroden messen und hieraus der scheinbare Widerstand des Gesteins berechnen, woraus sich die Gesteinsbeschaffenheit ableiten lässt. Mit Hilfe von verschiedenen Frequenzbereichen lassen sich auch Schichtmächtigkeiten abschätzen. Die in Figur 4.1 dargestellten Widerstandszonen können generell wie folgt interpretiert werden:

<b>Elektrischer Widerstand bei 200 kHz in <math>\Omega</math> m</b>	<b>Grundwasserleiter Durchlässigkeitsbeiwert k, lithologische Charakterisierung</b>
500 - 700	k-Wert $> 4 \cdot 10^{-3}$ m/s, ziemlich saubere Schotter
300 - 500	k-Wert $> 1 \cdot 10^{-3}$ m/s, sandig-siltige Schotter
100 - 300	k-Wert $2 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ m/s, siltige Schotter und Sande
< 100	k-Wert $< 5 \cdot 10^{-4}$ m/s, stark siltige Schotter und Sande

## **4.2 Räumliche Ausdehnung**

Die Begrenzung des Grundwasserleiters ist aus der Beilage 2 ersichtlich. Als Ausgangslage für die horizontale Ausdehnung wurde ein mittlerer Grundwasserstand angenommen, wobei die Schnittlinie zwischen Grundwasserspiegel und randlichem Stauer die Begrenzung ergab. Diese verläuft meist entlang des rechts- und linksseitigen Hangfusses, stellenweise wird sie durch den Gehängeschutt gebildet, der dem Hangfuss vorgelagert ist. Die Ausdehnung des Grundwasserleiters zwischen Heiti-Büffel und Chropfhölzli beträgt 2.5 km<sup>2</sup>.

Die wassergesättigte Zone wird im allgemeinen durch den frei beweglichen Grundwasserspiegel nach oben begrenzt. Im Gebiet von Neuenegg reicht indessen eine schwerdurchlässige Deckschicht teilweise bis unter den Druckspiegel des Grundwassers, das heisst das Grundwasser ist lokal gespannt.

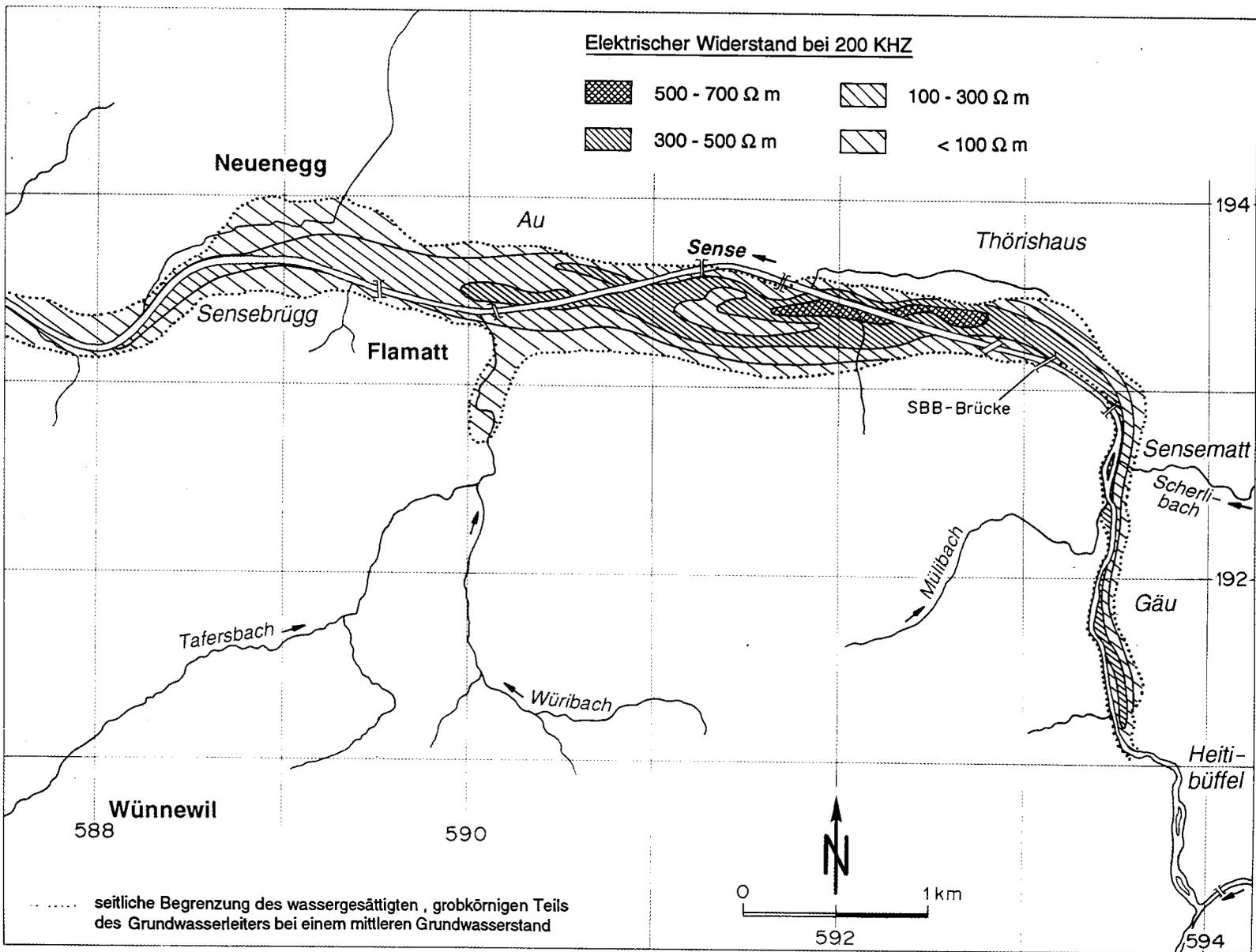
Ausgehend von der ziemlich gut belegten Staueroberfläche und dem Grundwasserspiegel vom 8.5.1992 (Mittelwasserstand, Beilage 2) wurde eine Mächtigkeitkarte des wassergesättigten Grundwasserleiters erstellt (Fig. 4.2). Die festgestellte Mächtigkeit übersteigt nirgends 20 m. Am tiefsten liegt der Grundwasserstauer in der Sensematt, wo mit 19.80 m (Fassung der Wasserversorgung Köniz, 593.192/12) die bisher grösste Mächtigkeit erbohrt wurde. Die tiefste schottererfüllte Erosionsrinne folgt meist nicht dem heutigen Flusslauf (Fig. 4.2), sondern quert diesen mehrmals, was unterhalb Thörishaus und zwischen Flamatt und Neuenegg besonders augenfällig ist.

Mit Ausnahme des Tafersbaches, der bei seiner Einmündung im Sensetal eine flache Erosionsrinne hinterliess, bestehen keine seitlichen Verzweigungen des Grundwasserleiters, auch Richtung Wangental nicht. Da das Saanetal ebenfalls wenig übertieft ist (WEA: 1989), kommt es bei Laupen nur zu einer Verbreiterung des Grundwasserleiters.

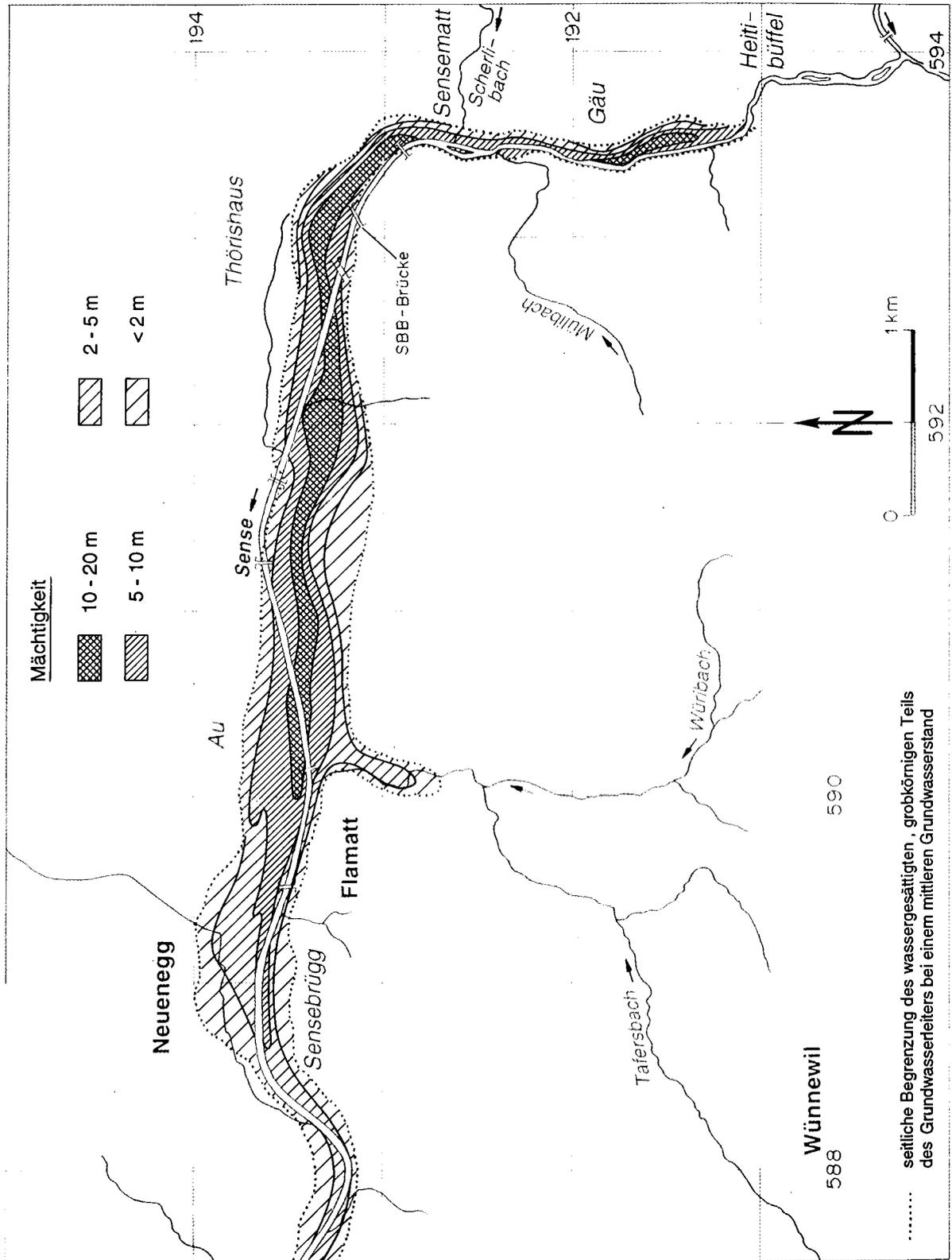
## **4.3 Grundwasserstauer**

Die Isohypsen des Grundwasserstauers sind in Beilage 2 dargestellt. Die Molasse bildet praktisch durchgehend die Staueroberfläche. Vereinzelt treten auf der Molasse schwerdurchlässige Moränenrelikte auf, wie z.B. beim Filterbrunnen (590.193/28) in Neuenegg. Stellenweise kommen am Talhang auch siltige Gehänge- und Bachschuttablagerungen vor, die mit einer Durchlässigkeit von vermutlich  $> 1 \cdot 10^{-5}$  m/s jedoch nicht als Stauer betrachtet werden können (Beilage 1).

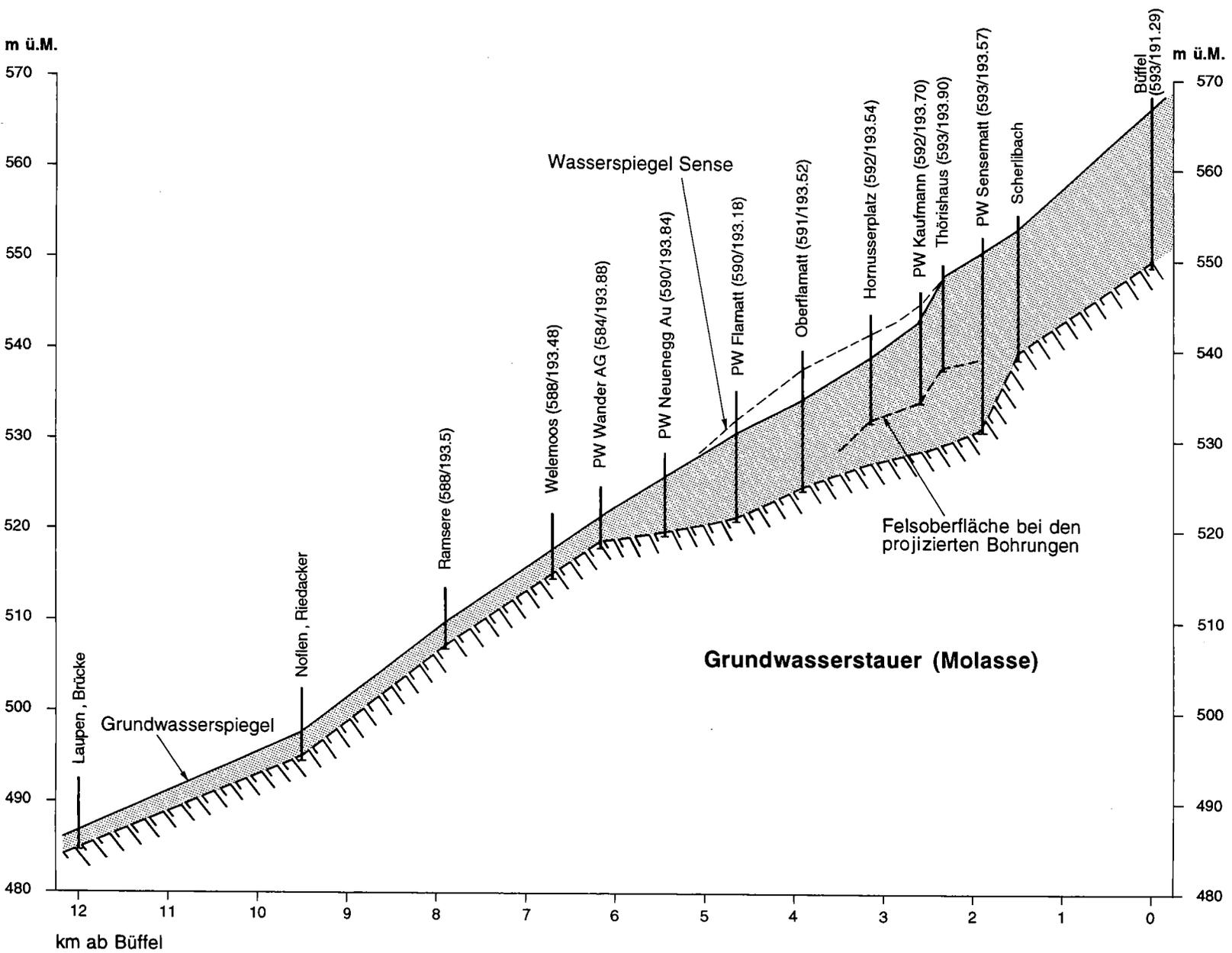
Figur 4.1 Elektromagnetische Messungen (VLF-R)  
 Karte des elektrischen Widerstandes bei 200 KHz



Figur 4.2 Mächtigkeit des wassergesättigten Grundwasserleiters bei einem mittleren Grundwasserstand



Figur 4.3 Längsprofil des wassergesättigten Grundwasserleiters entlang der Rimenachse (Situation siehe Fig. 4.2)



Die Untere Süsswassermolasse, die durchgehend die Basis des Sensetals bildet (Kap. 2.2.1), darf infolge ihrer Sandstein/Mergel-Wechselagerung als wenig durchlässig betrachtet werden. Abgesehen von oberflächlichen, abschalungsartigen Klüftbildungen dürften kaum wasserführende Klüfte auftreten.

Trotz der grossen Aufschlussdichte ist das Relief der Stauer Oberfläche noch ausgeprägter, als in Beilage 2 dargestellt. Wie das heutige, teilweise auf der Molasse verlaufende Flussbett zeigt, dürften namentlich Rippen und Sekundärrinnen viel häufiger auftreten.

#### **4.4 Deckschichten**

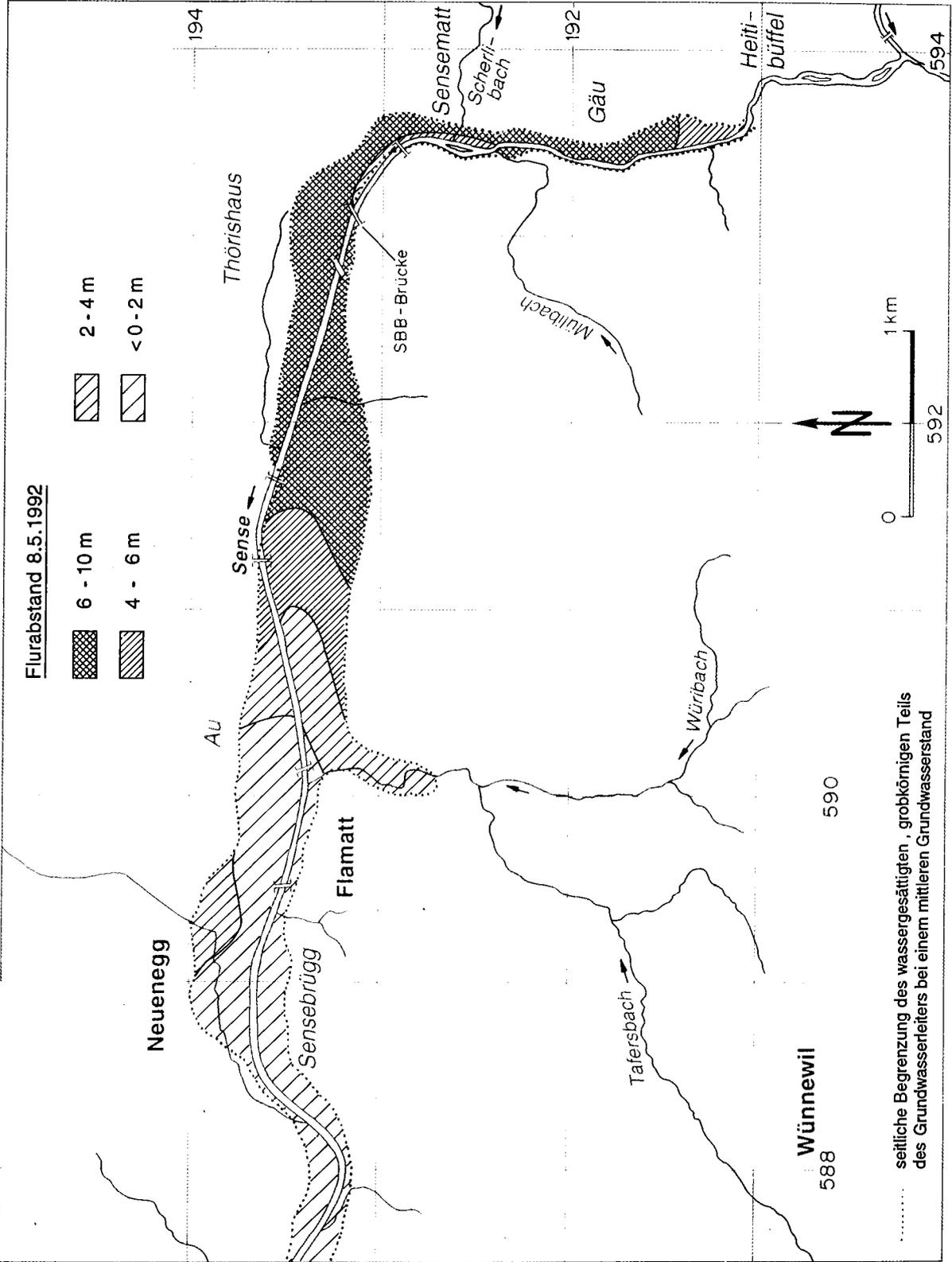
Als Deckschichten werden die Ablagerungen über dem wassergesättigten Grundwasserleiter verstanden. Je nach ihrer Ausbildung schützen sie mehr oder weniger wirksam das Grundwasser vor allem vor bakteriellen Verunreinigungen. Ihre Durchlässigkeit und Mächtigkeit ist massgebend für die Grundwasserneubildung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

Abgesehen vom trockenliegenden Flussbett und den künstlich versiegelten Flächen überdeckt eine Vegetationsschicht, d.h. die humose Ablagerung von 0.2 - 0.5 m Stärke, die gesamte Talebene. Die Humusbedeckung nimmt meist im Bereich der Talränder infolge Einschwemmungen zu.

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

Die Mächtigkeit der Deckschichten, d.h. der Flurabstand, ist sehr unterschiedlich. Flussabwärts von Flamatt beträgt er bei Mittelwasserstand beinahe ausnahmslos nur 1 - 2 m. Stromaufwärts nimmt er in der Regel zu und erreicht westlich von Oberflamatt, von wenigen Ausnahmen abgesehen, durchgehend mehr als 6 m (Fig. 4.4).

Figur 4.4 Flurabstand bei mittlerem Grundwasserstand



Die Ausdehnung und Ausbildung der verschiedenen Deckschichten kann der Grundkarte (Beilage 1) entnommen werden. Zum überwiegenden Teil handelt es sich um ziemlich gut durchlässige, sandige bis kiesige Flussablagerungen mit unterschiedlichem Siltgehalt. Bei Neueneegg treten siltige bis sandige Ueberschwemmungssedimente auf, die meist sehr schwer durchlässig sind und stellenweise einen gespannten Grundwasserspiegel verursachen. Diese vorwiegend im Siedlungsgebiet verbreiteten Deckschichten stellen lokal einen gewissen Schutz für das Grundwasser dar. Bezeichnenderweise wurde die in diesem Gebiet befindliche Oelebachfassung (Kap. 8) dank rigorosen Ueberbauungsvorschriften (Schutz der Deckschichten) nie ernsthaft verunreinigt. Eher reliktsch sind im Gebiet des Grundwasserleiters Ausläufer von Bachschuttkegeln, Gehängeschuttablagerungen und anmoorige Bildungen zu verzeichnen.

#### **4.5 Lithologischer Aufbau und hydraulische Kennwerte**

Insgesamt geben über 80 Bohrungen, 90 Rammsondierungen und 60 Sondierschlitze Aufschluss über den Aufbau des Grundwasserleiters, wovon 6 Sondierbohrungen und 40 Rammsondierungen im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ausgeführt wurden (vgl. Anhang).

Der Grundwasserleiter besteht beinahe ausschliesslich aus Senseablagerungen, eine wechselnde Abfolge von sauberem bis siltigem Kies mit wenig bis viel Sand. Recht häufig sind Einschaltungen von Steinlagen und Blöcken. Sandschichten treten dagegen selten auf.

Die **Durchlässigkeit** der Ablagerungen hängt in erster Linie vom Ton-, Silt- und Sandanteil der Schotter ab, der das Wasserableitungsvermögen einschränkt. Daneben spielen auch die Lagerungsdichte und Schichtung eine Rolle. Bezeichnenderweise besitzen die grobkiesigen, von Steinen durchsetzten Ablagerungen den grössten Durchlässigkeitsbeiwert. Dieser k-Wert, der die Dimension einer Geschwindigkeit hat und in der Beilage 1 als Profil-k-Wert die durchschnittliche Durchlässigkeit über die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters wiedergibt, stellt eine massgebende Grösse für die Nutzbarkeit des Grundwasserleiters dar (Kap. 8). Er wird in der Regel durch Pumpversuche in verfilterten Bohrungen und Fassungen bestimmt. Bezeichnenderweise liegen alle Grundwasserfassungen in der blauen Zone, d.h. in der höchsten Durchlässigkeitsklasse der Beilage 1 ( $k > 2 \cdot 10^{-3}$  m/s).

Sofern die k-Werte einzelner Grundwasserbereiche von Interesse sind, können diese detailliert mittels Flowmetermessungen (vertikale Flügelmessungen in Bohrungen) kombiniert mit Pumpversuchen (BLAU et al. 1984) bestimmt werden. Diese Messungen sind vor allem bei grossen Grundwasserleitermächtigkeiten sowie zur Abklärung gewisser hydraulischer Fragen sinnvoll. Bei der vorliegenden Studie wurde nicht zuletzt aus Kostengründen bewusst darauf verzichtet.

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, dass hier nur von der horizontalen Durchlässigkeit die Rede ist. Die siedlungswasserwirtschaftlich weniger bedeutende vertikale Durchlässigkeit ist meist um Zehnerpotenzen kleiner.

Eine wirtschaftliche Grundwasserentnahme setzt auch eine gewisse Mächtigkeit des Grundwasserleiters voraus. Während für eine Einzelversorgung durch einen Sodbrunnen schon wenig mehr als 1 m genügen, werden in der Regel für eine öffentliche Fassung > 5 m vorausgesetzt. Das Produkt aus dem Durchlässigkeitsbeiwert, k, und der Mächtigkeit, m, die sogenannte **Transmissibilität**, T, entscheidet weitgehend über die Nutzbarkeit des Grundwasserleiters. Sie sollte für eine Hauswasserversorgung mindestens eine Grössenordnung von  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  erreichen, was bei den zahlreichen Sodbrunnen in Neuenegg auch der Fall ist.

Nachstehend sind die hydraulischen Kennwerte der grösseren Fassungen aufgeführt.

Fassung	WEA-Nr.	k ( $10^{-3} \text{ m/s}$ )	m (m)	T ( $10^{-3} \text{ m/s}$ )
WV Köniz	593.192/12	3.6	19.8	71
WV Flamatt	590.191/18	14.0	9.5	133
WV Wander AG, PW 1	590.193/28	8.6	7.7	66
WV Wander AG, PW 2	590.193/84	8.6	6.4	55

Alle zeigen ausgezeichnete T-Werte, die eine Entnahme von mehreren 1'000 l/min. zulassen. So wurden bei der Fassung Sensematt der WV Köniz in Pumpversuchen über 10'000 l/min. entnommen, was jedoch eine weitere hydraulische Randbedingung, den Nachfluss oder die Feldergiebigkeit, überstieg (Kap. 8).

Beilage 1 zeigt flächenhaft die Durchlässigkeitsverteilung zwischen Heiti-Büffel und Neuenegg. Weiter stromabwärts liegen nur 2 Werte vor. Der Bereich mit den hohen k-Werten ( $k > 2 \cdot 10^{-2}$  m/s) umfasst die Erosionsrinne mit der grössten Grundwassermächtigkeit (Fig. 4.2), dementsprechend sind in diesem Gebiet auch die T-Werte hoch und die hydraulischen Voraussetzungen für Grundwasserfassungsanlagen günstig. Mit Ausnahme einiger Randgebiete weist der übrige Grundwasserleiter eine mittlere Durchlässigkeit auf ( $k = 2 \cdot 10^{-4}$  bis  $2 \cdot 10^{-3}$  m/s).

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

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

## **5. GRUNDWASSERSTROEMUNG**

### **5.1 Allgemeine Abflussverhältnisse**

Die Grundwasser-Abflussverhältnisse werden vor allem durch die Geometrie, den Aufbau und die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters bestimmt. Daneben üben jedoch auch die Speisung des Grundwassers und insbesondere der Wasseraustausch mit der Sense einen dominanten Einfluss aus.

Infolge des längsgezogenen schmalen Grundwasserleiters, der mit Ausnahme eines kleineren Seitenarmes bei der Einmündung des Tafersbaches keine seitlichen Fortsetzungen besitzt, ergibt sich ein ziemlich einheitliches Strömungsbild (Beilage 2). Der hydraulische Einfluss der Sense ist auf dem gesamten Talabschnitt zwischen Heiti-Büffel und Laupen unverkennbar.

Das hydraulische Gefälle des Grundwassers ist generell gesehen mit 6 - 8 ‰ ziemlich konstant und entspricht im allgemeinen demjenigen der Sense. Auffallend ist jedoch eine ausgeprägte Gefällstufe bei Thörishaus mit einem Gradienten von 30 ‰, die untergeordnet durch eine geringere Durchlässigkeit des Grundwasserleiters bedingt ist (Einschwemmungen aus dem Wangental), hauptsächlich jedoch durch eine verminderte Anspeisung von Sensewasser, verbunden mit der Grundwasserentnahme in der Sense matt, hervorgerufen wird (Kap. 5.2 und 8.1.1). Gefällsreduktionen können teilweise im Bereich grösserer Pumpwerke festgestellt werden (Absenkungstrichter der Fassungen Sense matt und Wander AG, Neuenegg). Dank der Wasseraustauschmöglichkeit mit der Sense haben Querschnittsverengungen und -erweiterungen nur einen geringen Einfluss auf das Grundwasserspiegelgefälle.

Die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers,  $v$ , verhält sich proportional zum hydraulischen Gradienten,  $i$ , und zur Durchlässigkeit,  $k$ , des Grundwasserleiters. Zudem ist sie vom effektiven Durchflussquerschnitt im Boden, d.h. von der effektiven Porosität,  $n_n$ , abhängig ( $v = k \cdot i/n_n$ ). Während der Gradient der Beilage 2 entnommen werden kann und der  $k$ -Wert stellenweise aus der Beilage 1 ersichtlich ist, gelten für die Porosität Erfahrungswerte, die mit dem  $k$ -Wert gekoppelt sind (vgl. Kap. 4.5). Daraus ergeben sich im Untersuchungsgebiet Fliessgeschwindigkeiten in der Grössenordnung von 10 - 30 m/Tag.

Die mit Hilfe von Markierversuchen (RUTSCH, 1962, 1975; KELLERHALS + HAEFELI, 1993) ermittelten Fliessgeschwindigkeiten liegen indessen im Raum Neuenegg im Mittel bei rund 50 m/Tag und erreichen maximal gegen 150 m/Tag (Fig. 5.6). Die Diskrepanz zwischen diesen beiden Geschwindigkeitsangaben ist vor

allem darauf zurückzuführen, dass im Grundwasserleiter Abflussrinnen von hoher Durchlässigkeit bestehen, die effektiv eine höhere Fliessgeschwindigkeit als die Umgebung aufweisen und auf den eingebrachten Markierstoff einen Draineffekt ausüben. In der Tat deuten diese festgestellten hohen Fliessgeschwindigkeiten auf eine sehr geringe Dispersion hin. Diese Feststellung ist namentlich bedeutend für die Beurteilung von allfälligen Schadstoffausbreitungen.

## **5.2 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Sense und Grundwasser**

Die Lage des Wasserspiegels der Sense und des benachbarten Grundwassers liegen meist innerhalb einer Bandbreite von einem Meter. Ausnahmen bilden extreme Hochwasser, wo der Wasserstand der Sense kurzfristig bedeutend höher liegt als der Grundwasserspiegel. Permanent ist dies auch zwischen Thörishaus und Flamatt der Fall. Infolge des starken Absinkens des Grundwasserspiegels bei der Autobahnbrücke und der geringen Infiltration von Sensewasser liegt der Grundwasserspiegel auf diesem Abschnitt bis zu 3 m unter dem Sensespiegel.

Vom Heiti-Büffel bis zum Eisenbahnviadukt bei Thörishaus besteht eine direkte hydraulische Verbindung zwischen Sense und Grundwasser. Auf dieser Strecke alimentiert der Fluss das Grundwasser mit Ausnahme eines kürzeren Teilstücks auf der Höhe der Hundsflue (Beilage 2), wo der Grundwasserleiterquerschnitt eine Einschnürung erfährt. Dort exfiltriert vorübergehend Grundwasser in die Sense. Durch das Pumpwerk Sensematt der Wasserversorgung Köniz wird die Infiltration von Sensewasser massiv verstärkt, wobei die grösste Infiltration nicht in unmittelbarer Nähe der Fassung erfolgt, sondern weiter stromaufwärts. Dies ist durch die Konfiguration des Stauers, d.h. der Molasserinne, bedingt. Auf der Höhe der Fassung erreicht ihr westlicher Rand beinahe das Flussbett und bildet gegenüber der Sense eine Schwelle. Einige hundert Meter stromaufwärts liegt die Sense dagegen beinahe über der Rinnenachse, womit die Voraussetzung für eine verstärkte Infiltration gegeben ist.

Auf einer Strecke von ca. 2.4 km, d.h. 200 m unterhalb der SBB-Brücke bis zur Ordinate 590.600 (Au bei Neuenegg) herrscht eine perkolative Infiltration der Sense vor. Hier besteht kein direkter hydraulischer Zusammenhang zwischen Fluss und Grundwasser. Das Sensewasser sickert zuerst durch die Grundluftzone, bevor es den Grundwasserspiegel erreicht. Zwischen der alten und der neuen Sensebrücke bei Oberflamatt ist dies jedoch nur beschränkt der Fall, da die Molasse teilweise bis ins Flussbett reicht. Aufgrund von früheren Grundwasserspiegelmessungen (RUTSCH, 1967 b) muss jedoch angenommen werden, dass, bevor 1969 mittels

Schwellen Sohlensicherungen im Flussbett vorgenommen wurden, der Grundwasserspiegel auf diesem Abschnitt bedeutend höher lag und eine angeschlossene Infiltration vorherrschte.

Anschliessend bis etwa 100 m unterhalb der Eisenbahnbrücke bei Neueneegg besteht eine ausgeprägte Infiltration der Sense, die noch durch die Fassungen der Firma Wander AG verstärkt wird. Weiter stromabwärts bis auf die Höhe des Chropfhölzlis (Beilage 2) lösen sich in kurzen Etappen In- und Exfiltration ab, wobei es infolge der starken Querschnittsverengung des Grundwasserleiters unterhalb Neueneegg zu einer massiven Exfiltration kommt. Sodann bis zur Mündung der Sense in die Saane wirkt der Fluss als Vorfluter. Dabei nimmt er u.a. das anfallende Hangwasser auf, das ihm über den wenig mächtigen Grundwasserleiter zuströmt.

Der beschriebene Wasseraustausch zwischen Sense und Grundwasser gilt für Verhältnisse bei mittlerem Wasserstand (Beilage 2). Je nach der Wasserführung der Sense oder den lokalen Niederschlägen können sich jedoch die angegebenen "Scharnierstellen" zwischen In- und Exfiltration beträchtlich verschieben. Zudem ist zu berücksichtigen, dass der gesamte Senselauf durch Schwellen von ca. 0.3 - 0.9 m Höhe stabilisiert ist. Dadurch sind lokale Umläufigkeiten möglich, indem oberhalb der Schwelle Flusswasser infiltriert und unmittelbar stromabwärts davon Grundwasser exfiltriert. Da derartige Umströmungen stark wasserstandsabhängig sind und nur wenig landwärts reichen, wurden sie nicht weiter berücksichtigt.

Sofern beidseits der Sense ein ausgeprägter Wasseraustausch stattfindet (In- oder Exfiltration), wirkt der Fluss in hohem Mass als hydraulische Barriere, d.h. er wird nicht unterströmt, ein Umstand, der namentlich für die Ausbreitung von im Grundwasser gelösten Schadstoffen bedeutend ist. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Infiltration angeschossen oder perkolativ ist, wie Markierversuche bei Flamatt gezeigt haben (Kap. 5.4).

Gesamthaft gesehen dominiert somit die Infiltration bis Neueneegg und anschliessend bis zur Saane die Exfiltration. Die Anspeisung des Grundwassers durch die Sense im oberen Perimeterabschnitt wirkt sich nicht nur quantitativ günstig aus, sondern ebenso qualitativ (Kap. 6) und schafft die Voraussetzungen für öffentliche Trinkwasserfassungen. Es ist deshalb von ausschlaggebender Bedeutung, dass die Infiltration im gegenwärtigen Mass aufrecht erhalten bleibt. Voraussetzungen dazu sind ein natürliches Abflussregime der Sense mit Hochwässern, die eine Kolmatierung des Flussbettes verhindern ("rollende Flussole") und eine Beibehaltung des heutigen Flussniveaus durch einen zweckmässigen Flussverbau (Kap. 8.3). Eine durch

Erosion, z.B. durch Zerstörung von Schwellen hervorgerufene Tieferlegung der Flussole hätte für die Grundwasserbewirtschaftung sehr abträgliche Folgen.

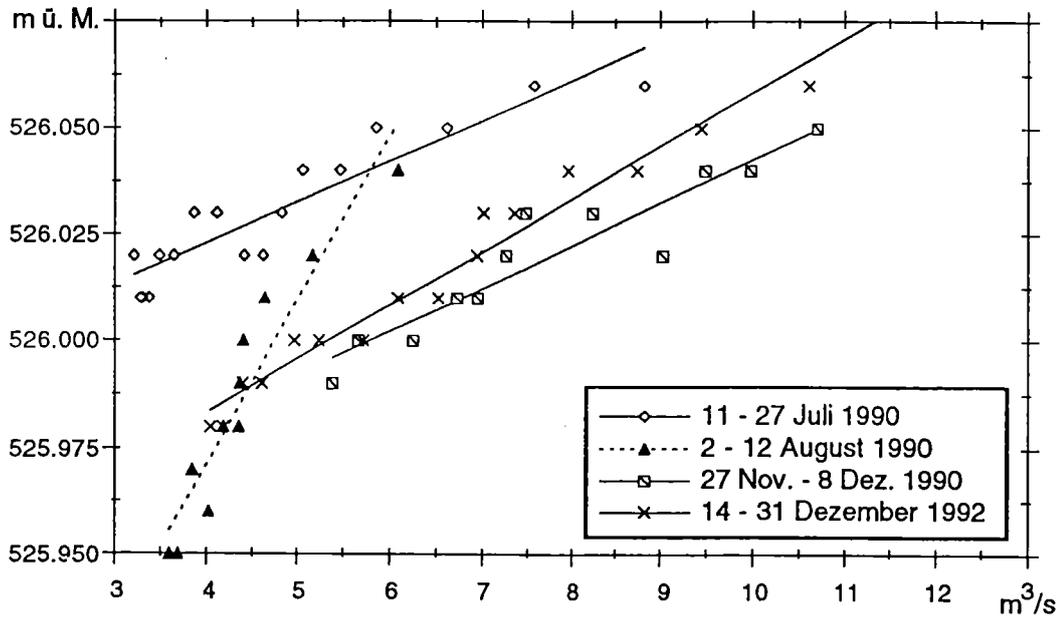
Einen Hinweis dazu lieferte das Hochwasser vom 30.6.1990, das namentlich im Bereich Flamatt-Neuenegg die Flussschwellen teilweise zerstörte. Die Folge davon war ein Absinken des Fluss- und Grundwasserspiegels:

In der Nacht vom 29./30. Juli 1990 entlud sich ein starkes Gewitter im Gebiet des Gurnigels, was zu einem extrem hohen Wasseranstieg im Fluss führte und einen Abfluss von  $490 \text{ m}^3/\text{s}$  bewirkte. Es handelte sich um ein mehr als 100-jähriges Hochwasser. Infolge der weggerissenen oder beschädigten Senseschwellen sank der Grundwasserspiegel namentlich im Bereich der Aumatt bei Neuenegg um bis zu 40 cm, was zu zahlreichen Klagen Anlass gab (Rückgang des Abflusses in der Sickerleitung der Firma Wander AG und im Oelebach, Wasserspiegelabsenkung im Fischweiher).

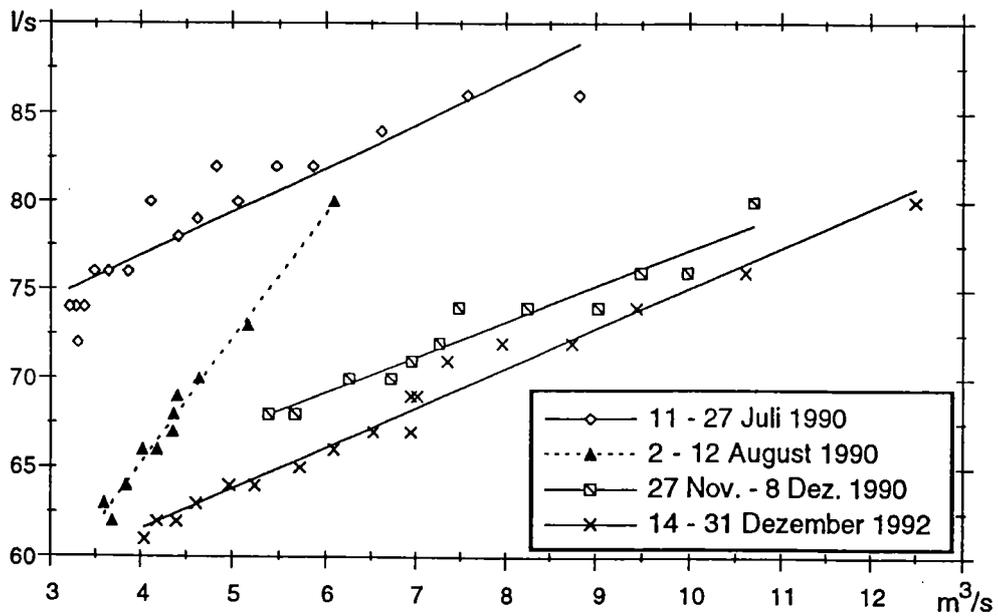
Die Flussschwellen wurden nach dem Hochwasser rasch, jedoch nicht überall in ihren ursprünglichen Zustand versetzt. Die Auswirkungen der Flussverbauveränderung auf die Grundwasserfassungen der Firma Wander AG (Pumpwerk 2 und Sickerleitung Oelebach) sind aus den Figuren 5.1 und 5.2 ersichtlich. Es wurden vier niederschlagsarme Perioden vor dem Hochwasser (11. - 27.7.1990), nach dem Hochwasser (2. - 12.8.1990), nach den Reparaturarbeiten (27.11. - 8.12.1990) sowie zwei Jahre später (14.12. - 31.12.1992) bezüglich Senseabfluss und Grundwasserstand miteinander verglichen. Die Auswirkungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- a) Durch die Flussbettersionen wurden die beiden für die Infiltration massgebenden Parameter verändert: Verringerung des Druckgefälles zwischen Fluss und Grundwasser sowie Erhöhung der Flussbettdurchlässigkeit.
- b) Die beiden gegenläufigen Parameter kompensierten einander bezüglich der Infiltrationsleistung bei einem Abfluss von ca.  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  (unmittelbar nach dem Hochwasserereignis).
- c) Nach der teilweisen Instandstellung der Verbauungen blieb der Druckgefällsverlust grösstenteils bestehen und die Flussbettdurchlässigkeit nahm wieder ihre frühere Grössenordnung an. Zwei Jahre später änderte sich an dieser Situation nichts Wesentliches.

Figur 5.1 Beziehung zwischen dem Grundwasserspiegel beim Pumpwerk Wander PW2; 590.193/84) und dem Senseabfluss vor und nach dem Unwetter vom 29. Juli 1990



Figur 5.2 Beziehung zwischen der Schüttungsmenge der Sickerleitung Oelbach (590.193/65) und dem Senseabfluss vor und nach dem Unwetter vom 29. Juli 1990



- d) Fazit: Der Grundwasserspiegel im Pumpwerk Wander lag Ende 1990 bzw. 1992 etwa 25 - 40 cm tiefer als früher (Fig. 5.1) und die Sickerleitung Oelebach führte 15 - 20 % weniger Wasser (Fig. 5.2).

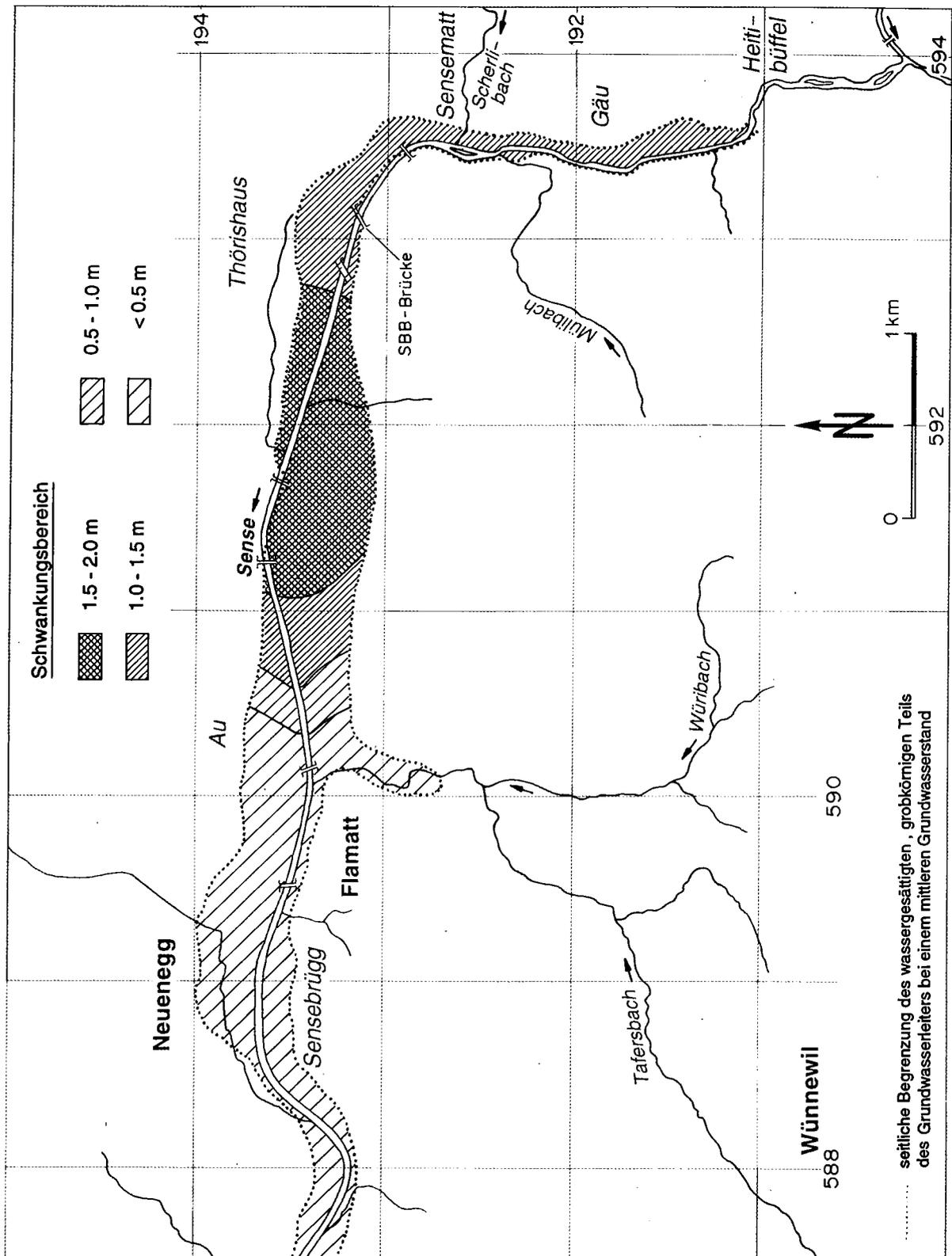
### **5.3 Grundwasserspiegelschwankungen**

Der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels zwischen August 1991 und April 1993 kann aus der Figur 5.3 entnommen werden. Wie erwähnt schwankt der Grundwasserspiegel in derselben Grössenordnung wie der Sensespiegel, d.h. maximal um ca. 2 m, von extremen Hochwässern abgesehen (Fig. 3.3). Bezeichnenderweise werden die geringsten Schwankungen im Bereich der Oelebach-Sickerleitung und des Oelebachs registriert, die einen stark stabilisierenden Einfluss ausüben.

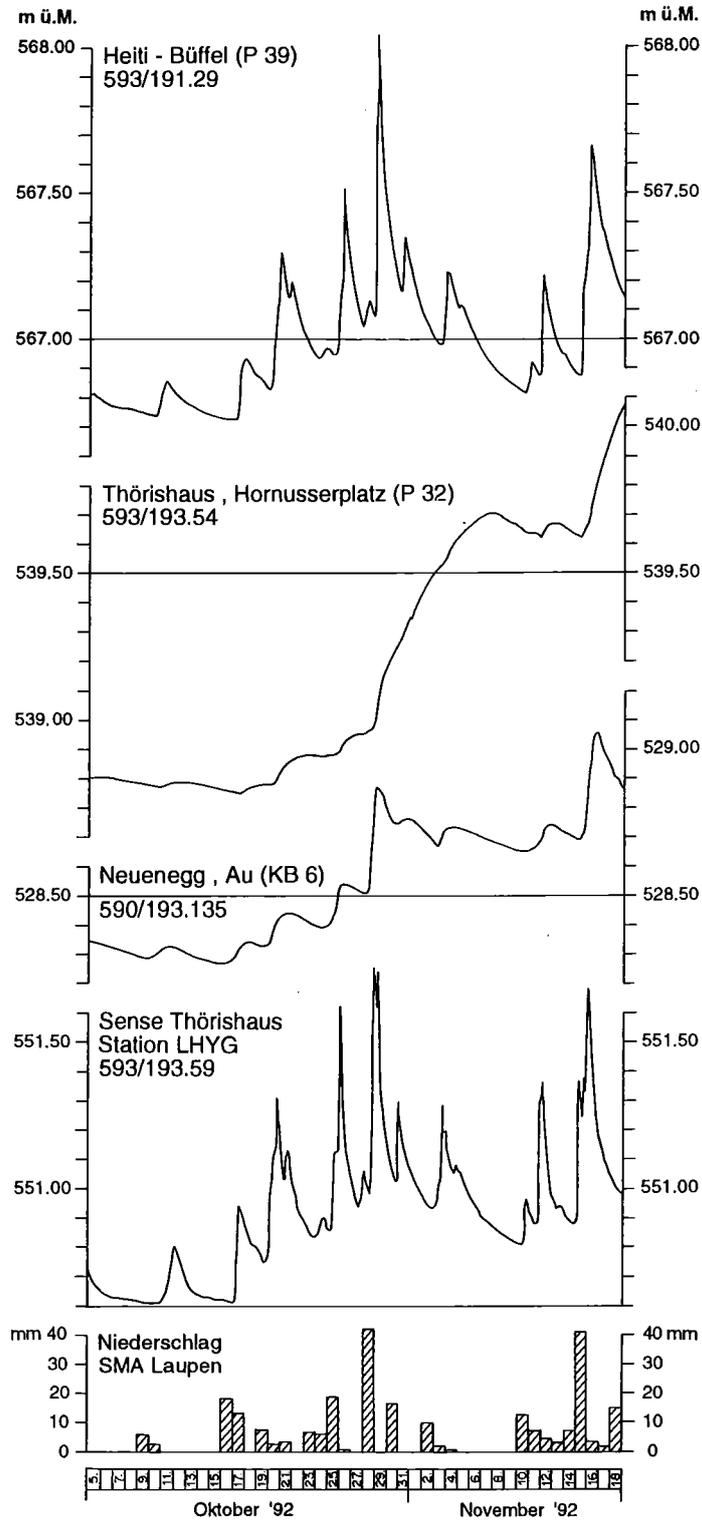
Da sich der Schwankungsbereich beinahe ausschliesslich in sandigen und kiesigen Bodenschichten befindet, was bedeutet, dass diese eine ähnliche effektive Porosität besitzen (Kap. 4.5), variieren die durch die Niederschläge bedingten Grundwasserspiegelanstiege im Untersuchungsgebiet nicht erheblich. Zudem übt die nie mehr als einige hundert Meter entfernte Sense als Infiltrant und besonders als Vorfluter langfristig einen ausgleichenden Einfluss auf den Grundwasserspiegel aus. Kurzfristig reagiert der Grundwasserspiegel jedoch je nach Lage sehr unterschiedlich auf die Wasserstandsveränderungen der Sense oder die Niederschläge. Dies kommt deutlich in Figur 5.4 zum Ausdruck:

- Der Limmigraph P39 (593.191/25) unmittelbar stromabwärts des Heiti-Büffel und etwa 20 m von der Sense entfernt, spricht sehr rasch und wenig gedämpft auf die Wasserstandsschwankungen der Sense an. Bezeichnend ist dabei, dass der Fluss und nicht die Niederschläge den dominanten Einfluss ausübt (vgl. Niederschläge vom 16./17. Okt. und 19./21. Okt. 1992).
- Im Gegensatz zu P39 reagiert dagegen P32 (592.193/54) sehr gedämpft, vor allem zeitlich, was nicht verwunderlich ist, befindet sich doch dieser Punkt im Bereich perkolativer Infiltration. Zudem liegt er etwa 80 m von der Sense entfernt in einem über 500 m breiten Grundwasserleiterquerschnitt.
- Zwischen den obigen beiden Extremen liegt KB6 (590.193/135) am Anfang eines Abschnittes mit angeschlossener Infiltration ca. 35 m von der Sense entfernt. Vermutlich wird hier der Anstieg des Grundwasserspiegels, der gegenüber P39 und P32 gesamthaft deutlich geringer ausfällt, durch die naheliegenden Grundwasserfassungen beeinflusst.

Figur 5.3 Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels zwischen August 1991 und April 1993



Figur 5.4 Verhalten des Grundwasserspiegels und der Sense bei Starkniederschlag



Trotz des dominanten Einflusses der Sense besteht infolge der zeitlichen Dämpfung und des Niederschlaggeschehens meist nur eine versetzte Korrelation zwischen dem Grundwasserstand und dem Senseabfluss (Fig. 5.5). Während bei P39 unabhängig von den gewählten Trockenperioden sich eine ungebrochene Korrelation ergibt, ist dies bei P32 und KB6 nicht der Fall, da sich die dortigen voluminösen Grundwasserspeicher nur langsam entleeren können. Daraus lässt sich eine für die Siedlungswasserwirtschaft wichtige Schlussfolgerung ziehen:

Durch die starken Herbstniederschläge und die damit verbundene Infiltration wurden die Grundwasserspeicher angefüllt, so dass Ende 1992/Anfang 1993 der Grundwasserspiegel trotz des geringen Senseabflusses hoch lag (P39 und P32, Fig. 5.5). Infolge der "langsamen" Grundwasserfliessgeschwindigkeiten und trotz der sehr geringen Niederschläge von Januar bis März 1993 (Fig. 3.1) sowie beinahe gleichbleibendem tiefem Senseabfluss dauerte es knapp drei Monate, bis z.B. bei KB6 der Grundwasserspiegel um ca. 40 cm absank. Die Trägheit und das Speichervermögen des Grundwasserreservoirs ist umso bemerkenswerter, als sich in der Nähe Grundwasserfassungen befinden. Diese Trägheit machte man sich mit der Oelebach-Sickerleitung (Fassung Wander AG) zunutze, führt diese doch trotz ihrer oberflächennahen Lage ständig Grundwasser, auch während Trockenperioden.

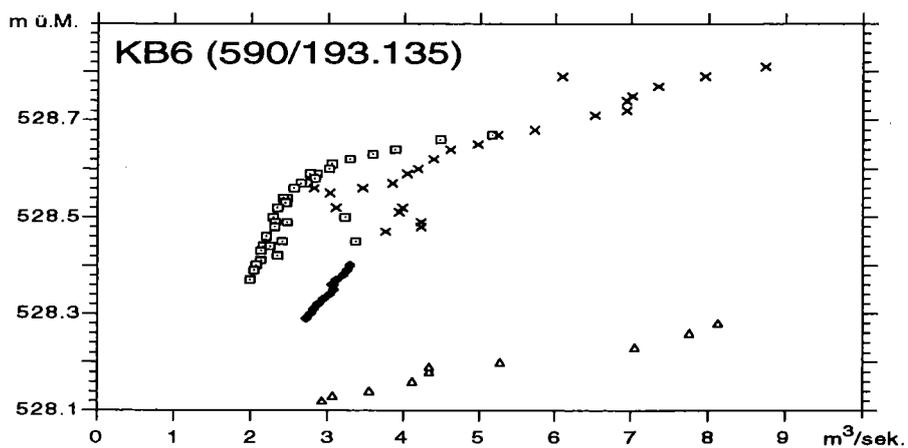
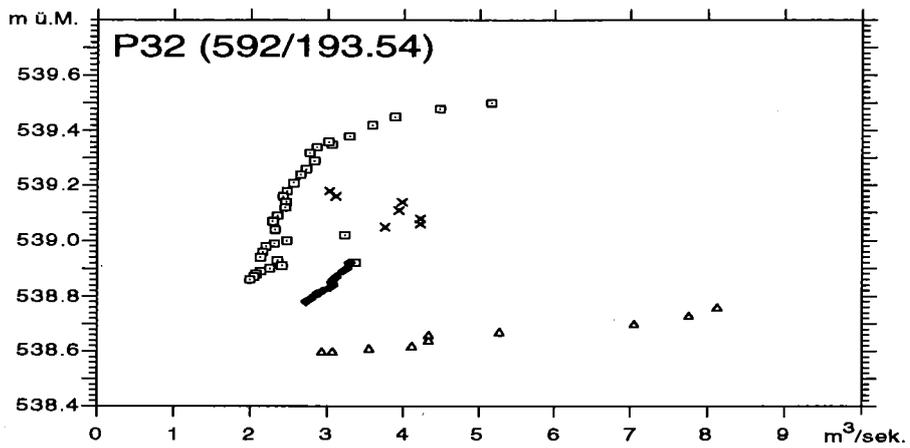
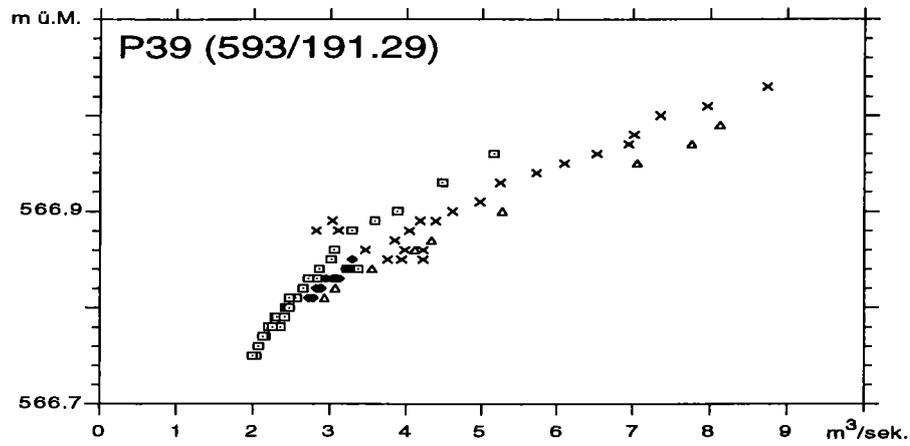
Bei P39 ist der Sachverhalt gegenüber den soeben erwähnten Beobachtungspunkten völlig verschieden. P39 liegt am Anfang eines schmalen Grundwasserleiters stromabwärts des Heiti-Büffels. Da dieser nur ein sehr geringes Volumen besitzt, erfolgt die Entleerung dementsprechend rasch. Damit ergibt sich die beobachtete ungebrochene Korrelation zwischen Senseabfluss und Grundwasserstand.

Eine Bewirtschaftung des Grundwasserreservoirs ist demnach vor allem zwischen Thörishaus und Neueneegg in einem sehr erheblichen Mass möglich (Kap. 8). Dagegen eignet sich der Abschnitt zwischen Heiti-Büffel und Thörishaus dazu nur sehr eingeschränkt, dafür bietet sich hier eine sehr gute hydraulische Verbindung zwischen Sense und Grundwasser für eine induzierte Infiltration an (Kap. 8).

#### **5.4 Grundwasserfeld Flamatt-Neueneegg**

Der ca. 3 km lange Grundwasserleiterabschnitt zwischen Oberflamatt und Sensebrügg stellt mit Abstand das grösste Grundwasserreservoir des Untersuchungsgebietes dar. Infolge seiner grossen Feldergiebigkeit (Kap. 7) und meist guter Durchlässigkeit wird es ziemlich intensiv genutzt. Da dieser Abschnitt zugleich Siedlungsgebiet ist, kam es im Verlauf der Jahre zu verschiedenen Konfliktsituationen, was

Figur 5.5 Korrelation zwischen Senseabfluss und Grundwasserspiegel während niederschlagsfreien Perioden und verschiedenen Wasserständen



□	26.7-28.8.92	x	17.12.92-10.1.93	•	3.2.-16.2.93	△	10.3.-19.3.93
Perioden ohne oder mit sehr geringem Niederschlag							

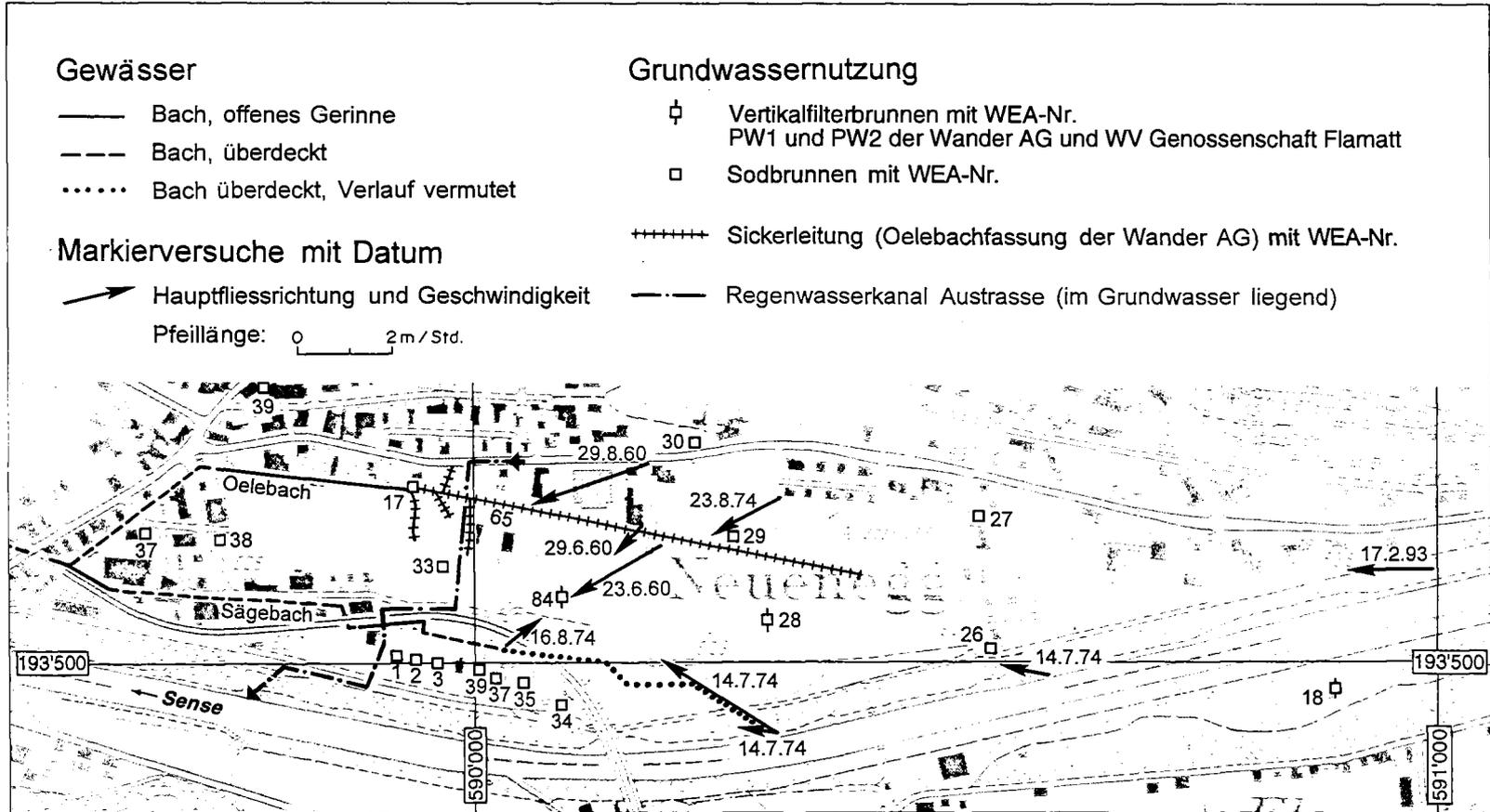
zahlreiche hydrogeologische Abklärungen zur Folge hatte. Um eine genauere Uebersicht zu vermitteln, wurden in Figur 5.6 sämtliche Wasserbezugsorte, Sickerleitungen, Gewässer und die grösseren, das Grundwasser tangierenden Leitungsstränge eingezeichnet. Zudem wurden in derselben Illustration die wichtigsten bisherigen Markierversuche mit der ermittelten Fliessrichtung und -geschwindigkeit festgehalten. Dazu ist zu bemerken, dass diese Faktoren stark vom jeweiligen Wasserstand, den gepumpten Entnahmemengen und von bevorzugten Fliessbahnen (grosse Durchlässigkeit und Porosität) abhängig waren und die Strömung zum damaligen Zeitpunkt wiedergeben.

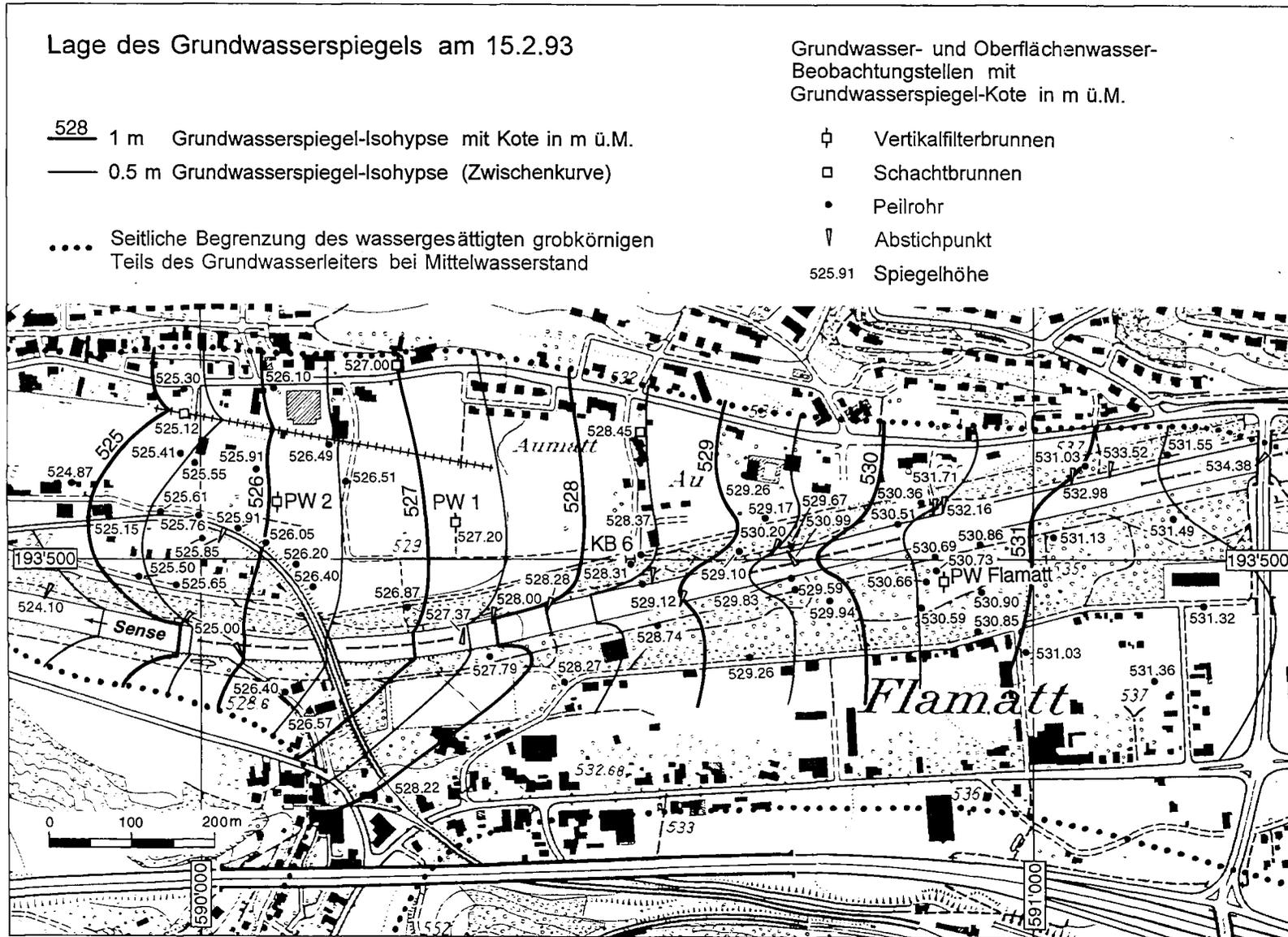
Wie schon erwähnt, bildet die Sense eine hydraulische Barriere im Sensetalgrundwasserstrom. D.h. auf den Abschnitten, wo eine hydraulische Verbindung zwischen Fluss und Grundwasser vorherrscht, besteht in der Regel keine Verbindung zwischen dem links- und dem rechtsseitigen Grundwasserstrom, die Sense wird nicht unterströmt.

Bei perkolativer Infiltration des Sensewassers ist dieser Sachverhalt jedoch nicht zwingend. Zwischen Thörishaus und Flamatt, wo die Grundwasserrinne die Sense quert, findet zwangsläufig eine Unterströmung statt. Weiter stromabwärts bis Au-Neuenegg, wo weiterhin perkolative Infiltration vorherrscht, weist der Verlauf der Grundwasserisohypsen ebenfalls auf eine Barrierewirkung der Sense hin (Fig. 5.7). Für die Ausbreitungsmöglichkeit von allfälligen Schadstoffen war es von Interesse festzustellen, ob diese durch eine grössere Grundwasserabsenkung, z.B. durch den Betrieb der Grundwasserfassung der Wasserversorgung Flamatt, aufgehoben werden könnte.

Verbunden mit einer Schutzzonenabklärung wurde zu diesem Zweck bei Niederwasser vom 16. bis 26. Februar 1993 ein Dauerpumpversuch im Pumpwerk Flamatt mit der konzessionierten Entnahmemenge von 3'000 l/min. durchgeführt. Während dieser Trocken- und Frostperiode führte die Sense nur 2.7 - 2.8 m<sup>3</sup>/s, die Infiltration war somit minimal. Das vor Ende des Pumpversuchs resultierende Isohypsenbild sowie die Grundwasserspiegelabsenkung sind aus den Figuren 5.8 und 5.9 ersichtlich. Trotz der extremen Versuchsbedingungen blieb eine hydraulische Kulmination unter der Sense bestehen. Die hervorgerufene Absenkung wirkte sich jedoch sehr deutlich auch auf die rechte Uferseite aus. Dieser Befund wurde durch einen während dem Pumpversuch ausgeführten Markierversuch auf der rechten Uferseite bestätigt (Lage siehe Fig. 5.6). Entsprechend dem Isohypsenbild (Fig. 5.8) gelangte der Farbstoff trotz der deutlichen Grundwasserabsenkung (Fig. 5.9) nicht in die Fassung von Flamatt, sondern erschien nach 14 Tagen in der 640 m weiter entfernten Oelebachfassung (Fliessgeschwindigkeit: 1.9 m/Std.).

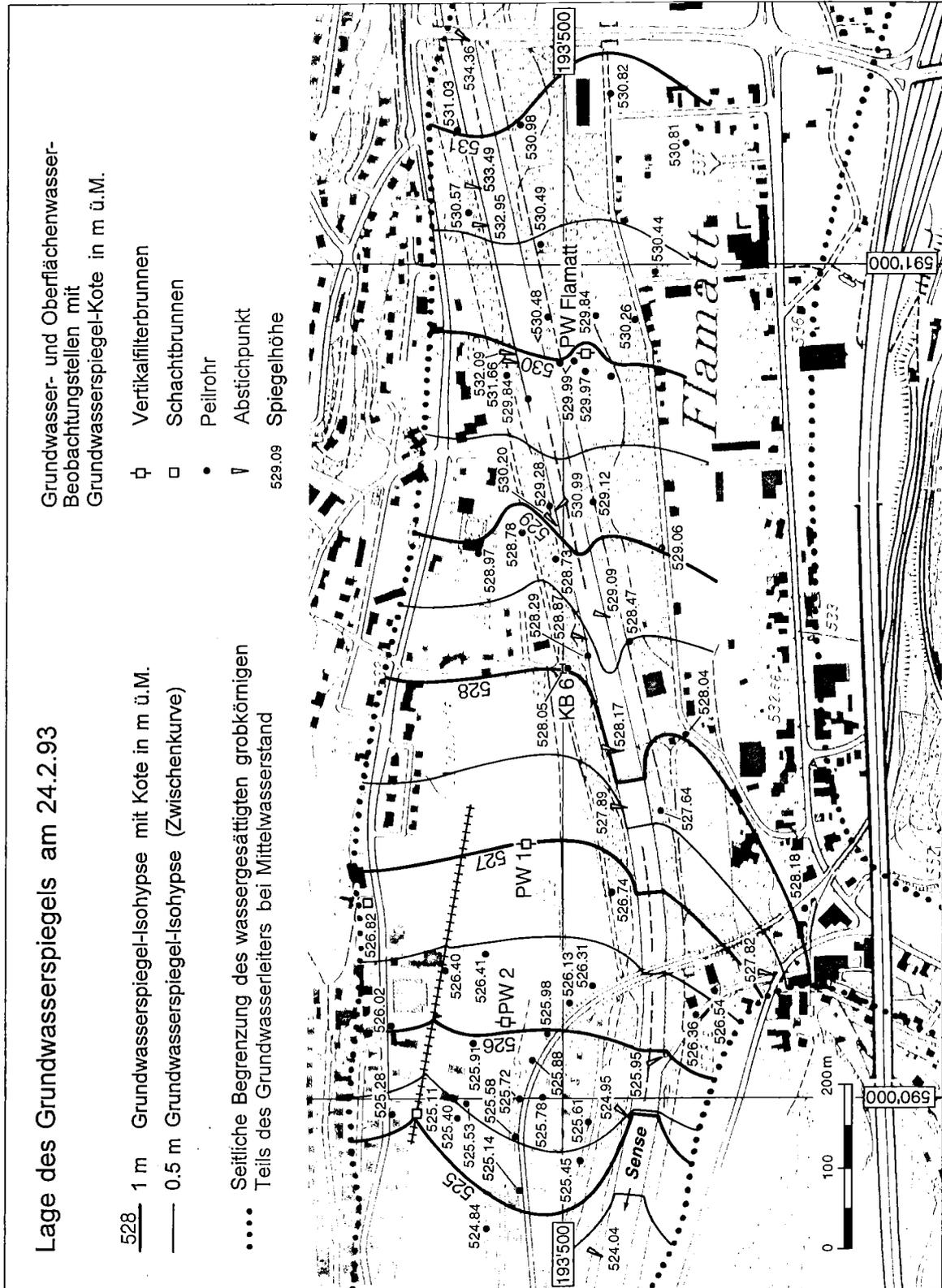
Figur 5.6 Grundwassereingriffe und Gewässer der Talebene von Neueneegg



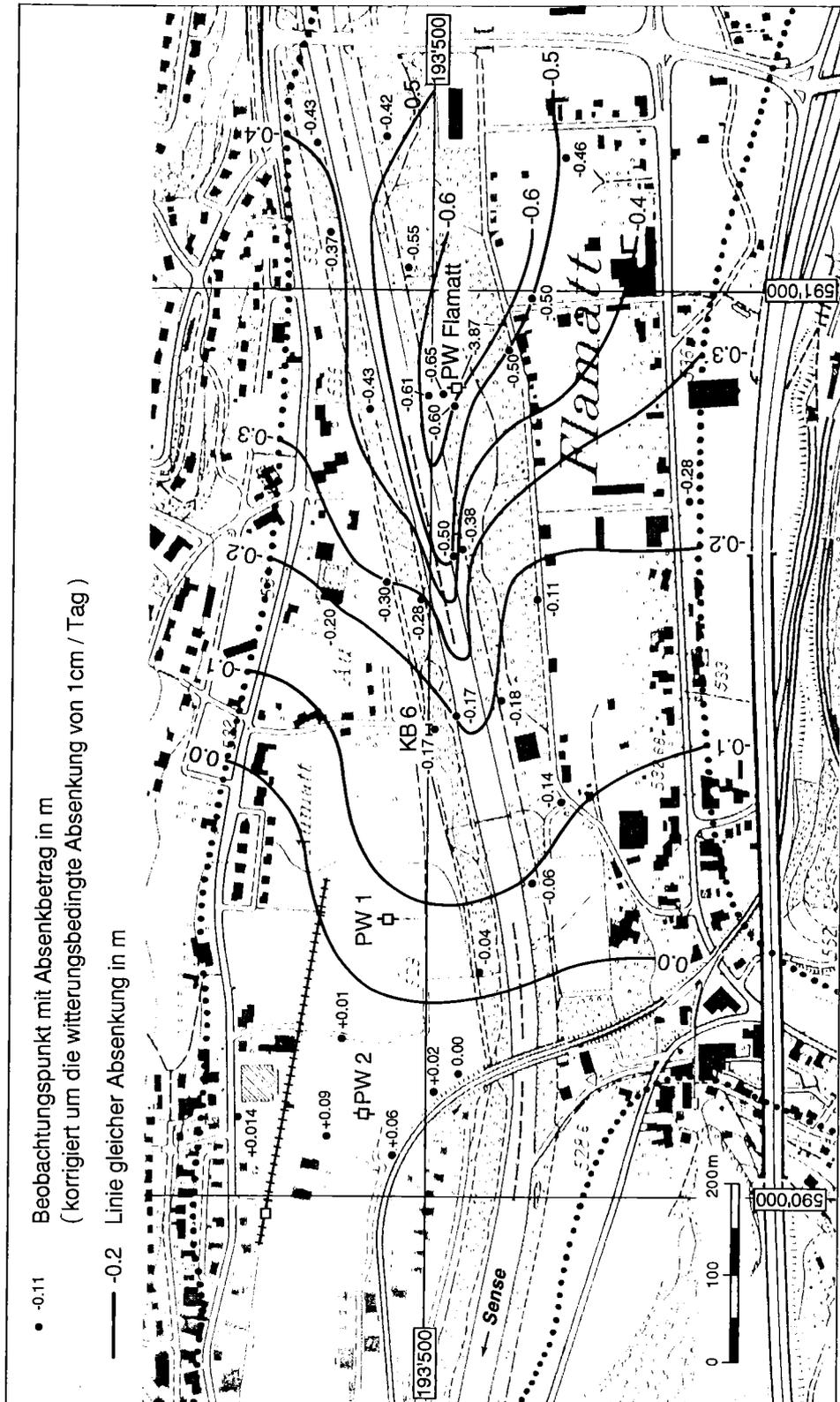


Figur 5.7 Isohyphen des Grundwasserspiegels im Raum Flamatt-Neueneegg bei Niedrigwasser

Figur 5.8 Isohypsenkarte des Grundwasserspiegels vor Ende des Pumpversuchs (24.2.1993) im Pumpwerk der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt (Q = 3'000 l/min.; 590.193/18)



Figur 5.9 Grundwasserspiegelabsenkung vor Ende des Pumpversuchs (24.2.1993) im Pumpwerk der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt (Q = 3'000 l/min.)



## **6. WASSERQUALITAET**

### **6.1 Allgemeines**

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

2. - 4.09.1991	27 Proben
1. - 3.06.1992	50 Proben
3.11. - 2.12.1992	25 Proben

Davon entfielen 84 Proben auf das Grundwasser und 18 auf Oberflächengewässer.

In den neu abgeteuften Bohrungen KB1, KB2 und KB6 wurden noch zusätzliche Proben für detaillierte Analysen erhoben. Aus früher ausgeführten Sondierbohrungen, privaten und öffentlichen Fassungen standen weitere Analysen zur Verfügung, die in die Auswertung integriert werden konnten. Die Laboruntersuchungen wurden praktisch ausschliesslich und in sehr zuvorkommender Weise durch die Kantonalen Laboratorien (Kantonschemiker) von Bern und Freiburg sowie vom Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern vorgenommen.

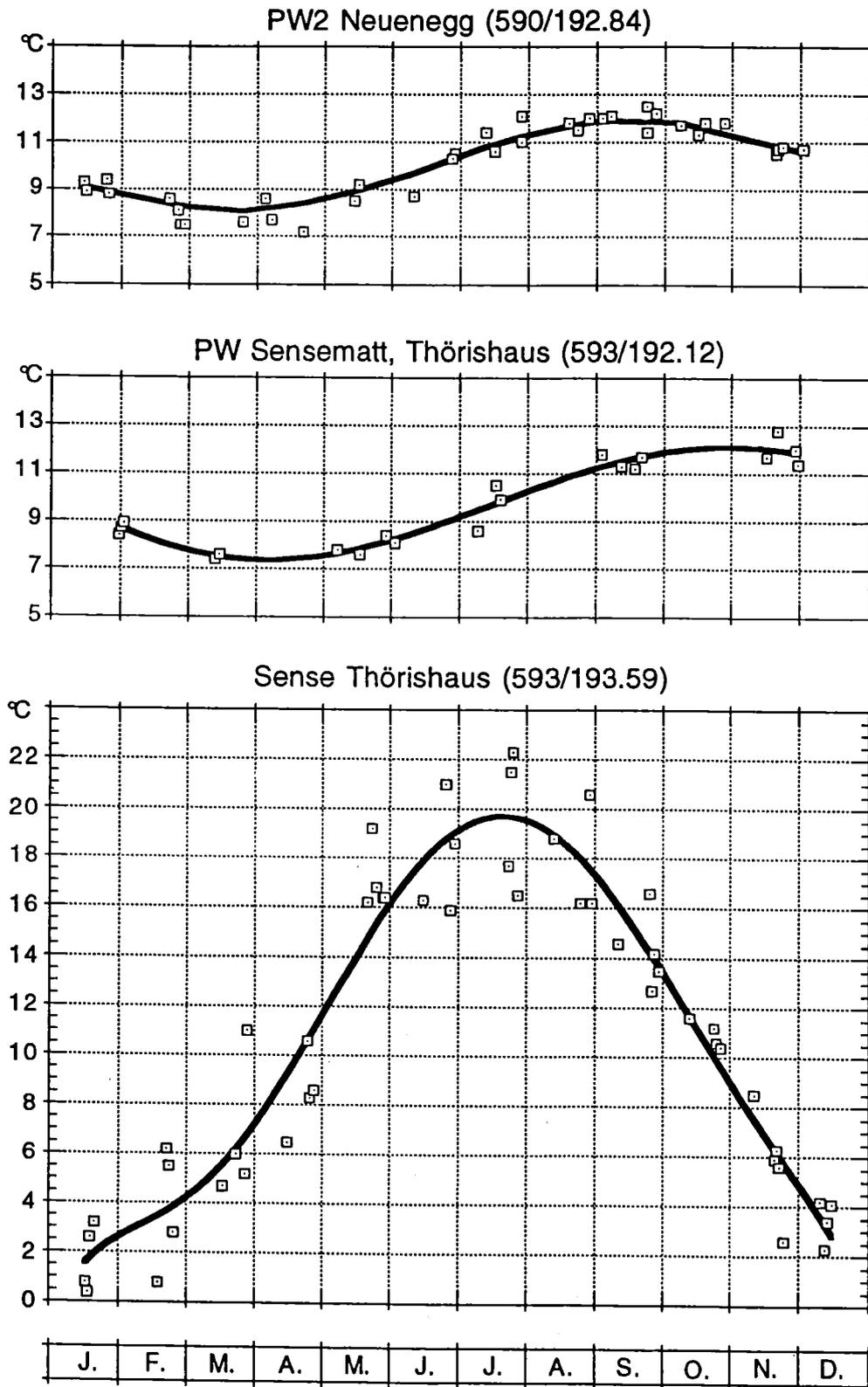
### **6.2 Physikalische Eigenschaften**

#### **6.2.1 Oberflächengewässer**

##### **Temperatur**

Die Wassertemperatur der Sense wurde durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern monatlich bei Thörishaus (Riedernbrücke) und bei Laupen gemessen. Figur 6.1 vermittelt einen Ueberblick über die gemessenen Werte für die Jahre 1986 - 1992. Erwartungsgemäss sind die Maxima mit bis zu 23°C jeweils im Juli zu verzeichnen, während die Minima von < 1°C im Januar oder Februar auftreten. Die monatlichen Mittelwerte liegen zwischen 2 und 19°C. Die Erwärmung der Sense zwischen Thörishaus und Laupen beträgt im Mittel nur 0.1 bis 0.6°C. Im Vergleich zum Senseabfluss ist die Grundwasserexfiltration im Raum Neuenegg nur gering und vermag die Flusstemperatur nicht merklich zu beeinflussen (Kap. 3). Dagegen ist die thermische Beeinflussung des Grundwassers durch die Sense deutlich bemerkbar (Kap. 6.2.2).

Figur 6.1 Temperaturanglinie der Sense und des Grundwassers (1986 - 1992)



### **Spezifische Leitfähigkeit**

Die spezifische Leitfähigkeit wurde ebenfalls durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern monatlich bei Thörishaus (Riedernbrücke) und bei Laupen gemessen (Tab. 6.1). Mit Hilfe der spezifischen Leitfähigkeit, die meist in Mikrosiemens pro Zentimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) gemessen wird, kann die Gesamtmineralisation des Wassers ausgedrückt werden. Sie ist stark von der Abflussmenge abhängig. Obwohl Niederschläge grossflächige Abschwemmungen von Mineralsalzen an der Landoberfläche bewirken können, verursachen sie meist eine "Verdünnung" des Flusswassers.

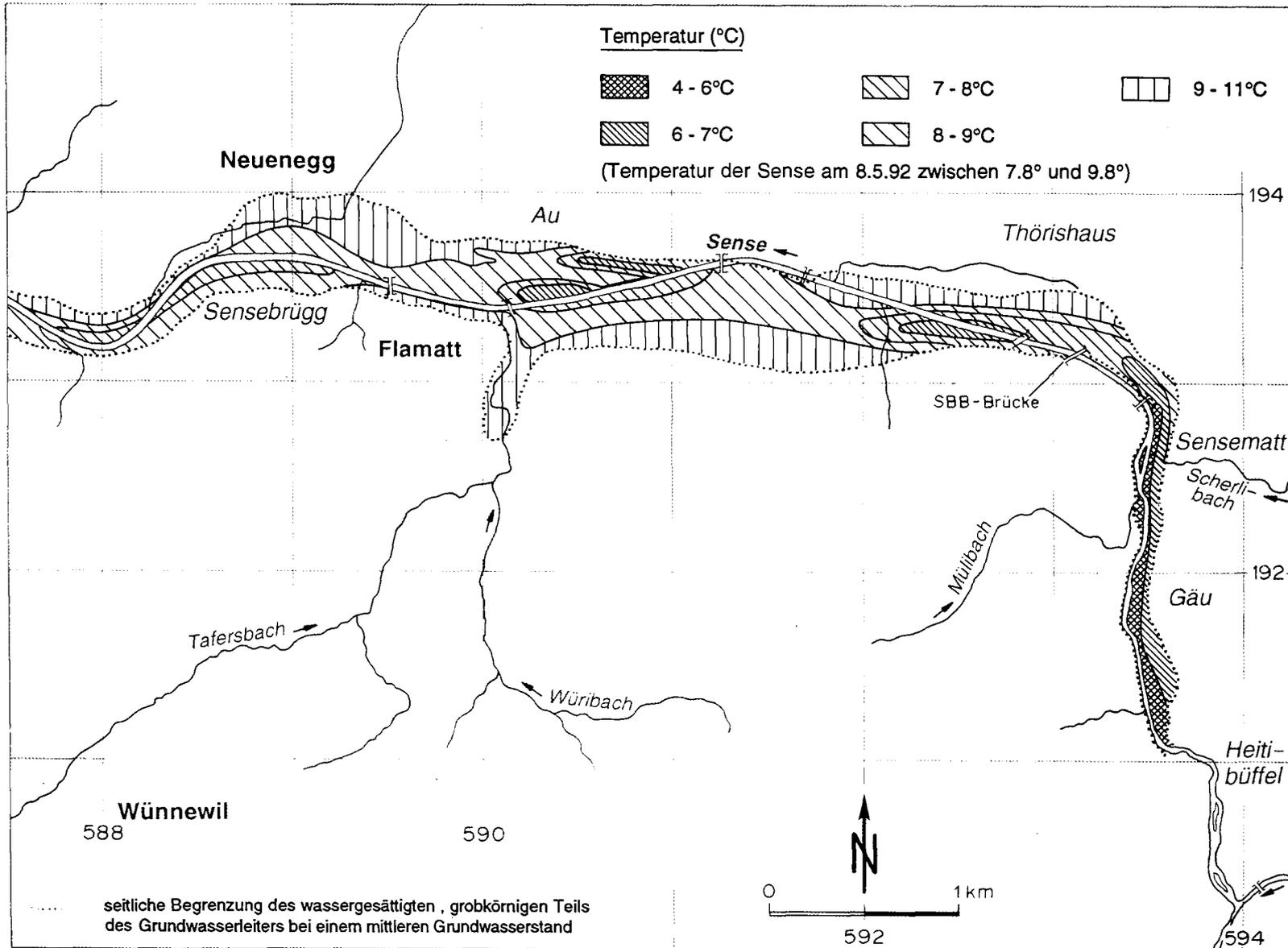
Die spezifische Leitfähigkeit der Sense schwankt etwa zwischen 250 und 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und erreicht im Mittel ca. 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Bemerkenswert ist die Zunahme der mittleren Leitfähigkeit zwischen Thörishaus und Laupen um 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dies ist darauf zurückzuführen, dass die einflussenden Seitenbäche stärker mineralisiert sind als die Sense. Einen sehr geringen Einfluss besitzt die Grundwasserexfiltration (Tab. 6.1).

### 6.2.2 Grundwasser

#### **Temperatur**

Bekanntlich ist die Temperatur des Grundwassers vor allem abhängig von der direkten Wärmeeinstrahlung aus der Atmosphäre. Im Vergleich dazu ist der Wärmefluss aus dem Erdinnern für untiefe Grundwasservorkommen ( $< 30$  m) von untergeordneter Bedeutung. Im allgemeinen machen sich die atmosphärischen Temperaturschwankungen in einer Tiefe von 10 m kaum mehr bemerkbar. Die dort vorherrschende Temperatur liegt etwa  $2^\circ\text{C}$  über dem Jahresmittel an der Oberfläche, d.h. um ca.  $10^\circ\text{C}$ .

Im Untersuchungsgebiet beeinflusst dagegen die Sense als Hauptanspeisungsquelle des Grundwassers (Kap. 5) die Grundwassertemperatur nachhaltig. Diese ist von der Infiltrationsdistanz bzw. der Aufenthaltsdauer des infiltrierten Flusswassers abhängig. Die vorwiegend sensebedingten Temperaturschwankungen erreichen bei den Pumpstationen Sensematt und Neuenegg ähnliche Werte, d.h.  $7.4 - 12.9^\circ\text{C}$  (Tab. 6.1). Die Phasenverschiebungen gegenüber der Sense betragen beim PW Sensematt ca. 3 Monate und bei dem PW Neuenegg ca. 2 Monate (Fig. 6.1). Die mittlere Grundwassertemperatur erreicht bei den genannten Fassungen  $9.9$  bzw.  $10.1^\circ\text{C}$  (Sense Thörishaus  $10.8^\circ\text{C}$ ).



Figur 6.2 Grundwassertemperatur am 8.5.1992

Wie die Markierversuche und Fliessgeschwindigkeitsberechnungen des Grundwassers gezeigt haben (Kap. 5), darf aus der Phasenverschiebung der Temperaturen nicht auf die Fliessgeschwindigkeit geschlossen werden, da die Fortpflanzung der Temperaturfronten im Untergrund sehr viel träger verläuft.

Aus der Temperaturkarte (Fig. 6.2) sind die hauptsächlichlichen Infiltrationszonen recht gut ersichtlich, die sich anfangs Mai vor allem durch Kaltwasserzüge manifestieren. Durch den Betrieb der Grundwasserfassungen wird dieser Effekt noch erhöht. Jedenfalls kommt die Anspeisung der Pumpwerke Sensematt und Flamatt deutlich zum Ausdruck (Beilage 2), etwas weniger deutlich ist dies bei den Fassungen in Neuenegg ersichtlich (der Einfluss des Flurabstands sowie allfällige Vertikalströmungen in Beobachtungsrohren wurden bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt).

Infolge des starken thermischen Einflusses der Sense ist das verfügbare Grundwasser-Wärmepotential im Winter ziemlich eingeschränkt. Für den Betrieb von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen steht je nach Standort nur ein nutzbares Temperaturgefälle von 3 - 5°C zur Verfügung.

### **Spezifische Leitfähigkeit**

Mit wenigen Ausnahmen liegt die spezifische Leitfähigkeit des Grundwassers im Untersuchungsgebiet zwischen 420 und 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sie ist wie die meisten chemischen Parameter (Kap. 6.3) stark von der Wasserführung der Sense abhängig. Generell kann eine deutliche Mineralisationszunahme infolge der zivilisatorischen Belastung in Richtung Laupen festgestellt werden. Während die Werte bis Thörishaus immer unter 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  liegen, erreichen vereinzelt Punkte bei Flamatt und Laupen > 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Der Spitzenwert von 799  $\mu\text{S}/\text{cm}$  wurde bezeichnenderweise ausserhalb des Einflussbereichs der Sense am Rand des Grundwasserleiters in einem Sod bei Noflen gemessen (S5, 585.193/12), was bei einem Chloridgehalt von 22 mg/l und einer Nitratkonzentration von 62 mg/l (!) nicht verwunderlich ist.

## **6.3 Chemische Eigenschaften**

### **6.3.1 Oberflächengewässer**

Abgesehen von der Wasserführung (Kap. 6.2.1) ist die Mineralisation der Oberflächengewässer stark vom Einzugsgebiet und der Umweltbelastung abhängig.

Infolge gipsführender Gesteine im Gantrischgebiet zeichnet sich die Sense durch einen relativ hohen Sulfatgehalt aus, der im Mittel bei Thörishaus 45 mg/l und bei Laupen noch 41 mg/l beträgt (Tab. 6.1). Demgegenüber besitzen die Seitenbäche einen Sulfatgehalt von meist  $< 20$  mg/l (Tab. 6.3). Figur 6.3 illustriert die Abhängigkeit des Sulfatgehaltes der Sense von ihrer Abflussmenge. Aufgrund dieser Darstellung kann angenommen werden, dass bei Hochwasser ( $Q > 50$  m<sup>3</sup>/s) der Sulfatgehalt unter 20 mg/l fällt, während bei Niederwasser die Sulfatführung 60 - 70 mg/l erreicht. Obwohl bei Hochwasser die Infiltration stark zunimmt, macht sich dieser grosse Schwankungsbereich im Grundwasser nur wenig bemerkbar (Kap. 6.3.2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass grössere Abflüsse mit geringen Sulfatkonzentrationen recht häufig auftreten, z.B.  $Q \geq 20$  m<sup>3</sup>/s mit ca. 30 mg/l SO<sub>4</sub> nur während 8 % der Zeit (Fig. 3.2). Trotzdem erleichtert die Sulfatführung der Sense, das Infiltrationsverhalten zu erkennen. Sofern nicht eine grössere Verschmutzung vorliegt, deutet ein hoher Sulfatgehalt im Grundwasser eindeutig auf eine Anspeisung von Sensewasser hin (Kap. 6.3.2, Beilage 3).

Verglichen mit ähnlichen Gewässern des Alpenvorlandes ist die Sense bis Thörishaus eher wenig belastet, beträgt doch der Chloridgehalt im Mittel  $< 5$  mg/l und der Nitratgehalt  $< 8$  mg/l. Verblüffend ist die Zunahme dieser anthropogen bedingten Wasserinhaltsstoffe auf einer Wegstrecke von etwa 10 km bis Laupen, der Chlorid- sowie der Nitratgehalt steigen um 30 - 40 % an. Verantwortlich dafür sind namentlich die ziemlich stark kontaminierten Seitenbäche mit Chlorid- und Nitratkonzentrationen von meist 15 - 30 mg/l, wobei der Scherlibach gegenüber dem Tifersbach bedeutend besser abschneidet (Tab. 6.3).

Gegenüber den anderen Komponenten schwankt die weitgehend naturbedingte Karbonathärte nur schwach. Auch hier weist jedoch die Sense mit 17 - 18°f (Mittelwert) geringere Gehalte als ihre Zuflüsse auf.

Tabelle 6.1 Chemische und physikalische Eigenschaften  
des Grundwassers und der Sense (Situation Beilage 2)

Probe		Sense Thörishaus (593/193.59)	PW Sense matt (593/192.12)	PW Kaufmann (592/193.7)	PW Flamatt (590/193.18)	PW 1+PW2 Neuenegg (590/193.28+84)	Sense Laupen (584/194.35)
Beobachtungsperiode		'88 - '92	'88 - '92	'88 - '92	'75-'93	'88 - '92	'88 - '92
Gesamthärte °f	Mittel	21.9 (48)	23.1 (10)	26.0 (4)	24.0 (10)	24.7 (3)	22.1 (42)
	Max.	27.5	24.2	27.2	26.5	25.2	28.5
	Min	14.5	21.7	25.0	22.7	24.1	14.5
Karbonathärte °f	Mittel	17.2 (48)	18.7 (13)	21.4 (6)	18.7 (7)	19.7 (9)	17.8 (42)
	Max.	22.0	20.0	23.0	20.3	21.4	23.0
	Min	11.5	17.4	19.8	12.9	18.6	11.5
Chlorid mg Cl/l	Mittel	4.6 (54)	5 (13)	7 (7)	6 (7)	6 (12)	6.5 (42)
	Max.	10.0	7	9	7	7	15.0
	Min	1.7	4	5	5	5	1.6
Nitrat mg NO <sub>3</sub> /l	Mittel	7.8 (54)	9 (13)	12 (7)	11 (16)	10 (12)	10.4 (42)
	Max.	16.0	12	15	16	12	21.0
	Min	2.2	7	9	6	9	2.2
Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l	Mittel	45 (48)	42 (13)	37 (7)	41 (10)	41 (12)	41 (42)
	Max.	71	51	40	45	49	70
	Min	24	35	32	39	33	27
Oxidierbarkeit mg KMnO <sub>4</sub> /l	Mittel	12 (36)	2.5 (10)	2.9 (3)	2.9 (4)	2.7 (3)	13.0 (36)
	Max.	35	3.3	3.3	3.8	3.0	43.0
	Min	7	1.4	2.7	1.5	2.5	7.3
Nitrite mg NO <sub>2</sub> /l	Mittel	0.022 (54)	< 0.005 (12)	< 0.005 (3)	< 0.005 (4)	< 0.005 (3)	0.022 (42)
	Max.	0.433	-	-	-	-	0.063
	Min	0.003	-	-	-	-	0.004
Ammonium mg NH <sub>4</sub> /l	Mittel	0.039 (54)	< 0.05 (12)	< 0.05 (3)	< 0.05 (4)	< 0.05 (3)	0.049 (41)
	Max.	0.321	-	-	-	-	0.350
	Min	0.004	-	-	-	-	0.009
Sauerstoff mg O <sub>2</sub> /l	Mittel	10.8 (52)	5.7 (2)	6.6 (2)	5.4 (2)	6.9 (3)	10.9 (41)
	Max.	14.0	6.2	6.7	7.4	8.6	14.1
	Min	8.0	5.1	6.4	3.3	5.9	8.3
Sauerstoff- Sättigung %	Mittel	102 (52)	54 (2)	63 (2)	51 (2)	66 (3)	103 (41)
	Max.	110	60	63	70	83	118
	Min	95	48	63	32	55	84
Leitfähigkeit µS/cm	Mittel	396 (54)	418 (13)	472 (6)	446 (7)	466 (8)	411 (42)
	Max.	509	473	518	477	484	516
	Min	250	384	436	427	437	253
ph bei 20°C	Mittel	8.4 (54)	7.4 (10)	7.3 (3)	7.0 (4)	7.5 (3)	8.5 (42)
	Max.	8.9	7.6	7.4	7.6	7.7	9.2
	Min	7.5	7.1	7.3	7.4	7.4	8.1
Temperatur °C	Mittel	10.8 (52)	9.9 (21)	9.1 (3)	11.0 (5)	10.1 (34)	11.0 (41)
	Max.	22.3	12.8	10.2	11.5	12.9	23.1
	Min	0.4	7.4	8.4	9.0	7.5	0.6

Zahlen in Klammern = Anzahl Proben

Analytik: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern (Sense Thörishaus und Laupen),  
Kantonschemiker Bern (PW Sense matt, PW Kaufmann, PW1+PW2 Neuenegg, Teil PW Flamatt)  
Kantonschemiker Freiburg (Mehrheit der Analysen aus dem Pumpwerk Flamatt).

**Tabelle 6.2 Chemische und physikalische eigenschaften des Grundwassers in den WEA-Sondierbohrungen (Situation Beilage 2)**

Probe		KB1 Thörishaus (592/193.52)	KB2 Thörishaus (593/193.90)	KB3 Oberflamatt (592/193.53)	KB4 Oberflamatt (591/193.51)	KB5 Flamatt (591/193.52)	KB6 Neuenegg (590/193.135)
Probenahme		01.07.91	04.07.91	2.6 / 30.11.92	2.6 / 30.11.92	2.6 / 30.11.92	03.02.92
Gesamthärte	°f	24.6	22.7				24.8
Karbonathärte	°f	20.7	17.4	22.9 / 27.7	26.8 / 30.2	18.9 / 20.5	19.1
Calcium	mg Ca/l	84.6	78.2				85.8
Magnesium	mg Mg/l	8.5	7.8				8.3
Chlorid	mg Cl/l	6	4	25 / 20	27 / 30	7 / 7	6
Nitrat	mg NO3/l	10	7	19 / 31	35 / 33	11 / 13	9
Sulfat	mg SO4/l	36	34	42 / 29	29 / 22	42 / 39	50
Oxidierbarkeit	mg MnO4/l	3.8	3.8				2.8
Nitrit	mg NO2/l	< 0.005	< 0.005				< 0.005
Ammonium	mg NH4/l	< 0.05	< 0.05				< 0.05
Ortho-Phosphat	mg P/l	< 0.01	< 0.01				< 0.01
Gesamt-Eisen	mg Fe/l	0.34	0.12				0.12
Gesamt-Mangan	mg Mn/l	< 0.05	< 0.05				< 0.05
Sauerstoff	mg O2/l	8.1	6.8	5.8 / 8.2	7.5 / 8.5	5.5 / 5.4	4.3 *
Sauerstoffsättigung	%	75	70	53 / 80	72 / 81	53 / 50	41 *
Leitfähigkeit	µS/cm	447	413	558 / 623	615 / 694	425 / 475	445
ph-Wert		7.45	7.73				7.60
ph-Messtemperatur	°C	10.1	7.8				20
Wassertemperatur	°C	9.7	7.3	8.4 / 10.6	10.5 / 10.7	9.9 / 8.9	6.4
Chlorierte Lösungsmittel	µg/l	< 1	< 1				< 1 *
Pestizide		n.n.	n.n.				

n.n. = nicht nachweisbar. Nachweisgrenze für Pestizide: 0.01 µg/l für Atrazin, Simazin, Desethylatrazin; 0.03 µg/l für Bromacil, Carbofuran, Chlortoluron, Diuron, Isoproturon, Terbutylazin, Metalaxyl, Metribuzin.

\* am 26.06.92

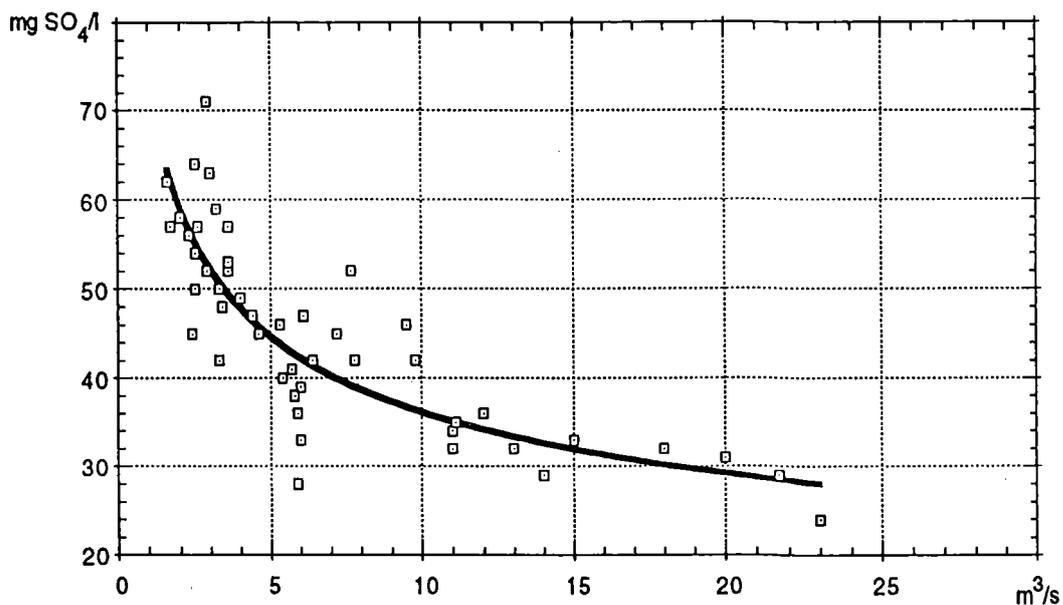
Analytik: Kantonschemiker Bern.

Tabelle 6.3 Chemische und physikalische Eigenschaften der Oberflächengewässer am 3. Juni 1992 (Situation Beilage 2)

	Temperatur °C	el. Leitfähig. μS/cm	Karbonathärte franz. °H	Chlorid mg Cl/l	Nitrat mg NO <sub>3</sub> /l	Sulfat mg SO <sub>4</sub> /l
<b>Sense</b>						
Heiti - Büffel (593'550/191'150)	12.4	340	15.3	2	6	35
Neuenegg vor Tafersbach (590'550/193'460)	13.1	339	15.3	3	3	41
Laupen (584'850/194'500)	13.9	347	16.1	4	5	39
<b>Seitenbäche</b>						
Scherlibach, Sensematt (593'620/192'570)	12.1	480	25.2	11	19	14
Bach Camping Thörishaus (591'870/193'580)	13.5	545	24.8	22	31	22
Tafersbach, Flamatt (590'090/193'340)	13.3	500	25.4	15	23	13
Wileringbächli, Neuenegg (589'330/193'850)	13.2	455	22.0	10	25	15

Analytik: Kantonschemiker Bern.

Figur 6.3 Korrelation zwischen Sulfatgehalt und Abflussmenge der Sense



## 6.3.2 Grundwasser

### 6.3.2.1 Allgemeines

Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers wird weitgehend durch die Art der Grundwasserneubildung sowie die Untergrundpassage des Wassers im ungesättigten und gesättigten Bereich bestimmt. Dabei ist die Ausgangsqualität des in den Untergrund infiltrierenden Wassers für die anschließende Mineralisierung sehr bedeutend. Aus der Art und Weise, wie die Grundwasserspeisung erfolgt (direkte Grundwasserneubildung durch Niederschläge, indirekte Grundwasserneubildung durch Oberflächengewässereinfiltration und Hangwasser), resultiert meist ein unterschiedlicher Grundwasserchemismus, wobei die Passage durch die Humusschichten ebenfalls die anschließende Mineralisation beeinflusst.

Das sauerstoffreiche, weiche Niederschlagswasser nimmt im Vegetationsbereich des Bodens Kohlendioxyd auf. Damit sind die Voraussetzungen für eine rasche Mineralisation in dem vorwiegend kalkigen Untergrund gegeben. Je nach den Vegetationsverhältnissen werden bei der Versickerung auch Pflanzennährstoffe eingetragen (Stickstoff!). Chemisch lässt sich das Niederschlagsinfiltrat kaum charakterisieren, zu sehr ist die Mineralisation von der Passage im Humusbereich und der ungesättigten Zone abhängig. Je nachdem, wie die Deckschichten, die Geländemorphologie und die Vegetation ausgebildet sind, variiert die Versickerungsrate.

Da die Sense als Hauptanspeisungsquelle mit Ausnahme des Sulfats merklich weniger mineralisiert ist als das Grundwasser, können Infiltrationen im Grundwasser mittels verschiedener Wasserinhaltsstoffe sichtbar gemacht werden. Bei der Karbonathärte, dem Chlorid- und Nitratgehalt macht sich ein "Verdünnungseffekt" bemerkbar, während beim Sulfat das Gegenteil in Erscheinung tritt (Kap. 6.3.1, Beilage 3).

Unter Hangwasser versteht man im allgemeinen in Hügelländern versickertes Niederschlagswasser, das auf schwerdurchlässiger Unterlage, wie z.B. Molasse, Moräne und Gehängelehm, häufig oberflächennah in der Grundluftzone (Gehänge- und Bachschutt) zum Abfluss kommt. Dabei hat es Gelegenheit, sich wiederholt mit Gasen zu sättigen und sich daher rasch zu mineralisieren. Infolge des meist geringen Abstandes zur Terrainoberfläche kann zudem der Eintrag gelöster Substanzen mit Leichtigkeit erfolgen. In nichtbewaldeten Gebieten ist Hangwasser deshalb meist stark mineralisiert (Düngung). Im vorliegenden Untersuchungsgebiet dürften sich Hangwasserzuflüsse praktisch überall an der Peripherie des Grundwasserleiters gel-

tend machen, sofern die entsprechenden Deckschichten eine Infiltration in den Aquifer zulassen.

In der Regel weist das Grundwasser im Untersuchungsgebiet Trinkwasserqualität auf (LMB, 1985). Im Bereich von kräftiger Flusswasserinfiltration war stellenweise ein Sauerstoffdefizit zu verzeichnen, was jedoch hygienisch unbedenklich ist. Dies ist auf die Oxidation von organischen Stoffen im Infiltrat zurückzuführen. Ein Prozess, der häufig bei Infiltrationszonen von Mittellandflüssen zu beobachten ist. Nur in der Gegend von Laupen ist das Grundwasser stellenweise derart stark mit Nitrat belastet, dass es als Trinkwasser beanstandet werden müsste.

### 6.3.2.2 Einzelne Komponenten (Beilage 3)

#### a) Karbonathärte

Wie im vorangehenden Kapitel angedeutet, wird die Karbonathärte des Grundwassers vor allem vom Kohlendioxydeintrag aus der Vegetationszone und dem kalkigen Untergrund hervorgerufen. Da im Untersuchungsgebiet der Grundwasserleiter überall vorwiegend durch kalkhaltige Gesteine gebildet wird, unterscheiden sich die Grundwässer, die vorwiegend durch Niederschläge gespiesen werden, gegenüber denjenigen, die durch Flusswasser alimentiert werden, deutlich. Im ersten Fall liegt der Karbonatgehalt häufig über 25°f (französische Härtegrade, 1°f = 10 mg/l CaCO<sub>3</sub>), im anderen meist unter 20°f (Beilage 3). Demzufolge herrscht Flusswasserinfiltrat eindeutig zwischen Heiti-Büffel und Autobahnviadukt sowie entlang der Sense zwischen Oberflamatt und Neueneegg vor, während in den Randgebieten bei Oberflamatt, Flamatt und Neueneegg Niederschlag- und Hangwasserinfiltrat dominieren.

Durch den Betrieb der Grundwasserpumpwerke wird die Infiltration von Sensewasser lokal verstärkt. Bezeichnenderweise zeigt das geförderte Wasser in den Fassungen Sensematt, Flamatt und Neueneegg (Tab. 6.1) einen Karbonatgehalt, der im Mittel nur etwa 1 - 2°f höher liegt als im Flusswasser, wobei die Maxima infolge der ausgleichenden Abflussbedingungen im Grundwasserleiter noch unter dem Höchstwert des Sensewassers liegen.

Gesamthaft gesehen kann aufgrund der Karbonathärte das Grundwasser im Untersuchungsgebiet als mittelhart (15 - 25°f) bis ziemlich hart (25 - 32°f) eingestuft werden (LMB, 1985).

### **b) Sulfate**

Wie schon erwähnt, hebt sich das Flusswasser mit einem mittleren Sulfatgehalt von  $> 40$  mg/l deutlich von den übrigen Grundwasseranspeisungsquellen ab. Die Verteilung des Sulfatgehaltes im Grundwasser ergibt daher beinahe ein identisches Bild wie die Karbonathärte, jedoch mit gegenteiliger Konzentrationstendenz (Beilage 3). Abgesehen vom Senseinfiltrat stammt das Sulfat im Untersuchungsgebiet einerseits von sulfatführenden Gesteinen, in vermehrtem Mass hat es jedoch anthropogenen Ursprung. Nebst einer landwirtschaftlich bedingten Grundbelastung, die erfahrungsgemäss für mindestens 15 - 20 mg/l Sulfat im Grundwasser verantwortlich gemacht werden kann, sind weitere Sulfatzufuhren meist durch Industrien, Gewerbe, Lagerumschlagsplätze, Deponien und die Kanalisation bedingt. Bezeichnenderweise wurde mit 53 mg/l die höchste Sulfatkonzentration im Sod S4 (584.194/40) bei Laupen gemessen, der sich ebenfalls durch einen hohen Nitratgehalt auszeichnet und ausserhalb der Flusswasserinfiltrationszone liegt. Obschon die Sense vorübergehend bis zu 71 mg/l Sulfat führen kann (Tab. 6.1), wurde im Infiltrationsbereich der Sense nur einmal eine Sulfatkonzentration von  $> 50$  mg/l, d.h. 51 mg/l, vorgefunden.

Infolge der gesteigerten Infiltration durch die grossen Trinkwasserpumpwerke liegt bei diesen der mittlere Sulfatgehalt nur marginal unter demjenigen der Sense, was im umgekehrten Sinn für die Karbonathärte bemerkt wurde.

Bei einem Qualitätsziel von 10 - 50 mg/l und einem Toleranzwert von 200 mg/l (LMB, 1985) sind die vorgefundenen Sulfatkonzentrationen im Grundwasser für die Gesundheit unbedenklich. Allerdings bewirken hohe Sulfatgehalte eine erhöhte Gesamthärte. Dabei sind die 40 mg/l Sulfat, wie sie etwa im Mittel in den öffentlichen Fassungen vorgefunden werden, für eine Härtezunahme von ca. 5°f verantwortlich (im Gegensatz zur Karbonathärte, die nur an Kohlensäure gebundenes Calcium und Magnesium beinhaltet, umfasst die Gesamthärte den gesamten Gehalt an Calcium und Magnesium, also auch an Schwefelsäure gebundenes).

### **c) Nitrate**

In der Art, wie das Senseinfiltrat die Härte des Grundwassers herabsetzt, findet auch eine Verminderung der Nitratkonzentration statt (Beilage 3). Dank diesem Umstand kann der Toleranzwert von 40 mg/l, von wenigen Ausnahmen abgesehen, im gesamten Untersuchungsgebiet eingehalten werden. Die massgebenden Trinkwasserfassungen weisen einen als vorzüglich zu taxierenden Schwankungsbereich von 6 - 12 mg/l Nitrat auf.

Wie vielerorts im schweizerischen Mittelland muss die Herkunft des Nitrats im Grundwasser zum überwiegenden Teil auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zurückgeführt werden. Da in der Regel die Pflanzen die ausgebrachten Hof- und Handelsdünger nicht vollständig aufnehmen können, wird ein Teil davon im Boden ausgewaschen und gelangt ins Grundwasser. Dies ist in besonderem Mass im Sensetal mit den grösstenteils gutdurchlässigen kiesigen und sandigen Deckschichten der Fall.

Bezeichnenderweise mussten die höchsten Nitratwerte in drei Sodbrunnen südwestlich Laupen mit 47 - 62 mg/l festgestellt werden (intensive Landwirtschaft, kein Infiltrat, gutdurchlässige Deckschichten, geringmächtiger Grundwasserleiter). Eine umweltgerechte Bodennutzung könnte jedoch auch hier, trotz der ungünstigen Voraussetzungen, zu einer massiven Herabsetzung des Nitratgehaltes im Grundwasser führen.

Namentlich dank dem Einfluss der Sense kann das Qualitätsziel von  $< 25$  mg/l Nitrat (LMB, 1985) bei ca. 70 % der Probeentnahmestellen und bei allen Fassungen eingehalten werden.

#### **d) Chloride**

Beim Chloridgehalt liegt das Qualitätsziel bei  $< 20$  mg/l und der Toleranzwert bei 200 mg/l (LMB, 1985). Mit Ausnahme des Randgebietes bei Flamatt mit der auch bei den vorangehenden Parametern beobachteten Belastungsfahne bei Oberflamatt sowie vereinzelt Sodbrunnen wurde das Qualitätsziel überall erreicht (Beilage 3).

Auch hinsichtlich des Chloridgehaltes übt die Sense einen sehr positiven Einfluss aus, so liegen die Chloridkonzentrationen bei den öffentlichen Wasserversorgungen konstant zwischen 4 und 7 mg/l (Tab. 6.1).

Im Gegensatz zur Karbonathärte, die grösstenteils naturbedingt ist, muss der Chloridgehalt im Grundwasser vorwiegend auf zivilisatorische Einflüsse zurückgeführt werden, wobei vor allem die Strassensalzung und die Düngung verantwortlich sein dürften. Der höchste Chloridgehalt wurde in der Bohrung KB4 (591.193/51) mit 30 mg/l bei Oberflamatt registriert.

#### **e) Sauerstoffsättigung, Eisen, Mangan, Nitrit, Ammonium**

Obwohl die Sauerstoffsättigung des Wassers für die Gesundheit ohne Bedeutung ist, ist sie aus technischen Gründen für die Wasserversorgung ein äusserst wichtiger Parameter. Beträgt die Sauerstoffsättigung  $< 40$  %, so besteht die Gefahr, dass das

Wasser eiserne Rohre angreift, vor allem, wenn das Wasser nicht sehr hart ist. Bei Luftkontakt kann das gelöste 2-wertige Eisen zu unlöslichem 3-wertigem oxidiert werden, was rostige Flecken und das Ausfällen unlöslichen Eisenhydroxids verursacht. Die sogenannte Rostschuttschicht in Leitungsrohren, eine Schutzschicht aus Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) mit Einlagerungen von Magnesium- und Eisenverbindungen, kann sich zudem nur bei einer ausreichenden Sauerstoffsättigung ( $> 60\%$ ) bilden.

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

Im Untersuchungsgebiet gibt die Sauerstoffsättigung in der Regel zu keinen Bedenken Anlass. Trotz der lokal schwerdurchlässigen Deckschichten mit fehlender Grundluftzone bei Neuenegg (Beilage 1) weist das Grundwasser in diesem Gebiet kein Sauerstoffdefizit mit den damit verbundenen Randerscheinungen auf. Dies ist vermutlich auf die geringe Ausdehnung dieser Deckschichten sowie der ziemlich grossen Grundwasser-Fliessgeschwindigkeit zurückzuführen.

Wie unter Kapitel 6.3.2.1 erwähnt, wird stellenweise in Zonen mit kräftiger Flusswasserinfiltration ein Sauerstoffdefizit im Grundwasser festgestellt. Dies ist zwischen dem Heiti-Büffel und Sensematt der Fall, wo in drei verschiedenen Beobachtungsstellen eine Sauerstoffsättigung von  $33 - 40\%$  gemessen wurde. In der nördlich anschliessenden Fassung Sensematt wurden Werte zwischen  $48$  und  $60\%$  registriert, eine Sättigung, die beim Wasserwerksbetrieb zu keinen Problemen führte.

Nitrit und Ammonium wurden nirgends nachgewiesen, wobei jedoch festzuhalten ist, dass derartige Analysen nur bei ausgewählten Probeentnahmestellen ausgeführt wurden.

Die in den Bohrungen KB1, KB2 und KB6 festgestellten Eisengehalte müssen dem Bohrbetrieb angelastet werden, da der Kleinpumpversuch mit der Probeentnahme kurz anschliessend erfolgte (Tab. 6.2).

#### **f) Schadstoffbelastung des Grundwassers**

Mit Ausnahme von geringfügigen Pestizidrückständen konnten im Grundwasser keine Schadstoffe festgestellt werden. In den öffentlichen Trinkwasserfassungen sowie in der Fassung Kaufmann (592.193/7) waren alle Analysen auf leichtflüchtige Chlor-Kohlenwasserstoffe negativ. Spuren des Unkrautvertilgungsmittels Atrazin, d.h.  $0.01 - 0.03 \mu\text{g/l}$  wurden nur in den Fassungen von Neuenegg festgestellt (Toleranzwert  $0.1 \mu\text{g/l}$  je Substanz,  $0.5 \mu\text{g/l}$  insgesamt, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung 1986). Insgesamt wurden acht Probeentnahmestellen auf diese Substanzen hin untersucht.

## 7. GRUNDWASSERBILANZ

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

Der Grundwasserabfluss im Sensetal zwischen Heiti-Büffel und Laupen ist zusammenfassend in Figur 7.1 dargestellt. Es handelt sich um die Bilanz bei mittlerem Wasserstand. Da die Sense mit Ausnahme des Abschnittes zwischen Thörishaus und Oberflamatt (zwischen Profil III und IV) eine hydraulische Barriere darstellt, wurde der Grundwasserabfluss für die rechte und linke Talseite gesondert bestimmt. Dabei wurde einfachheitshalber der unter dem Flussbett liegende Grundwasserleiter zur Berner Seite gezählt.

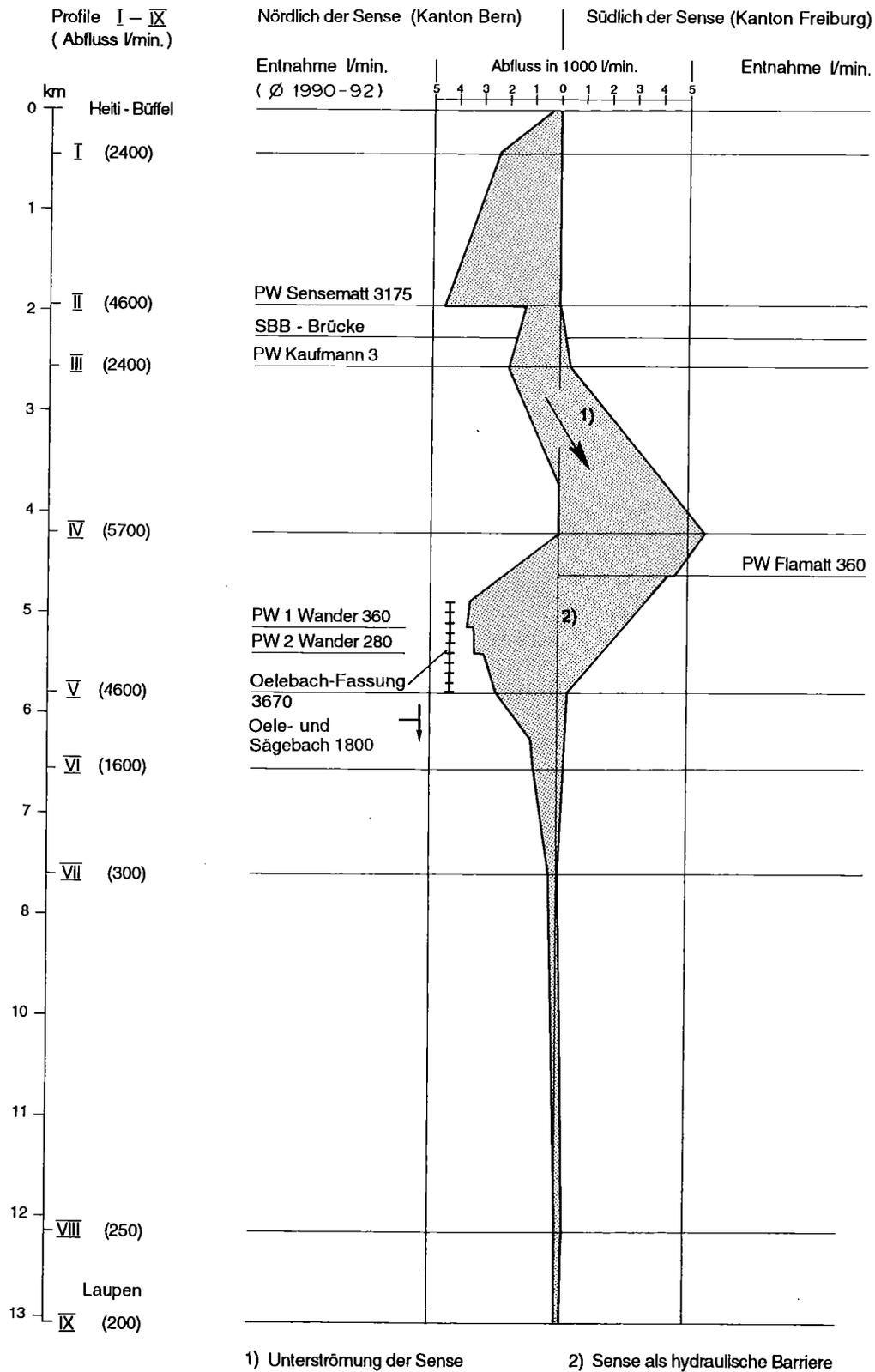
Beim Profil II würde gemäss den Durchflussberechnungen die Grundwasserabflussmenge ca. 30 % weniger betragen als auf der Figur 7.1 ausgewiesen wird. Infolge der verursachten lokalen Grundwasserspiegelabsenkung, die durch die Fassung Sensematt der Einwohnergemeinde Köniz erzeugt wird, fliesst vermehrt Sensewasser in den Grundwasserleiter. Die Feldergiebigkeit des Grundwasserstroms wird dadurch künstlich erhöht.

Auch die Oelebachsickerleitung übt mit ihrem durchschnittlichen Abfluss von 3'670 l/min. auf das Infiltrationsverhalten einen Einfluss aus, obwohl sie 150 - 250 m von der Sense entfernt liegt. Dagegen beeinflussen die geringen durchschnittlichen Fördermengen der übrigen Fassungen den Wasseraustausch zwischen Fluss und Grundwasser kaum.

Der Oelebach sowie der Sägebach werden durch natürliche Grundwasseraufstösse gespeisen. Vor dem Bau der Oelebachsickerleitung dürfte ihr Abfluss mindestens das Doppelte betragen haben.

Aufgrund der Figur 7.1 könnte vermutet werden, dass zwischen den Profilen IV und V der gesamte Grundwasserstrom von der Freiburger auf die Berner Seite überwechselt. Die Grundwasserspiegelisohypsen (Beilage 2) und der Grundwasserchemismus (Beilage 3) illustrieren jedoch deutlich, dass auf diesem Abschnitt der Grundwasserstrom von Flamatt sich in die Sense ergiesst, während auf der gegen-

Figur 7.1 Bilanz des Grundwasserstroms im Sensetal bei mittlerem Grundwasserstand



überliegenden Seite vollumfänglich Flusswasser infiltriert. Ein Verhalten, das auch durch Markier- und Pumpversuche bestätigt wurde (Kap. 5).

Siedlungswasserwirtschaftlich ist der Grundwasserstrom einige 100 Meter unterhalb Profil VI mit einem Abfluss von wenigen 100 l/min. kaum mehr von Bedeutung. Es darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass auch auf diesem Abschnitt an relativ günstigen Stellen mittels geeigneten Fassungen geringe Mengen Sensewasser induziert werden können.

Wie schon in Kapitel 3 erwähnt, wurde auf eine hydrologische Bilanzierung verzichtet. Aufgrund von hydraulischen und qualitativen Abschätzungen ist jedoch klar, dass das Grundwasser zum weitaus grössten Teil durch die Sense gespeisen wird. Der Anteil der versickerten Niederschläge und des Hangwassers überwiegt nur stromabwärts von Neuenegg, wo die Sense als Vorfluter wirkt.

## 8. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

### 8.1 Grundwasserdargebot

Das gesamte Grundwasserdargebot entspricht im allgemeinen der totalen mittleren Grundwasserabflussmenge oder der Feldergiebigkeit. Indessen kann meist aus verschiedenen Gründen nicht dauernd diese Menge gefördert werden, ohne dass sich negative Einflüsse geltend machen.

Steht jedoch ein Grundwasserleiter in direkter hydraulischer Beziehung zu einem Oberflächengewässer, so vermag eine Grundwasserspiegelabsenkung eine zusätzliche Infiltration zu bewirken, die das lokale Grundwasserdargebot bedeutend steigern kann. Dies ist vor allem bei angeschlossener Infiltration der Fall. Durch eine genügend grosse Grundwasserabsenkung kann jedoch auch entlang Exfiltrationsabschnitten eine Gefällsumkehr und damit eine Infiltration herbeigeführt werden.

#### 8.1.1 Abschnitt Heiti-Büffel - SBB-Brücke Thörishaus

Aufgrund der Bilanzierungsprofile beträgt das Grundwasserdargebot auf diesem Abschnitt etwa 4'500 l/min, wobei ohne die Auswirkung der Fassung Sense matt nur gut 3'000 l/min. ausgewiesen werden könnten, was dem natürlichen Grundwasserabfluss entspricht. Pumpversuche haben gezeigt, dass mit der bestehenden Fassung trotz der lokalen flussseitigen Molasseschwelle (Kap. 5.2) durch verstärkte Infiltration unter Würdigung aller Randbedingungen (siehe weiter unten) ein nutzbares Dargebot von ca. 4'300 l/min. postuliert werden kann.

Stromabwärts der Fassung besteht auf einer Strecke von ca. 300 m wegen einer Molasseschwelle praktisch keine Verbindung mit der Sense. Es folgt eine Infiltrationsstrecke von ca. 200 m Länge, anschliessend reisst die hydraulische Verbindung zum Fluss wieder ab (Beilage 2). Eine Entnahme, die die natürliche Feldergiebigkeit übersteigt, hat deshalb stromabwärts beträchtliche Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel. So bewirkte der mit bis zu 10'000 l/min. gefahrene Pumpversuch in grösserer Entfernung von der Fassung infolge des fehlenden Nachflusses die gleich grosse Absenkung wie 10 m davon entfernt (RUTSCH, 1969).

Wird der Grundwasserspiegel vor Inbetriebnahme (Juni 1973) des Pumpwerks Sense matt mit dem heutigen verglichen, so liegt dieser stromabwärts gegenüber früher deutlich tiefer. Gemäss den Daten von BLUMER (1976) liegt der Grundwasserspiegel oberhalb der SBB-Brücke heute ca. 0.5 - 1.0 m tiefer als damals und ist erst

etwa 500 m weiter stromabwärts wieder unverändert. Verglichen mit der Aufnahme von RUTSCH (1967 b) vor dem 1969 erfolgten Schwelleneinbau (Kap. 3.3) erreicht die Grundwasserspiegeldifferenz unterhalb Thörishaus sogar 2 - 3 m (bezeichnenderweise gab es früher durch Grundwasser überflutete Keller in Oberflamatt, was heute nicht mehr der Fall ist). Es ist offensichtlich, dass diesen Vergleichsmessungen Fehler anhaften (Zeitpunkt der Messungen, Beobachtungspunkte, Wasserstand der Sense etc.). Trotzdem sind folgende Schlussfolgerungen zwingend:

- Der Einbau der Flussschwellen hat die Flussole teilweise abgesenkt (Tab. 3.2), die Neigung des Flussbettes und die Erosionskraft verringert, was mit der Uferverbauung lokal zu einer teilweisen Verdichtung des Flussbettes führte. Durch die verminderte Infiltration und das Absinken des Grundwasserspiegels ging der Grundwasserabfluss nach 1969/70 nachhaltig zurück.
- Der Betrieb des Pumpwerks Sensematt hat namentlich stromabwärts eine zusätzliche merkbare Grundwasserspiegelabsenkung verursacht.
- Da nach 1973 keine bedeutenden Eingriffe in den Wasserhaushalt mehr vorgenommen wurden, hat sich auf dem zur Diskussion stehenden Abschnitt in den letzten 20 Jahren das Grundwasserdargebot kaum mehr verändert.

Infolge der erwähnten limitierten Grundwasserneubildung stromabwärts der Sensematt (Kap. 5.2) sollte eine vermehrte Grundwassernutzung auf diesem Abschnitt nicht mehr mit dem bestehenden Pumpwerk Sensematt erfolgen. Vielmehr bietet sich eine Stelle ca. 1.5 km stromaufwärts davon im Bereich des Profils I an. Infolge einer Einschnürung des Grundwasserleiterquerschnitts mit Exfiltrationstendenz ca. 700 m stromabwärts dieses möglichen Fassungsstandortes (Beilage 2) wäre eine hydraulische Beeinflussung des Pumpwerks Sensematt nicht zu befürchten. Obwohl die Durchlässigkeit und Mächtigkeit des Grundwasserleiters in diesem Gebiet weniger günstig sind als in der Sensematt, könnten mittels einer geeigneten Fassungsanlage durch Anhebung der Flusswasserinfiltration mindestens 3'000 l/min. Grundwasser gewonnen werden. Die Aufenthaltszeit des Flusswassers im Untergrund wäre dabei ziemlich kurz, vergleichbar mit anderen bestehenden Fassungsanlagen in Flussnähe (z.B. Muri, Münsingen, Aarberg).

### 8.1.2 Abschnitt SBB-Brücke Thörishaus - Flamatt (Profil IV)

Abgesehen von einem 200 m langen Streifen mit angeschlossener Infiltration anschliessend an die SBB-Brücke steht die Sense auf diesem Abschnitt nicht in direktem hydraulischem Kontakt mit dem Grundwasser.

Der Grundwasserstrom unterfliesst die Sense vollumfänglich von der Berner auf die Freiburger Seite. Durch perkolative Grundwasserinfiltration, Niederschläge und Hangwasserzuflüsse verzeichnet der Grundwasserstrom auf dem 2.3 km langen Teilstück eine Zunahme von etwa 4'300 l/min. auf ca. 5'700 l/min. Trotz dieser grossen Abflussmenge sollten wegen der stromabwärts liegenden Grundwasserfassung Flamatt und der noch weiter stromabwärts erst wieder einsetzenden angeschlossenen Infiltration nicht mehr als ca. 1'200 l/min. zur Nutzung freigegeben werden. Dies auch unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Entnahme im vorangegangenen Abschnitt.

Aufgrund der bestehenden Unterlagen muss angenommen werden, dass vor dem Schwellenbau 1969, als der Grundwasserspiegel noch bedeutend höher lag, ein direkter Wasseraustausch zwischen Fluss und Grundwasser stattfand (Kap. 5.2). Zu dieser Zeit wäre das nutzbare Grundwasserdargebot wesentlich höher gewesen.

### 8.1.3 Abschnitt Flamatt, Profil IV - Profil V (Freiburger Seite)

Die obere Hälfte dieses Abschnitts ist gekennzeichnet durch perkolative Infiltration der Sense. Anschliessend ist über eine Strecke von rund 300 m die Infiltration abgeschlossen, bevor auf einem ebenso langen Teilstück kräftige Exfiltration erfolgt.

Wird für die vorangehenden Abschnitte das reservierte nutzbare Grundwasserdargebot genutzt, können für die Fassung der Wasserversorgung Flamatt noch 3'000 l/min. garantiert werden, was der konzessionierten Entnahmemenge entspricht (vgl. Kap. 5.4). Im Bereich der Strecke mit angeschlossener Infiltration und Exfiltration dürften mindestens weitere 1'500 l/min verfügbar sein.

### 8.1.4 Abschnitt Neuenegg, Profil IV - Profil VI (Berner Seite)

Dieser Abschnitt wird durch eine kräftige Infiltration, zuerst perkolativ und sodann abgeschlossen, gekennzeichnet. Auf einer Strecke von ca. 1.2 km infiltrieren mindestens 7'000 l/min., d.h ca. 6 l/min. pro Laufmeter rechtes Ufer. Insgesamt erreicht

der Grundwasserabfluss ca. 8'000 l/min. Stromabwärts vom Profil V treten ca. 1'800 l/min. als Grundwasseraufstösse an die Oberfläche (Oele- und Sägebach). Bis zum Profil VI fliesst das nicht genutzte oder durch die Bäche abfliessende Grundwasser zu mindestens 80 % wieder in die Sense.

In Anbetracht, dass hier über eine längere Strecke ein kräftiger Wasseraustausch mit der Sense besteht, können durch erzwungene Infiltration beträchtliche Grundwassermengen verfügbar gemacht werden. Sofern auf die oberflächennahe Oelebachsickerleitung, die untiefen Sodbrunnen, den Oele- und Sägebach keine Rücksicht genommen werden müsste, wären durch eine optimale neue Fassungsanordnung mit Sicherheit über 10'000 l/min. zu entnehmen. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen liegt dagegen das nutzbare Grundwasserdargebot eher bei 6'000 l/min.

#### 8.1.5 Abschnitt stromabwärts von Flamatt (Profil V) und Neueneegg (Profil VI)

Der bis Laupen reichende, 5 km lange Abschnitt weist ein Grundwasserdargebot von < 800 l/min je Kantonsseite auf. Dabei können an einzelnen potentiellen Fassungsstellen dank erzwungener Infiltration bestenfalls nicht mehr als einige 100 l/min. entnommen werden. Eine Ausnahme bildet das Gebiet unterhalb Profil VI auf der Berner Seite, wo ebenfalls durch induzierte Infiltration noch gegen 1'200 l/min. verfügbar sind.

#### 8.1.6 Zusammenfassung

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

Heiti-Büffel - SBB-Brücke Thörishaus	7'300 l/min.
SBB-Brücke Thörishaus - Flamatt (Profil IV)	1'200 l/min.
Flamatt (Profil IV) - Profil V (Freiburger Seite)	4'500 l/min.
Neueneegg (Profil IV) - Profil VI (Berner Seite)	6'000 l/min.
Stromabwärts von Flamatt und Neueneegg	2'500 l/min.
	<b>21'500 l/min.</b>

Ohne erzwungene Infiltration von Flusswasser würde das nutzbare Grundwasserdargebot nur knapp zwei Drittel der obigen Summe betragen.

## **8.2 Grundwassernutzung**

### **8.2.1 Bestehende Nutzung**

Tabelle 8.1 vermittelt eine Uebersicht der konzessionierten Grundwasserentnahmen. Insgesamt bestehen Konzessionen zur Förderung von 30'011 l/min., wovon 12'340 l/min. auf Trinkwasser und 17'000 l/min. auf Brauchwasser entfallen. Zudem dienen 471 l/min. der Wärmegegewinnung und 200 l/min. dem Betrieb eines Zierteichs.

Der effektive Wasserbezug beträgt nur einen Bruchteil der Konzessionswassermenge, da die Konzession meist der installierten Pumpenleistung entspricht, die aber nur zum Abdecken von Bedarfsspitzen dient. Insgesamt wurden in den letzten Jahren durchschnittlich nur 7'840 l/min. verwendet. Das für die Energiegewinnung benötigte Grundwasser wird wieder versickert und beeinflusst daher die Grundwasserbilanz nicht, so dass eine Nettoentnahme von 7'776 l/min. resultierte. Gesamthaft wird somit im Untersuchungsgebiet nur etwa ein Drittel des nutzbaren Grundwasserdargebots oder etwa ein Viertel der konzessionierten Entnahmemenge gebraucht. Einige Fassungen werden, wie aus der Tabelle 8.1 ersichtlich ist, überhaupt nicht mehr verwendet und nur für eine allfällige Notwasserversorgung aufrechterhalten.

### **8.2.2 Grundwasserbewirtschaftung**

Wie erwähnt, entsprechen die erteilten Konzessionen für die Grundwasserentnahme im allgemeinen dem möglichen Spitzenverbrauch oder der installierten Pumpenleistung. Die konzessionierte Entnahmemenge kann deshalb um ein Mehrfaches über der durchschnittlichen Entnahmemenge liegen, wie dies bei allen öffentlichen Fassungen im Untersuchungsgebiet der Fall ist (Tab. 8.1). Dank dem grossen Speichervolumen des Grundwasserleiters ist auch eine vorübergehende Entnahme möglich, die bedeutend über dem nutzbaren Dargebot liegt.

Tabelle 8.1 Konzessionierte Grundwasserentnahmen (Stand August 1993)

Gemeinde, Verbraucher	Kat. 1)	Koordinaten	Konzessionierte Leistung l/min.	Entnahmemenge m <sup>3</sup> /a			Ø l/min. 1990 -1992
				1990	1991	1992	
<b>Laupen:</b>							
Hauselmann	D	584.815/195.245	59	5'000	5'000	5'000	9 <sup>2)</sup>
Henschel	D	584.680/194.200	85	-	-	-	-
Hofmann	D	584.790/194.400	58	3'150	3'150	3'150	6 <sup>2)</sup>
Schelbert	D	584.680/195.200	139	17'000	18'000	12'500	30 <sup>2)</sup>
Gemeindekasse Laupen	F	584.450/194.750	200	-	-	-	-
<b>Neuenegg:</b>							
Einwohnergemeinde Köniz	A	593.460/193.000	6'180	1'860'000	1'705'000	1'441'000	3'175
Karl Kaufmann AG	A	592.940/193.400	200	-	-	1'600	3
Wander AG (Pumpwerk II)	B	590.100/193.550	5'000	167'493	127'145	146'300	280
Wander AG (Pumpwerk I)	A <sup>3)</sup>	590.300/193.520	960	188'855	189'403	183'992	357
Wander AG	B <sup>5)</sup>	590.000/193.650	12'000	1'161'397	1'804'695	1'825'455	3'673
Einwohnergemeinde Neuenegg	A <sup>4)</sup>	589.760/193.640	2'000	-	-	-	-
W. Staub Söhne AG	D	589.320/193.660	130	-	10'000	10'000	19 <sup>2)</sup>
<b>Flamatt:</b>							
Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt	A	590.895/193.970	3'000	151'255	149'904	152'310	288
<b>Total</b>			<b>30'011</b>				<b>7'840</b>

- 1) Kategorie, Verwendungszweck: A Trinkwasser, B Brauchwasser, D Wärmegewinnung, F Zierteich
- 2) Wird versickert
- 3) Die Dorfgemeinde Neuenegg bezieht davon Trinkwasser
- 4) Not- und Löschwasser der Einwohnergemeinde Neuenegg (Fassung der Ersparniskasse) des Amtsbezirks Laupen
- 5) Kühlwasser

Grundwassergebiet	Nutzbares Dargebot  l/min.	Konzedierte Entnahme <sup>1)</sup>  l/min.	Effektive Nutzung <sup>2)</sup>  l/min.	Mögliche Zusatznutzung		
				gesamt l/min.	davon Trinkwasser mit Vorbehalt l/min.	ohne Vorbehalt l/min.
Abschnitt "Büffel-Felsen" - Eisenbahnbrücke Thörishaus	7'300	6'180	3'175	4'125	-	4'125
Abschnitt Eisenbahnbrücke Thörishaus - Flamatt (Profil IV)	1'200	200	3	1'197	-	1'197
Abschnitt Flamatt, Profil IV bis Profil V (Freiburger Seite)	4'500	3'000	360	4'140	-	2'640
Abschnitt Neuenegg, Profil IV bis Profil VI (Berner Seite)	6'000	20'090	4'310	1'690	1'690	-
Abschnitt stromabwärts von Flamatt (Profil V) und Neuenegg (Profil VI)	2'500	541	-	2'500	-	-
<b>Total</b>	<b>21'500</b>	<b>30'011</b>	<b>7'848</b>	<b>13'652</b>	<b>1'690</b>	<b>7'962</b>

Tabelle 8.2 Basisdaten für die Grundwasserbewirtschaftung

1) Stand Dezember 1992    2) Für die Energiegewinnung gewonnenes und wieder versickertes Grundwasser nicht eingerechnet

Die Nutzungs- und Schutzkarte (Beilage 4) zeigt, welche Grundwassergebiete für die verschiedenen Nutzungszwecke geeignet sind. Die Ausscheidung der Nutzungsbereiche erfolgte nach folgenden hauptsächlichen Kriterien:

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

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

#### 8.2.2.1 Nutzungsbereiche (Beilage 4)

##### **Bereich für Trinkwassergewinnung vorbehalten**

Nebst den mit einer Schutzzone belegten Bereichen im Gebiet der Fassungen der Gemeinde Köniz, der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt und der Wander AG konnten noch drei weitere Bereiche ausgeschieden werden, einer stromabwärts des Heiti-Büffels sowie zwei zwischen Autobahnbrücke und Flamatt. Während beim ersteren vorbehaltlos das postulierte Grundwasserdargebot genutzt werden kann (Kap. 8.1.1), muss bei den beiden anderen auf die schon bestehenden Fassungsanlagen Rücksicht genommen werden.

Diese Gebiete erfüllen folgende Kriterien:

- Weitgehend unbesiedelt und ausserhalb der eingezonten Siedlungsflächen
- k-Wert Grundwasserleiter  $> 5.0 \cdot 10^{-4}$  m/s
- Grundwasserleitermächtigkeit  $> 5$  m
- Die Wasserqualität entspricht den gesetzlichen Anforderungen an Trinkwasser, Nitratgehalt  $< 25$  mg/l

### **Bereich für Trinkwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet**

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

- Der Bereich bei Unter Mittelhäuseren ist etwas eingeschränkt durch limitierte Feldergiebigkeit und Speichervolumen.
- Der Bereich stromaufwärts von Flamatt weist teilweise einen Chloridgehalt von  $> 20$  mg/l und einen Nitratgehalt von  $> 25$  mg/l auf.
- Der bei Flamatt liegende Bereich besitzt in seinem unmittelbaren Anströmungsgebiet potentielle Verunreinigungsherde (Wohn- und Gewerbezone).

### **Bereich für Brauchwassergewinnung geeignet**

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

### **Bereich für Brauchwassergewinnung mit Vorbehalt geeignet**

Dem vorangehenden Bereich gegenüber sind die Nutzungsmöglichkeiten in diesen Gebieten namentlich aus qualitativen Gründen stark eingeschränkt (Entnahme pro Fassung meist  $< 400$  l/min.).

### **Bereich für Grundwassernutzung wenig geeignet**

Diese Gebiete sind für die Entnahme von Grundwassermengen  $> 200$  l/min. ziemlich ungeeignet. Durch grössere Anstrengungen (drainartige Fassungsanlagen) könnten allenfalls im Uferbereich der Sense an wenigen Stellen bestenfalls einige 100 l/min. Grundwasser entnommen werden.

#### **8.2.2.2 Trinkwassernutzungsmöglichkeiten**

Die massgebenden Zahlen für die Grundwasserbewirtschaftung sind in der Tabelle 8.2 zusammengestellt. Aus dem Kapitel 8.1 und der Beilage 4 gehen die möglichen Fassungsgebiete hervor und aus der Tabelle 8.2 die nutzbaren Mengen. Bezüglich der Trinkwassernutzung sind die Möglichkeiten nachstehend konkretisiert:

- **Abschnitt Heiti-Büffel - SBB-Brücke Thörishaus**

Neue Fassung im Bereich des Profils I mit einer Dauerentnahme von ca. 3'000 l/min. und einem Spitzenverbrauch von ca. 4'000 l/min.

Bestehende Fassung der Wasserversorgung Köniz mit einer Dauerentnahme von ca. 4'300 l/min. (vgl. 8.1.1) und einer Bedarfsspitze von 6'180 l/min. (= Konzession).

- **Abschnitt SBB-Brücke Thörishaus - Flamatt (Profil IV)**

Infolge der begrenzten Grundwasserneubildung und der bestehenden Pumpwerke von Köniz und Flamatt ist die zur Verfügung stehende Grundwassermenge von gegen 1'200 l/min. für eine öffentliche Fassung ziemlich bescheiden. Als Ersatzstandort für das Pumpwerk Flamatt oder für eine Fassung der Wasserversorgung Neueneegg würden sich indessen die ausgeschiedenen Bereiche (Beilage 4) vorteilhaft anbieten, wobei die Fördermenge entsprechend der ersetzten Fassung gesteigert werden könnte.

- **Abschnitt Flamatt, Profil IV bis Profil V (Freiburger Seite)**

Nebst der bestehenden Fassung der Wassergenossenschaft Flamatt und einer konzessionierten Entnahmemenge von 3'000 l/min., die auch im Dauerpumpbetrieb gefördert werden kann, bestehen keine weiteren Fassungsmöglichkeiten für Trinkwasser.

- **Abschnitt Neueneegg, Profil IV bis Profil VI (Berner Seite)**

Wie erwähnt, sind die limitierenden Faktoren für eine grössere Entnahme als das postulierte nutzbare Dargebot von 6'000 l/min. einerseits die bestehenden Hauswasserfassungen und vor allem die Oelebach-Sickerleitung (Lage des Grundwasserspiegels), andererseits jedoch die schutzzonentechnischen Schwierigkeiten. Die zusätzlichen 1'690 l/min, die für Trinkwasserzwecke genutzt werden könnten, lassen sich nicht unbesehen aus dem Pumpwerk 1 der Wander AG entnehmen (Tab. 8.1). Die bestehende Schutzzone reicht dazu nicht aus und eine Erweiterung würde Siedlungsgebiet einbeziehen. Möglicherweise könnte das Problem durch eine Umverteilung der Wassermenge zwischen den Pumpwerken 1 und 2 gelöst werden. Eine bessere Lösung wäre die Erstellung einer neuen Fassung etwa 50 - 100 m unterhalb der bestehenden Fassung 1, aber nur 30 - 40 m vom Senseufer entfernt. Die bestehende Schutzzone würde vermutlich für die Entnahme von 2'000 - 3'000 l/min. ausreichen.

- **Abschnitt stromabwärts von Flamatt (Profil V) und Neuenegg (Profil VI)**  
Aus quantitativen sowie teilweise aus qualitativen und schutzzonentechnischen Gründen fällt die Erstellung einer öffentlichen Trinkwasserfassung auf dem gesamten Abschnitt ausser Betracht.

### **8.3 Grundwasserschutz**

Der Grundwasserleiter der Talsohle befindet sich vom Heiti-Büffel bis zur Strassenbrücke Neuenegg-Sensebrugg im Gewässerschutzbereich A der Gewässerschutzkarte des Kantons Bern 1:25'000, Blatt 1186, Schwarzenburg. Dies trifft auch für den Kanton Freiburg zu (Gewässerschutzkarte des Kantons Freiburg 1:25'000, Blatt 1186, Schwarzenburg), nur dass sich hier der Gewässerschutzbereich A durchgehend bis nach Laupen erstreckt. Auf der Berner Seite wurde dagegen der Grundwasserleiter ab der Sensebrücke bis zur Mündung der Sense in die Saane dem Gewässerschutzbereich B zugeordnet, mit Ausnahme eines ca. 0.14 km<sup>2</sup> grossen Gebietes im Bereich des Schwimmbadareals Laupen (Gewässerschutzkarte des Kantons Bern 1:25'000, Blatt 1165, Murten und Blatt 1166, Bern), das dem Gewässerschutzbereich A angehört.

Die nachstehenden Grundwasserfassungen für die Öffentlichkeit oder von lebensmittelverarbeitenden Betrieben verfügen über eine rechtsgültige Schutzzone (Zone S) oder sind zur Zeit daran, eine zu errichten:

- Fassung Sensematt der Wasserversorgung der Gemeinde Köniz
- Fassungen Aumatt (Pumpwerk 1 und 2) der Firma Wander AG (mit Anschluss der Wasserversorgung der Gemeinde Neuenegg)
- Fassung Flamatt der Wasserversorgungsgenossenschaft Flamatt

Damit verfügen alle öffentlichen Trinkwasserbezügler über einen güte- und mengenmässigen Grundwasserschutz. Dieser ist jedoch nur relativ. Um einen vollumfänglichen Grundwasserschutz zu erreichen, müsste mindestens der Zuströmbereich, wie er in Beilage 4 ausgedehnt ist, den menschlichen Einflüssen (Landwirtschaft, Verkehr, Bauten etc.) möglichst weitgehend entzogen werden, was nicht verwirklicht werden kann. Es wird aber unumgänglich sein, alle Gefahrenherde zu erfassen und möglichst gut mit baulichen und betrieblichen Massnahmen zu sichern.

Obwohl aufgrund der durchgeführten Erhebungen (Tab. 8.1 und 8.2) noch Entnahmereserven bei den öffentlichen Fassungen vorliegen, erscheint es namentlich aus qualitativen Gründen wünschbar, alternative Fassungenmöglichkeiten sicherzustellen. Dazu bietet sich in erster Linie das unterhalb des Heiti-Büffels im Bereich des Profils I liegende Gebiet an, dessen Feldergiebigkeit mit induzierter Infiltration auf mindestens 3'000 l/min. geschätzt wurde (Kap. 8.2.2). Es wird deshalb empfohlen, dieses Gebiet mittels einer Schutzarealausscheidung für eine zukünftige Fassung vorzumerken.

Im Fall einer sehr nachhaltigen Grundwasserverschmutzung würde für die Wasserversorgungen der Gemeinden Neuenegg und Flamatt die Möglichkeit bestehen, in den für die Trinkwassergewinnung vorbehaltenen Bereichen (Beilage 4) beidseitig der Sense zwischen Thörishaus und Oberflamatt Wasser zu beziehen. Obwohl diese Gebiete in einem verminderten Mass auch potentiellen Verschmutzungsgefahren ausgesetzt sind (z.B. Autobahn) und ihre Feldergiebigkeit eingeschränkt ist (keine angeschlossene Infiltration), empfiehlt sich für die langfristige Sicherstellung von Trinkwasserreserven auch hier die Ausscheidung von Schutzarealen.

Im Verlauf der Untersuchungen wurden keine Altlasten entdeckt, die eine nennenswerte Gefährdung für das Grundwasser darstellen könnten. Eine unmittelbar stromaufwärts des Pumpwerks Sensematt befindliche alte Deponie wurde vor einigen Jahren teilweise ausgepackt und analysiert. Dabei stellte sich heraus, dass keine Verschmutzungsgefahr (mehr) vorlag.

Innerhalb der Schutzzonen sind die zulässigen menschlichen Eingriffe streng reglementiert, was jedoch für die angrenzenden Grundwassergebiete durch die bestehenden Verordnungen nur teilweise der Fall ist. Es sei daher an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass namentlich den Deckschichten im Grundwasserschutzbereich A der Gewässerschutzkarte besondere Beachtung geschenkt werden sollte. Dabei gilt es, insbesondere bei Eingriffen ins Grundwasser keine präferenziellen Sickerwege zu schaffen. Besondere Vorsicht ist bei einer künstlichen Versickerung von Meteor-

und Drainagewasser walten zu lassen. Potentielle Gefahrenherde bilden ebenfalls Sickerbrunnen und -schächte von Wärmepumpenanlagen.

Zur Erhaltung und Verbesserung der Grundwasserqualität sollten primär die eidgenössischen und kantonalen Gesetzgebungen gebührend respektiert werden (z.B. Kantonale Gewässerschutzverordnung von 1991). Trotz der teilweisen starken Ueberbauung im Untersuchungsgebiet bleibt die landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung weitgehend ausschlaggebend für die Güte des Quell- und Grundwassers. Dies betrifft vor allem das Gebiet des Grundwasserleiters und die Zonen A und B im Zuströmbereich (Beilage 4).

In den vorangehenden Kapiteln wurde wiederholt auf die grosse Bedeutung der Sense für die Grundwasseranspeisung hingewiesen. Es wurde auch gezeigt, welche Auswirkungen Korrekturen am Flussbett für das Grundwasserregime haben können. Grundsätzlich sollten jeder Flusslauf-Melioration Grundwasserabklärungen vorausgehen, damit die Beeinflussungen erkannt und allenfalls vermieden werden können. Dies gilt auch für Wiederherstellungsarbeiten an Verbauungen nach grösseren Hochwasserschäden. Dabei geht es nicht nur um mögliche quantitative Beeinträchtigungen. Grössere Ausbaggerungen z.B. können nicht nur die Grundwasserneubildung massiv beeinflussen, sondern auch die reinigende Wirkung der Flusssohlenpassage herabsetzen. Schadstoffe, die in die Sense gelangen, insbesondere schwer abbau- und schlecht adsorbierbare, stellen eine unmittelbare Gefahr für alle Trinkwasserfassungen dar. Aus diesem Grund sollte besonders dem näheren Einzugsgebiet der Sense bezüglich potentieller Gefahrenherde (z.B. Kohlenwasserstofflager Schwarzwasserbrücke) Beachtung geschenkt werden.

## VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR

- BECKER, F. & RAMSEYER, R. (1972): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1165 Murten (Atlasblatt 63). - Schweiz. geol. Kommission, Basel.
- BECKER, F. (1973): Notice explicative de l'Atlas géologique de la Suisse 1:25'000, feuille 1165 Murten (feuille 63 de l'Atlas). - Comm. géol. Suisse, Bâle.
- BLAU, R. V., MUCHENBERGER, F., TRUEB, E., WERNER, A. & WUERSTEN, M. (1984): Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental. - Gas-Wasser-Abwasser 64/5, 249-384.
- BLUMER, E. (1976): Geologie und Hydrogeologie des Sensetales zwischen Thörishaus und Laupen. - Unveröff. Diss. Univ. Bern.
- EIDG. AMT FUER STRASSEN- UND FLUSSBAU (1970): Sense - Neuenegg - Heiti-Büffel, Längenprofil 1:5'000/200, Plan Nr. 2040.
- EIDG. LEBENSMITTELBUCH-KOMMISSION (1985): Schweizerisches Lebensmittelbuch, Kapitel 27 a, Trinkwasser (LMB). - Bern (EDMZ).
- KELLERHALS, P. & HAEFELI, C. (im Druck): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt 1166 Bern, mit Erläuterungen.
- KELLERHALS + HAEFELI AG (1993): Hydrogeologische Untersuchung für die Schutzzonenausscheidung der Grundwasserfassung Flamatt. - Bern 1. Juli 1993.
- LANDESHYDROLOGIE UND -GEOLOGIE: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. - Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- MUELLER, I., KETTIGER, C. (1987): Cartographie directionnelle de la résistivité électrique des formations géologiques du delta de l'Areuse (Canton de Neuchâtel, Suisse) par la méthode géophysique électromagnétique VLF-R. Bull. Soc. neuch. Sci. nat., 110, 113-118.
- RUTSCH, R.F. (1962): Hydrogeologisches Gutachten über das Grundwasserfeld Aumatt/Neuenegg (Kt. Bern), Bern 28. Februar 1962.

RUTSCH, R.F. (1967 a): Erläuterungen zum geologischen Atlas der Schweiz, Blatt 26: Neuenegg - Oberbalm - Schwarzenburg - Rüeggisberg. - Kümmerly & Frey, Bern.

RUTSCH, R.F. (1967 b): Grundwasserkarte des Sensetals zwischen Schwarzwasser und Saane 1:10'000. - Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

RUTSCH, R.F. (1969): Ergebnisse der Pumpversuche in der Sensematt-Au vom 13. Nov. bis 14. Dez. 1968 und vom 6. Jan. bis 18. Jan. 1969. - Gemeindeverwaltung Köniz.

RUTSCH, R.F. (1975): Beschwerdesache A266/1972: Wander AG C. Zimmermann und Regierungsrat des Kantons Bern betr. Gewässerschutz. Hydrogeologisches Gutachten, Bern April 1975.

RUTSCH, R.F. & FRASSON, B. (1953): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Blatt 26: Neuenegg - Oberbalm - Schwarzenburg - Rüeggisberg. - Kümmerly & Frey, Bern.

RUTSCH, R.F. & SCHLUECHTER, C. (1973): Stratigraphische Gliederung der Molasse im bernischen Mittelland. - Mitt. natf. Ges. Bern (N.F.) 30, 86-90.

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

WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT DES KANTONS BERN (1989): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser der Kantone Bern und Freiburg, Hydrogeologie Saanetal zwischen Laupen und Aare. - WEA, Bern.

## ANHANG

Profile der Bohrungen

KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6

(mit WEA-Ordnungsnummern)

KB 1  
592/193.52

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: Fontanive G.

Bohrgerät:

ausgeführt vom 28.5.91 bis 3.6.91

Koordinaten: 592'370/193'430 OK Terrain 547,09 m ü. M. OK Rohr 546,88 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaussbeute %	Beob- 8" achtungs- rohr φ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
32.6						± 0	Humus			Deckschicht		
				Bohrgut		0.55	toniger Silt mit Sand, braun					
						1.00	sauberer Kies mit wenig Sand und mit vielen Steinen bis 9 cm Ø, Blöcke bei 1.25 - 1.40 m, 1.80 - 2.00 m, 2.15 - 2.35 m					
				Ton		2.35	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 13 cm Ø					
						3.10	Lage aus Blöcken und Steinen					
				Sand 0/4		3.60	sauberer Kies mit wenig bis mässig Sand und mit einzelnen Steinen bis 16 cm Ø, z.T. verkittert, Blöcke bei 4.40 - 4.70 m und 5.10 - 5.20 m					
						6.85	Lage aus Blöcken und Steinen					
						7.05	leicht siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 12 cm Ø			Senseschotter	GW-Spiegel am 1.7.91 540.17 m	
		100%				7.50	leicht siltiger bis sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm Ø					
						10.00	Block mit Steinen					
				Filterkies 4/8		10.30	sauberer Kies mit mässig Grobsand und einzelnen Steinen bis 11 cm Ø					
						10.90	siltiger Kies mit wenig Grobsand und Steinen bis 16 cm Ø					
						11.40	sauberer Kies mit wenig Sand und Steinen bis 15 cm Ø, Blöcke Ø 21 cm zw. 12.00 - 12.35 m					
						12.35	leicht siltiger Kies mit wenig Sand					
						13.05	stark siltiger Kies mit einzelnen Steinen bis 12 cm Ø					
						13.90	Mergel, grün-gelb-grau, mit gelben Anwitterungsfächen			Molasse		
		30%				14.50	Sandstein, grün-grau			(USM, Aquitanien)		
						16.00						

GW-Spiegel am 1.7.91

540.17 m

$k=4.7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

KB 2  
593/193.90

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: Fontanive G.

Bohrgerät:

ausgeführt vom 5.6.91 bis 14.6.91

Koordinaten: 593'115/193'235 OK Terrain 554,23 m ü. M. OK Rohr 554,02 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- achtungs- rohr $\phi$	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen	
								Feld	Labor				
32.6										Deckschicht			
24.6		100%	Voll-Filter	Filter		0.30	Humus						
						0.40	siltiger Kies mit Sand und einzelnen Steinen						
						1.00	toniger Kies mit mässig Sand und mit Steinen und Blöcken ( $\phi$ 24 cm)						
						1.40	leicht toniger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm $\phi$						
						2.50	siltiger Kies mit mässig Sand und mit Steinen bis 10 cm $\phi$						
						4.00	siltiger Kies mit mässig Sand und mit vielen Steinen und Blöcken						
						5.10	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 12 cm $\phi$						
						6.50	toniger Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm $\phi$						
						6.95	siltiger Kies mit viel Sand und einzelnen Steinen bis 11 cm $\phi$						
						7.30	Blöcke ( $\phi$ bis 25 cm) und Steine						
						7.50	wie zw. 6.50 - 6.95 m						
						7.70	Block 22 cm $\phi$						
						8.25	stark siltiger Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen						
						9.50	sauberer Kies mit viel Grobsand						
						9.90	Steine und Blöcke (bis 20 cm $\phi$ ) mit siltigem Kies und viel Sand						
11.60	sauberer Kies mit viel Grobsand und einzelnen Steinen bis 8 cm $\phi$ , Block zw. 10.90 - 11.05 m												
12.25	tonig-siltiger Kies mit mässig Sand und Steinen Block zw. 12.15 - 12.35 m												
13.05	toniger Kies mit mässig Sand und mässig Steinen bis 10 cm $\phi$ , Blöcke zw. 12.70 - 12.90 m												
13.50	sauberer Kies (ohne Sand) mit einzelnen Steinen bis 9 cm $\phi$												
15.00	tonig-siltiger Kies mit sehr wenig Sand und mit Steinen, 2 Blöcke ( $\phi$ 22 cm) zw. 13.90 - 14.20 m												
15.25	Silt mit wenig Sand und viel Kies												
15.50	Block												
16.00	schwach toniger Kies mit viel Sand, Block zw. 15.75 - 15.90 m												
16.30	stark tonig-siltiger Kies mit viel Sand												
17.00	Sandstein, leicht tonig (verwitterte Molasse)												
18.00	Sandstein												
										Molasse (USM, Aquitanien)			

GW-Spiegel am 4.7.91

547.54m

$k = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

KB 3  
592/193.53

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: J. Martinez

Bohrgerät: RUBA

ausgeführt vom 12.12.91 bis 16.12.91

Koordinaten: 592'360/193'270 OK Terrain 547.54 m ü.M. OK Rohr 548.09 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. R. Ottiger

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- " 4 1/2" achtungs- rohr φ	Filter	m ü. M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen	
								Feld	Labor				
25		100%	Voll- Filter	Bohrgut		± 0	Humus, dunkelbraun			Deckschicht			
				Com- pac- tonit		0.20	leicht siltiger Sand mit wenig Kies, beige			Sensschotter	GW-Spiegel am 16.12.91 539.24m k = 3.8 · 10 <sup>-3</sup> m/s		
				Sand 0/4		0.70	sauberer Sand mit wenig Kies						
						1.20	sauberer Kies mit viel Sand und vielen Steinen, hellbeige						
						2.00	Blocklage						
						2.30	wie 1.2 - 2.0 m						
						2.50	Blocklage						
						3.20	sauberer Kies mit wenigen Steinen						
						3.70	sauberer Kies mit wenig Sand und vielen Steinen, beige						
						4.00	sauberer Kies mit reichlich Sand						
						4.60	sauberer Kies mit wenig Sand sowie vielen Steinen, hellbeige						
							sauberer Kies mit viel Sand, beige						
						6.70	sauberer Sand mit viel Kies, beige						
						7.40	Steinlage						
						7.80	sauberer Kies mit viel Sand						
						8.00	leicht siltiger Kies mit viel Sand und Steinen, hellbeige						
						8.20	sauberer Kies mit viel Sand und einigen Steinen						
						9.20	sauberer Kies mit wenig Sand						
						10.00	sauberer Kies mit reichlich Sand und einigen Steinen, schwarz-beige						
						10.50	leicht siltiger Kies mit reichlich Sand						
						11.20	sauberer Feinkies mit viel Sand, schwarz-beige						
						11.60	sauberer Sand mit reichlich bis viel Kies, beige						
						12.50							

KB 4  
591/193.51

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: J. Martinez

Bohrgerät: RUBA

ausgeführt vom 8.1.92 bis 9.1.92

Koordinaten: 591'980/193'140 OK Terrain 544.99 m ü.M. OK Rohr 544.88 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1:100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- achtung- rohr $\phi$	Filter	m ü.M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
25			Voll- 4 1/2" Filter			+0	Humus, dunkelbraun			Deckschicht	GW-Spiegel am 9.1.92 537.29m $k = 1.1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$	
						0.20	leicht toniger Silt mit wenig Sand und mit organischen Beimengungen, braun					
		100%				1.20	siltiger Feinsand, hellbraun					
						1.75	leicht toniger Silt mit wenig Sand, hellbraun					
						3.00	siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 18 cm $\phi$ , hellbraun					
						4.10	sauberer Kies mit mässig Sand und vielen Steinen bis 8 cm $\phi$ , grau			Senseschotter		
						7.30	sauberer Kies mit mässig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm $\phi$ , grau					
						8.95	sauberer Grobkies mit wenig Sand und einzelnen Steinen bis 8 cm $\phi$					
						9.80	sauberer Grobkies mit viel Sand					
17						11.00	leicht siltiger bis sauberer Sand mit viel Kies					

KB 5  
591/193.52

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Beilage Nr.

Bohrfirma: Stump Bohr AG

Situation:

Bohrverfahren: Rammkernbohrung

Logs:

Bohrmeister: J. Martinez

Bohrgerät: RUBA

ausgeführt vom 6.12.91 bis 11.12.91

Koordinaten: 591'645/193'500 OK Terrain 541.07 m ü.M. OK Rohr 541.64 m ü.M.

Geol. Aufnahme: Dr. A. Greco

1: 100

Bohrdurchmesser cm	Spülgut	Kernaubeute %	Beob- 4 1/2" achtungs- rohr $\phi$ Filter	Filter	m ü.M.	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	USCS		Genet. Deutung	Eigenschaften des Grundwasserleiters	Bemerkungen
								Feld	Labor			
25				Bohrgut		± 0 0.20	Humus siltiger Feinsand mit einzelnen Steinen bis 12 cm $\phi$ , schwarz-braun			Deckschicht		
						1.10	sauberer Feinsand mit sehr viel Kies und einzelnen Steinen bis 12 cm $\phi$ , braun					
						2.20	Steinlage ( $\phi$ bis 18 cm)					
				Ton		3.10 3.40	sauberer Kies mit viel Sand und vielen Steinen bis 14 cm $\phi$ , grau					
				Sand 0/4			sauberer Sand mit mässig Kies und einzelnen Steinen bis 10 cm $\phi$ , braun					
		100%				6.15	sauberer Kies mit wenig Sand und einzelnen Steinen, braun			Senseschotter		
						7.00	siltiger Kies mit wenig Sand und vielen Steinen bis 16 cm $\phi$				GW-Spiegel am 10.12.91	
				Filterkies 4/8		7.70	sauberer bis leicht siltiger Grobkies mit sehr wenig Sand und einzelnen Steinen bis 10 cm $\phi$ zw. 8.40 - 8.70 m Steinlage ( $\phi$ bis 14 cm)				533.87m	
						14.00					$k = 8.8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	



# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Unteres Sensetal, zwischen Thörishaus und Laupen

Grundkarte 1 : 25 000



**WEA**

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

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

### Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- ..... Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie

### Künstliche Aufschlüsse<sup>1)</sup>

- Vertikalfilterbrunnen
- Bohrung
- Peilrohr

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

- |  |                           |  |  |
|--|---------------------------|--|--|
|  | Künstliche Ablagerung     |  | Sand, tonig-siltig                           |
|  | Schuttkegel               |  | Kies, siltig                                 |
|  | Gehängeschutt             |  | Kies, sandig                                 |
|  | Torf, anmoorige Bildungen |  | Sandstein, bunte Mergel, Nagelfluh (Molasse) |
|  | Silt, tonig-sandig; Lehm  |  |  |
- Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten

### Durchlässigkeitsbereiche

k-Werte des wassergesättigten Teils des Grundwasserleiters

Durchlässigkeit:

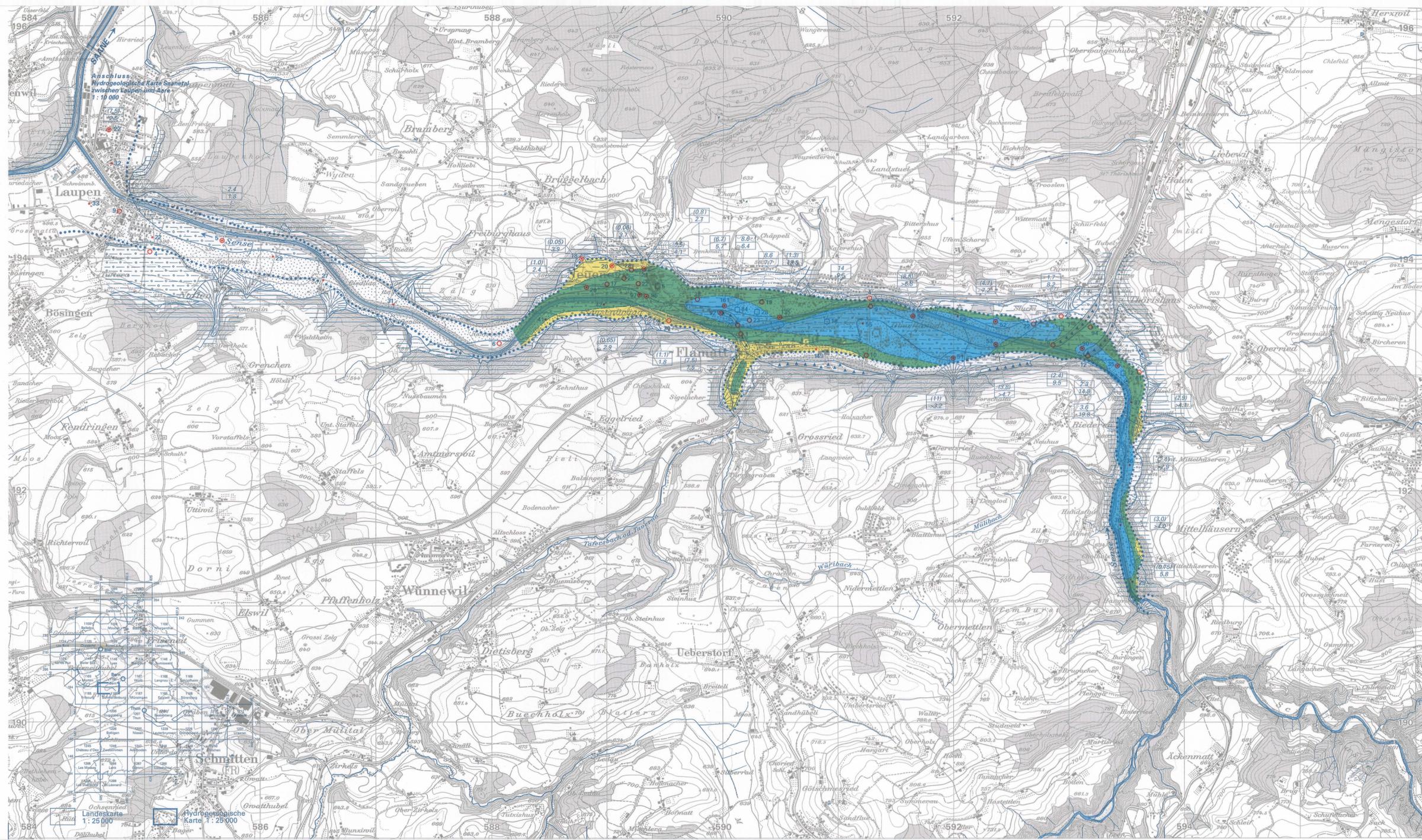
- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | - gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s                    |  | - klein, $k = 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4}$ m/s |
|  | - mittel, $k = 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s |  |  |
- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

### Hydrogeologische Kennziffern

- |  |   |
|--|---|
|  | Durchlässigkeit k, in 10 <sup>-3</sup> m/s, bestimmt aus <b>Grosspumpversuch</b>  |
|  | Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m, zur Zeit des Pumpversuches, ausgehend vom Grundwasserspiegel in Ruhe |
|  | Durchlässigkeit k, in 10 <sup>-3</sup> m/s, bestimmt aus <b>Kleinpumpversuch</b>  |
|  | Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m   |

<sup>1)</sup> Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle «Künstlichen Aufschlüsse» wiedergegeben werden.

Weitere Karten dieses Gebietes:  
 Beilage 2: Isohypsen des Grundwasserspiegels, Mittelwasserstand  
 Oberfläche des Grundwasserstauers 1 : 10 000  
 Geologische Profile 1 : 10 000 / 1 : 1 000  
 Beilage 3: Hydrochemie, 4 Teilkarten 1 : 25 000  
 Beilage 4: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1 : 25 000  
 Kartographische Gestaltung und Technik:  
 WEA/P. Eichwald; Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossens  
 Satz und Belichtung: Diast AG, Bern  
 Reprographie: P. Gaffuri, Bern  
 Druck: Aerni-Leuch AG, Liebfeld/Bern  
 Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 31.3.1993  
 Ausgabe 1993



# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Unteres Sensetal, zwischen Thörishaus und Laupen

Isohyphen des Grundwasserspiegels, Mittelwasserstand  
 Oberfläche des Grundwasserstauers 1 : 10 000  
 Geologische Profile  
 L ~ 1 : 10 000 H ~ 1 : 1 000 10 fach überhöht



**WEA**

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

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

Beilage 2

### Allgemeine Angaben

- Oberflächengewässer
- Seitliche Begrenzung des wassersättigten, grobkörnigen Teils des Grundwasserleiters bei einem Mittelwasserstand
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer einer Beobachtungsstelle eines künstlichen Aufschlusses innerhalb eines 100' des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlagendatei (GLD) WEA/Geologie
- Grundwasser-Fließrichtung
- Speisung des Grundwassers durch Oberflächenwasser (Infiltration)
- Speisung des Oberflächenwassers durch Grundwasser (Exfiltration)
- Lage eines geologischen Profils

### Isohyphen des Grundwasserspiegels vom 8.5.1992\*

- 1 m Grundwasserspiegel-Isohyphen
- 5 m Grundwasserspiegel-Isohyphen mit Kote in m ü. M.

### Grundwasser-Beobachtungsstellen

- Vertikalfilterbrunnen
- Schachtbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Messstation
- 33 Grundwasserspiegelmessung vom 8.5.1992 in m ü. M. ab nächst tieferer 1 m Kurve, z.B. 533.63
- ▲ Schiltz, kein Grundwasser angetroffen
- ▲ Schiltz, Grundwasserspiegel erreicht

### Isohyphen des Oberflächenwasserspiegels

(vgl. Isohyphen des GW-Spiegels v. 8.5.1992)

### Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen

- ∇ Abfluss-Messstation
- ∇ Wasserstands-Abstichpunkt
- ∇ Zahl = Spiegelhöhe vom 8.5.1992 ab nächst tieferer 1 m Kurve

### Isohyphen der Oberfläche des Grundwasserstauers

- 5 m Grundwasserstauer-Isohyphen mit Kote in m ü. M.

### Sondierungen

- Bohrung
- Rammsondierung
- 622.39 Zahl = Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.

\*Bei den Isohyphen-Darstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachweisbaren und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungsstellen erlaubt dem Benutzer, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

\*Aus darstellerischen Gründen sind nur diejenigen Beobachtungsstellen wiedergegeben worden, die zur Konstruktion der Isohyphen des Grundwasserspiegels, der Oberfläche des Grundwasserstauers und der geologischen Profile beigezogen worden sind.

Weitere Karten dieses Gebietes:  
 Beilage 1: Grundkarte 1:25 000  
 Beilage 2: Hydrographie, 4 Teilkarten 1:25 000  
 Beilage 3: Grundwasser-Netzwerk und Schutzkarte 1:25 000  
 Kartographische Gestaltung und Technik:  
 WEA/P. Schwab, B. Blättler, D. Heister, R. Rossen  
 Satz und Befähigung: Düst AG, Bern  
 Reprographie: P. Gaffuri, Bern  
 Druck: Armi-Leuch AG, Liebfeld/Bern  
 Reproduktion mit Bewilligung der Bundesämter für Landestopographie vom 31.3.1993  
 Ausgabe 1993

### Geologische Profile

- Bohrung, Brunnen, Rammsondierung, Schiltz, auf oder bis 80 m neben der Profilelinie liegend
- Bohrung, Brunnen, Rammsondierung, Schiltz, bis 150 m neben der Profilelinie liegend, Projektion gemäss Lagerungsverhältnissen
- Grundwasserspiegel, Mittelwasserstand vom 8.5.1992
- Quelle gefasst
- Angabe fraglich

### Geologie

- Lockergesteine (Holozän und Pleistozän)
- Künstliche Ablagerung
- Gehängeschutt
- Schluff, tonig-sandig; Lehm
- Sand, tonig-siltig
- Kies, siltig
- Kies, sandig
- Moräne, kiesig
- Festgesteine (Miocene Molasse, Richtung der Signatur: Lagerung)
- Sandsteine und Konglomerate der Scherli-Nagelfluh («Burdigalien»)
- Sandsteine und bunte Mergel («Aquitainen»)
- Verwerfung
- Lithologische Grenze

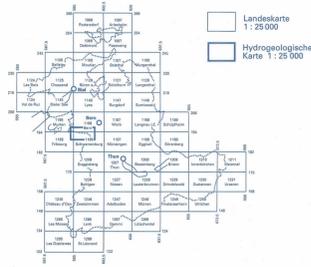
### Lithostratigraphische Einheiten

(Die Reihenfolge entspricht der vermuteten Altersabfolge)

Holozän	Gehängeschutt, Lehm, Bachschutt	gs
	Junge Schotterablagerungen der Sense (Sense-Schotter)	js
Pleistozän	Rückstauablagerungen	rt
	Schotter, Kies, Geröll	sk
	Deckmoräne (Wärm)	dm
	Wärmoräne (La, Sandfächer)	wm
	Forst-Schotter	fs
Miocän	Sandsteine und Konglomerate «Burdigalien»	m2
	Sandsteine und bunte Mergel «Aquitainen»	m1

### Durchlässigkeitsbereiche

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



# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte  
Unteres Sensetal,  
zwischen Thörishaus und Laupen  
Hydrochemie, 4 Teilkarten 1 : 25 000



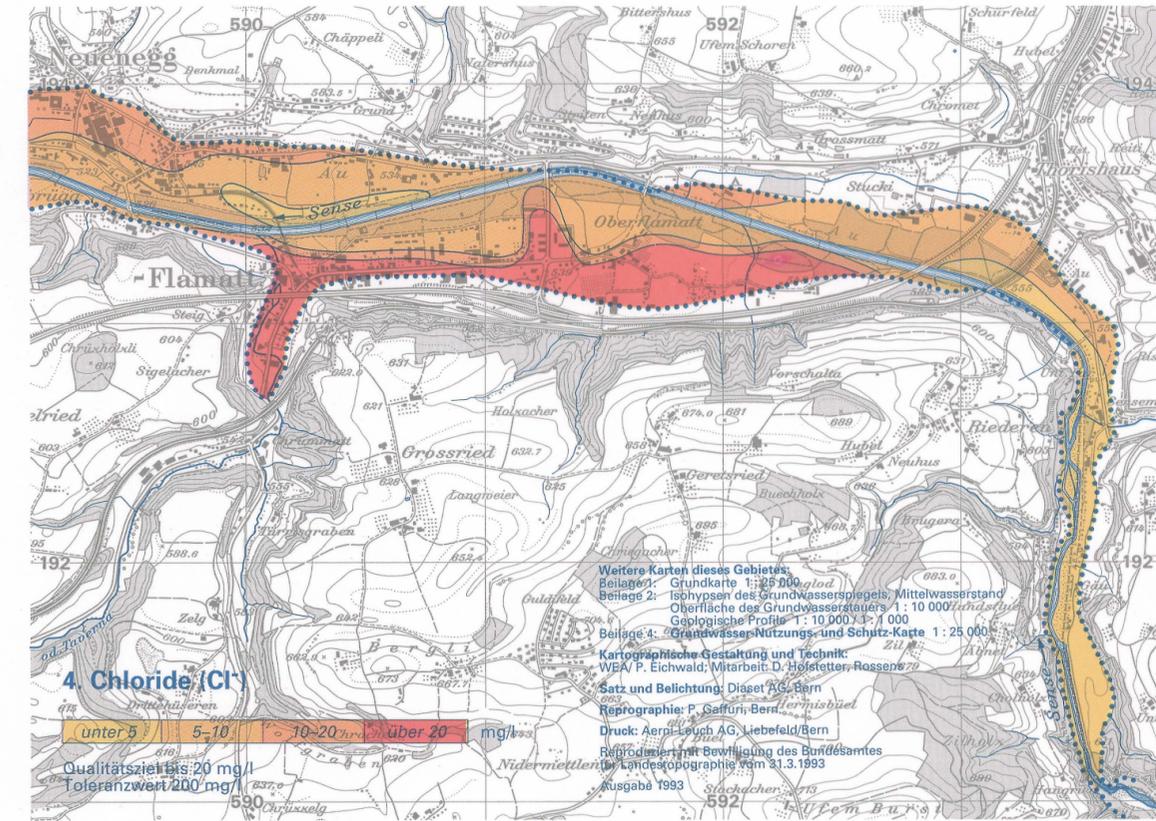
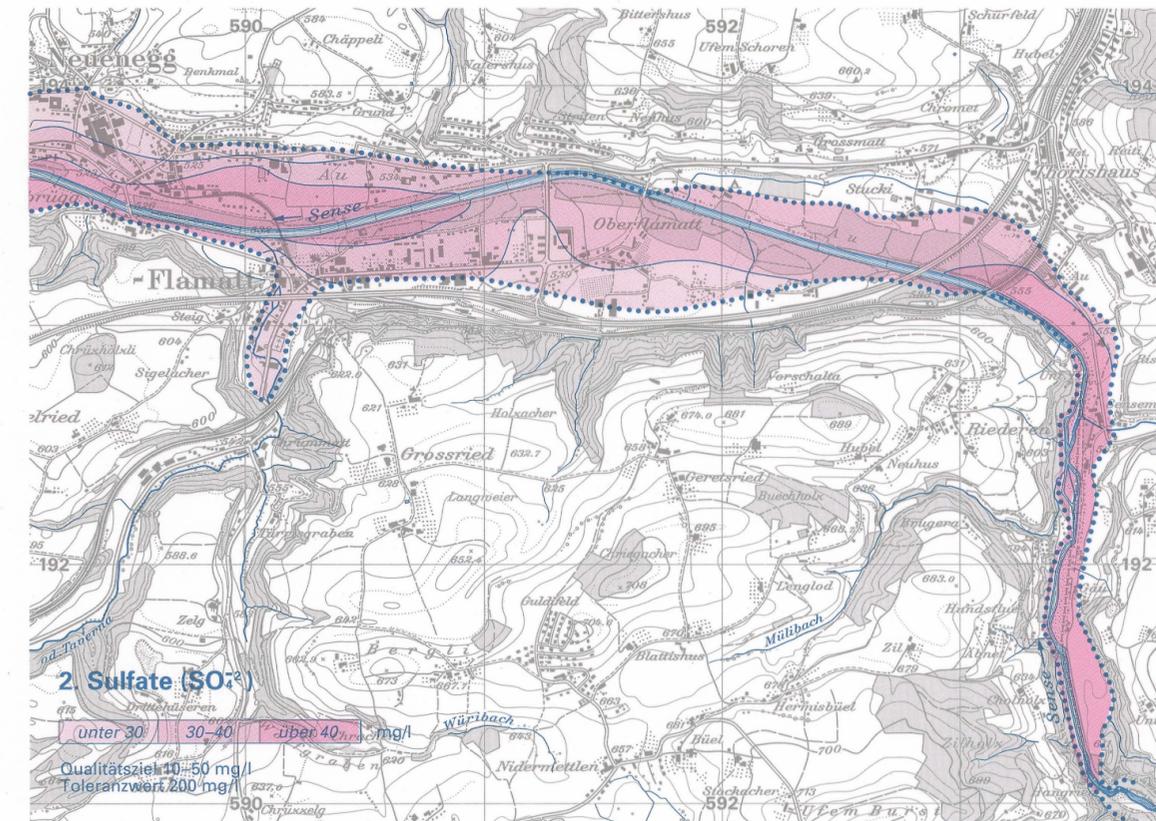
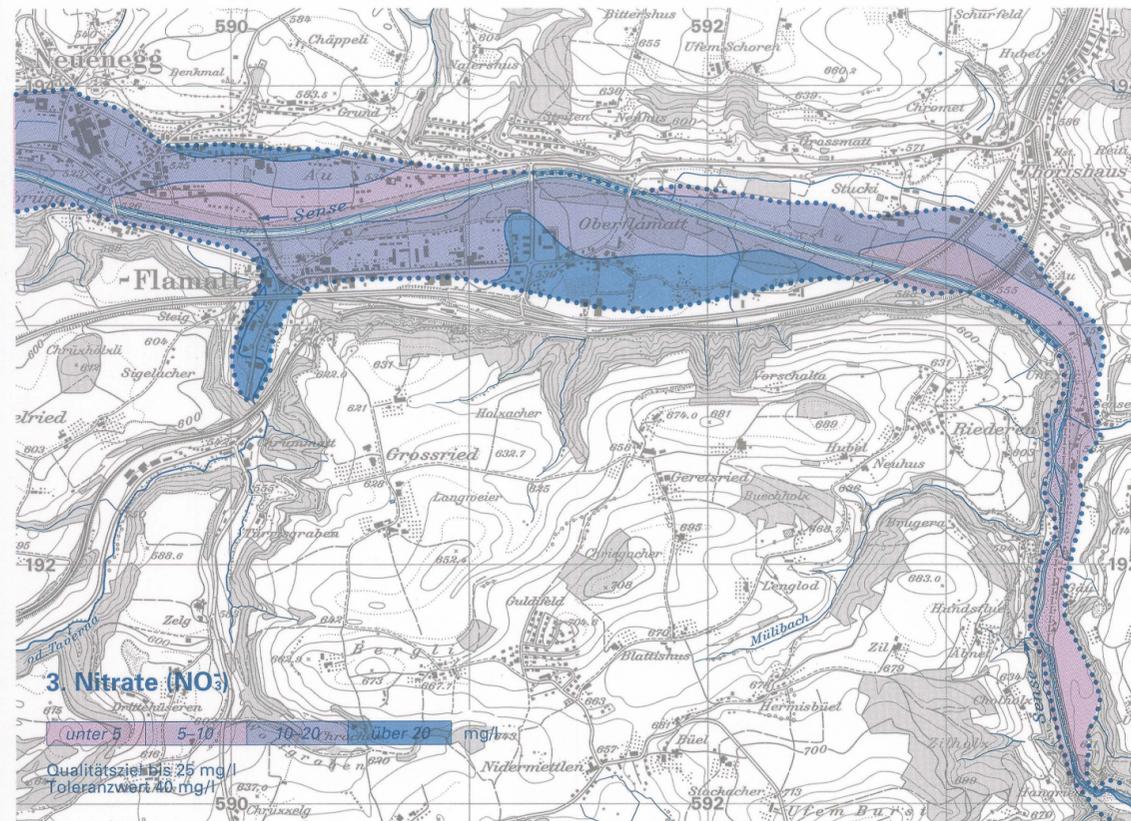
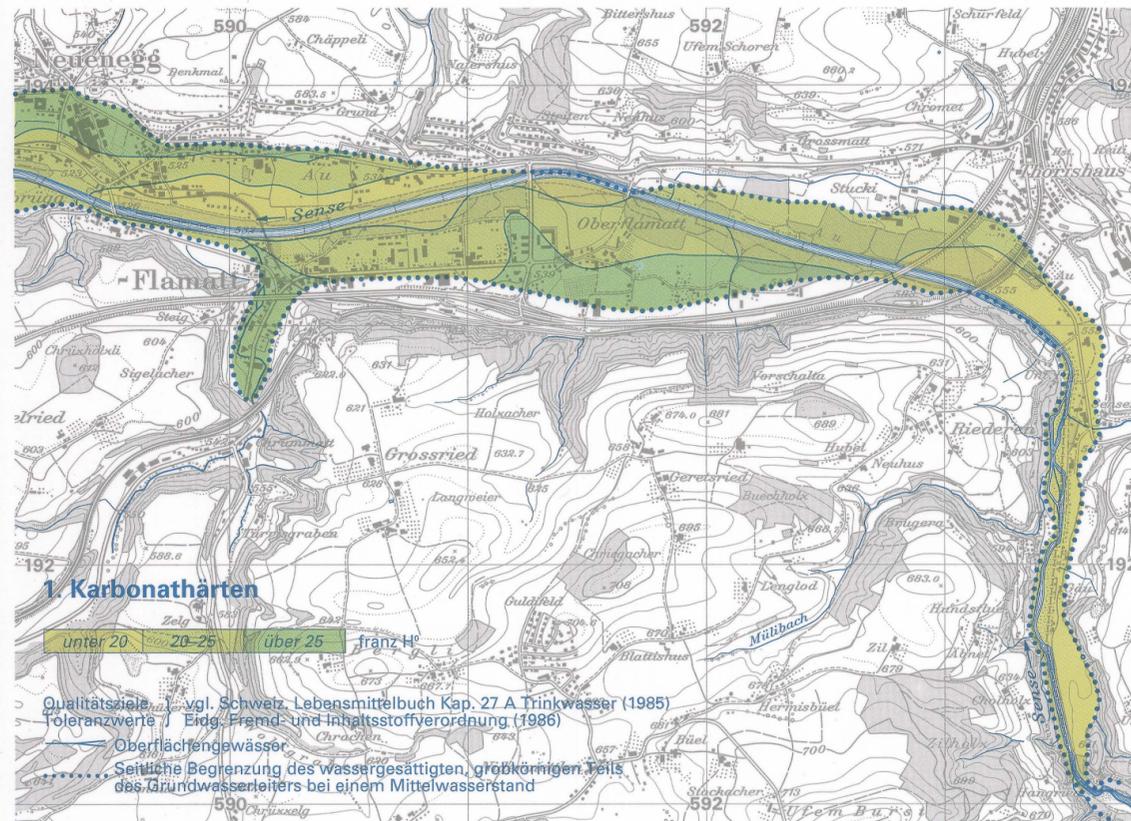
**WEA**

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, Bern

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



Weitere Karten dieses Gebietes:  
Beilage 1: Grundkarte 1:25 000  
Beilage 2: Isohypsen des Grundwasserspiegels, Mittelwasserstand  
Oberfläche des Grundwasserleiters 1:10 000  
Geologische Profile 1:10 000  
Beilage 4: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1:25 000

Kartographische Gestaltung und Technik:  
WEA / P. Eichwald, Mitarbeit: D. Hofstetter, Rossene 20

Satz und Belichtung: Dissel AG, Bern  
Reprographie: P. Galfuni, Bern  
Druck: Aerpi-Loch AG, Liebfeld/Bern  
Reproduktion mit Genehmigung des Bundesamtes  
für Landestopographie vom 31.3.1993  
Ausgabe 1993

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

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte Unteres Sensetal 1 : 25 000 zwischen Thörishaus und Laupen (Kantone Bern und Freiburg)



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

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

- Allgemeine Angaben**
- Oberflächengewässer
  - ..... Begrenzung des untersuchten Lockergesteins-Grundwasserleiters
  - 530 — 2 m Grundwasserspiegel-Isopyhnen vom 8.5.1992 (Mittelwasserstand) mit Kote in m ü. M.
  - Grundwasser-Fließrichtung
  - Gemeindegrenze
  - Kantonsgrenze

- Wichtige Fassungen der Trink- und Brauchwasserversorgung**
- Quelle gefasst
  - ++++ Sickerleitungs-Fassung über 50 m lang  
Zahl = Schüttung in l/min
  - Filterbrunnen
  - ◻ Oberflächenwasser-Fassung

**Konzessionierte Entnahmemengen und Schüttungen in l/min**

□ ○ unbekannt	■ ○ 251- 1 000
□ ○ <5	■ ○ 1001- 5 000
□ ○ 5- 25	■ ○ 5001-10 000
□ ○ 26-100	■ ○ 10 001-50 000
□ ○ 101-250	■ ○ >50 000

- Bestehende konzessionierte Nutzungen des Grundwassers**
- Trinkwasser
  - Brauchwasser (Industrie und Gewerbe; Kühlwasser; Wärme Gewinnung; Bewässerung; Schwimmbäder, Fischzuchtanstalten, Zierteiche und dergleichen)

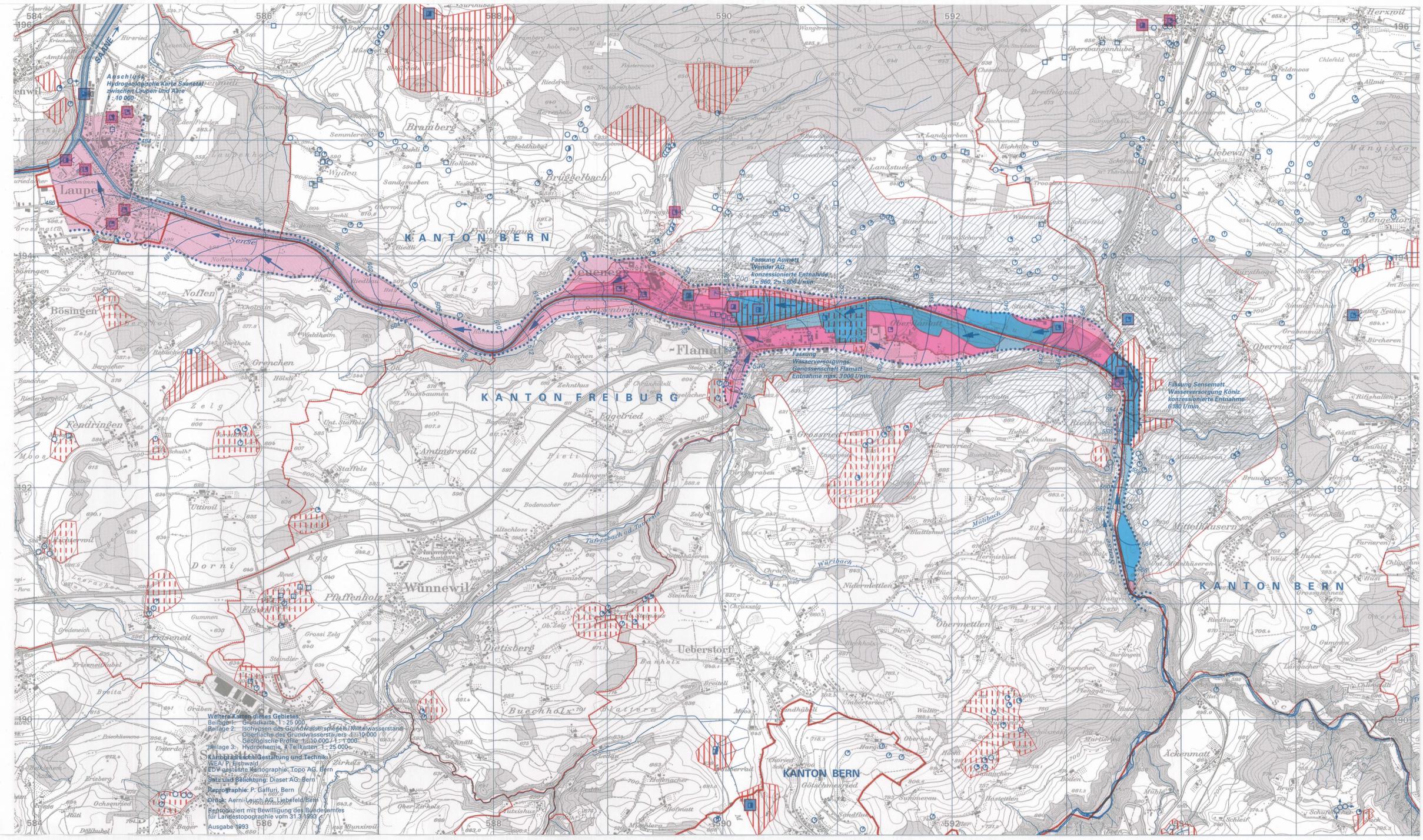
**Mögliche, künftige Grundwasser-Nutzungen**  
(unter Berücksichtigung der rechtsgültigen Zonenpläne der Gemeinden: Laupen v. Jan. 1978, Neuenegg v. März 1979, Köniz v. April 1970, Flamatt v. Juli 1975)

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

<sup>1)</sup> **Vorbehalt:** Bestehende oder mögliche Verunreinigung durch chemische Schadstoffe (z.B. Nitrate), beschränkte Ergiebigkeit, geringe Durchlässigkeit des Vorkommens.

- Grundwasser-Schutz**
- ▨ Grundwasser-Schutzzone; rechtsgültig (Zone S)
  - ▨ Grundwasser-Schutzzone, projektiert
  - ▨ Zuströmbereich zu einer wichtigen bestehenden oder künftigen Fassung im untersuchten Lockergesteins-Grundwasserleiter (ungefähre Begrenzung), der eines besonderen Schutzes bedarf.

- Verwendete Unterlagen für das Gebiet des Kantons Freiburg:**
- Gewässerschutzkarte 1 : 25 000, Blatt 1186 Schwarzenburg Ausgabe 1988 (Amt für Umweltschutz)
  - Ergänzende Angaben des Amtes für Umweltschutz (Dr. F. Becker)
  - Schutzonenprojekt der Wasserversorgungs-Genossenschaft Flamatt (Bearbeitung: Kellerhals + Haefeli AG, Bern)



**Weitere Karten dieses Gebietes:**  
 Beilage 1: Grundkarte 1 : 25 000  
 Beilage 2: Isohyphen des Grundwasserstandes 1:25 000  
 Beilage 3: Geologische Grundwasserleiters 1:25 000  
 Beilage 4: Hydrogeologie 1:25 000  
**Statistische Kartographie und Technik**  
 NEU! 7. Edition  
 EDV gestützte Kartographie, Topo AG, Bern  
 Satz und Belegung: Diast AG, Bern  
 Reprographie: P. Gaffuri, Bern  
 Druck: Aerni-Lyoch AG, Habfeld/Bern  
 Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 31.3.1993  
 Ausgabe 1993 586