

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Hydrogeologie Oberes Saanetal



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung:

GEOLEP, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne

---

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Hydrogeologie Oberes Saanetal



**WEA**

Leitung:

**Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern**

Bearbeitung:

GEOLEP, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne



**Grundlagenbericht:**  
Hydrogeologie Oberes Saanetal

**Ausgabe:** 1999

**Herausgeber, Leitung:**

© Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA),  
Abteilung Geologie Dr. G. della Valle; EPFL Prof. A. Parriaux

**Bearbeitung:**

GEOLEP, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne, J. Vaudan

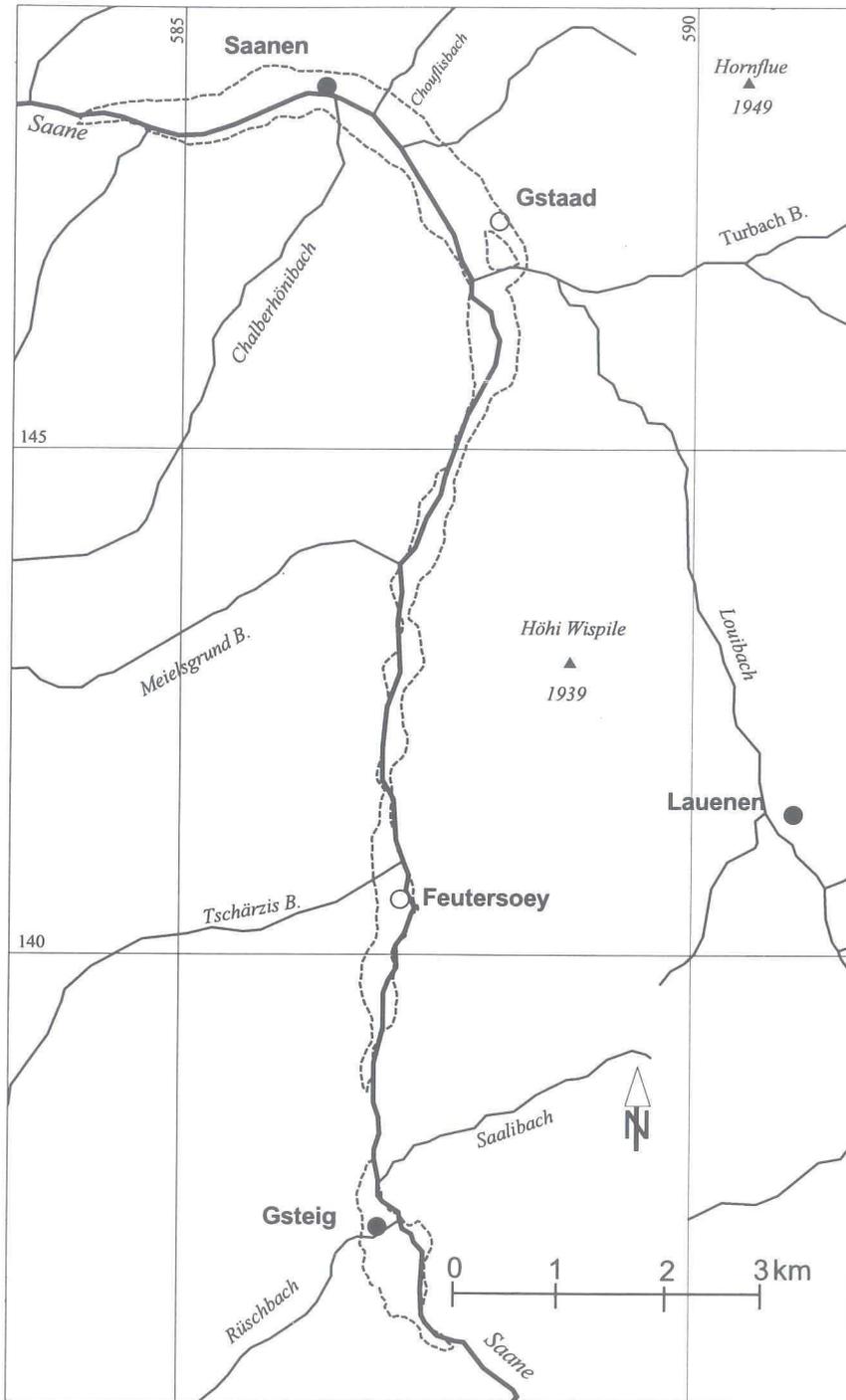
**Druck, Einband:**

E. Suter 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.**

Figur 1.1 Oberes Saanetal, Gebietsübersicht



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

# Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	11
<b>RESUME</b>	12
<b>1 Einleitung</b>	13
1.1 Aufgabe und Zielsetzung	13
1.2 Kredite und Subventionen	13
1.3 Untersuchungsgebiet	13
1.4 Ablauf und Durchführung der Untersuchungen	14
1.5 Archive und verwendete Unterlagen	15
<b>2 Geologie des Oberen Saanetals</b>	16
2.1 Allgemeiner geologischer Überblick (Festgesteine)	16
2.2 Lockergesteine (Quartärgeologische Ablagerungen)	18
<b>3 Quartärgeschichte des Saanenlandes</b>	19
3.1 Allgemeines	19
3.2 Geophysikalische Erkundungen	19
3.2.1 Geoelektrik	19
3.2.2 Refraktion- und Reflexionsseismik	20
3.3 Sondierbohrungen	21
3.4 Talgeschichte	23
3.5 Beschreibung der Lockergesteine	25
<b>4 Eigenschaften des Grundwasserleiters</b>	27
4.1 Allgemeines	27
4.2 Flowmeter Logs und Kleinpumpversuche	27
4.3 Einteilung des Oberen Saanetals in hydrogeologische Becken	28
<b>5 Hydrologische Basisdaten</b>	30
5.1 Allgemeine Angaben	30
5.2 Niederschlag	31
5.3 Verdunstung	32
5.4 Abfluss	32
<b>6 Grundwasserströmung</b>	36
6.1 Allgemeines	36
6.2 Grundwasserspiegelschwankungen	36
6.3 Wechselwirkungen mit der Saane	39
6.4 Andere Exfiltrationsformen aus dem Grundwasserleiter	42
6.5 Grundwasserneubildung	43

6.5.1 Direkte Grundwasserneubildung	43
6.5.2 Infiltration aus der Saane	43
6.5.3 Neubildung aus Randzuflüssen	46
6.5.4 Zusammenfassung der Grundwasserneubildung	46
<b>7 Grundwasserchemie</b>	<b>47</b>
7.1 Allgemeines	47
7.2 Physikalische Eigenschaften	47
7.3 Chemische Eigenschaften	53
7.4 Bakteriologie	61
7.5 Sauerstoff Isotop - $\delta O^{18}$	61
7.5.1 Gradient aus den Niederschlägen	62
7.5.2 Anwendung am Oberen Saanetalaquifer	63
7.6 Grundwasserqualität: Zusammenfassung	64
<b>8 Schutz- und Nutzungskonzept</b>	<b>66</b>
8.1 Allgemeines	66
8.2 Vulnerabilität des Grundwasservorkommens	66
8.3 Aktuelle Nutzung des Grundwassers	67
8.4 Grundwasserbewirtschaftung	68
8.4.1 Trinkwasser	70
8.4.2 Brauchwasser	71
8.5 Grundwasserschutz	72
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>73</b>
<b>Lois et Ordonnances</b>	<b>74</b>
<b>Verzeichnis der Figuren</b>	
Figur 1.1 Oberes Saanetal, Gebietsübersicht	3
Figur 2.1 Tektonischer Überblick	17
Figur 3.1 Seismisches Reflexionsprofil beim Flugplatz Saanen (Teilstück, CDP-Darstellung, gestapelt). Die starke Reflexion bei ca. 90-100 ms entspricht der Lage der Felsoberfläche (ca. 80 m tief)	21
Figur 3.2 Tiefe der Felsoberfläche	22
Figur 5.1 Monatliche Niederschlagsmengen bei den zwei SMA Stationen Innergsteig und Grund bei Gstaad	32
Figur 5.2 Jährliche Ganglinien der Saane und beim Flugplatz Saanen	33
Figur 5.3 Jährliche Ganglinien der Saane beim Kraftwerk Sanetsch in Innergsteig	34
Figur 5.4 Abflusskoeffizienten nach Pardé (LHG 1992) für die Saane in Saanen	35
Figur 5.5 Detaillierte Angaben über die Ganglinien der Saane beim Flugplatz Saanen im Juni 1997	35

Figur 6.1	Detailaufnahme einer Grundwasserganglinie (Dezember 1997) für die Exfiltrationsgebiete	38
Figur 6.2	Detailaufnahme einer Grundwasserganglinie (Dezember 1997) für die Infiltrationsgebiete	38
Figur 6.3	Wechselwirkung zwischen der Saane und dem Grundwasser in perkolative Infiltrationsgebieten (aus Blau et al. 1984)	40
Figur 6.4	Prinzipskizze der Exfiltrationsverhältnisse (aus Blau et al. 1984, modifiziert)	40
Figur 6.5	Prinzipskizze von wechselnden Beziehungen zwischen der Saane und dem Grundwasser (aus Blau et al. 1984)	41
Figur 6.6	Prinzipskizze von möglichen kombinierten Beziehungen zwischen Saane und Grundwasser (aus Blau et al. 1984)	41
Figur 6.7	Lage der Bilanzierungsprofile	44
Figur 6.8	Bilanzierungsprofile mit Parameter-Variationen	46
Figur 7.1	Elektrische Leitfähigkeit des Saanewassers bei Saanen während der Untersuchungsperiode (Periode 7.1997 bis 9.1998)	50
Figur 7.2	Leitfähigkeit des Grundwassers an verschiedenen repräsentativen Stellen (Periode 7.1997 bis 9.1998)	51
Figur 7.3	Gesamthärte am 6.4.1998	54
Figur 7.4	Sulfatgehalt am 6.4.1998	57
Figur 7.5	$\delta^{18}\text{O}$ Gehalt im Niederschlag: Gradient für das Obere Saanetal (Oktober 1998). Die Anzahl der Messungen ist sehr klein. Sie wurde bei der Interpretation berücksichtigt	62
Figur 8.1	Schematische Darstellung der Grundwasserreserven	68
Figur 8.2	Aktuelle Grundwassernutzung der jährlichen Speichermengen	69

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1.1	Untersuchungsablauf	14
Tabelle 1.2	Am Projekt Hydrogeologie Oberes Saanetal beteiligte Anstalten und Personen	15
Tabelle 3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Geoelektrik	20
Tabelle 4.1	Hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters an den neuen Bohrstellen	27
Tabelle 5.1	Hydrologische Messstationen im Untersuchungsgebiet Oberes Saanetal	30
Tabelle 5.2	Jährliche Niederschlagsmengen der SMA Stationen im Oberen Saanetal * bedeutet nur Monate Januar 1999 bis Juni 1999	31
Tabelle 5.3	Abflussmessungen an den wichtigsten Seitenzuflüssen der Saane am 7.10.1997 (Tagesmittelwerte), Angaben mit * entsprechen einer Extrapolation	33
Tabelle 6.1	Grundwasserspiegel Messstationen	37

Tabelle 6.2	Grundwasserspiegelschwankungen, mittlere Flurabstände und Amplituden für das Jahr 1998	37
Tabelle 6.3	Direkte Grundwasserneubildung im Oberen Saanetal (ohne Feutersoey)	43
Tabelle 6.4	Grundwasserbilanzierungsprofile bei mittlerer Grundwassermächtigkeit im Oberen Saanetal	45
Tabelle 7.1	Grundwasser: Analysen-Standorte und Arten der gemessenen Daten. Die * entsprechen kontinuierlichen Messreihen der Temperatur und Leitfähigkeit (20°C) dank numerischen Registriergeräten	48
Tabelle 7.2	Grundwasser: Analysen-Standorte und Arten der gemessenen Daten. Die * entsprechen kontinuierlichen Messreihen der Temperatur und Leitfähigkeit (20°C) dank numerischen Registriergeräten	49
Tabelle 7.3	Leitfähigkeitstatistik für die Untersuchungsperiode im Grundwasser. Angaben in [ $\mu$ S/cm]	52
Tabelle 7.4	Resultate der Wasseranalysen Oberes Saanetal	55
Tabelle 7.5	Ergebnisse der Spurenelemente Analysen (ICPMS-GEOLEP)	59
Tabelle 7.6	Ergebnisse der Spurenelemente Analysen (ICPMS-GEOLEP)	60
Tabelle 7.7	Bakteriologische Analysen des Oberen Saanetalaquifers am 16.6.1999	61
Tabelle 7.8	Statistik der $\delta$ O <sup>18</sup> Messungen im Grundwasser in ‰	63
Tabelle 7.9	Grundwasser Chemie in Bezug auf das Qualitätsziel (Q-Ziel), Toleranzwerte (TO-Wert) und Gewässerschutzverordnung vom 18.8.1998 (GSchV)	65
Tabelle 8.1	Aktuelle Grundwassernutzung im Oberen Saanetal	67
Tabelle 8.2	Grundwassernutzung und vorhandene nutzbare Reserven	69

## Verzeichnis des Anhanges

Anhang 1	Bohrprofil KB31 (2 Blätter)
Anhang 2	Bohrprofil KB32
Anhang 3	Bohrprofil KB33
Anhang 4	Bohrprofil KB34
Anhang 5	Flowmeterlogs
Anhang 6	Ganglinien Bereich Saanen
Anhang 7	Ganglinien Bereich Gschwänd-Gstaad Matte
Anhang 8	Ganglinien Bereich Grund
Anhang 9	Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 1
Anhang 10	Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 2
Anhang 11	Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 3
Anhang 12	Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 4

- Anhang 13 Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 5
- Anhang 14 Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 1
- Anhang 15 Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 2
- Anhang 16 Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 3
- Anhang 17 Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 4
- Anhang 18 Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 1
- Anhang 19 Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 2
- Anhang 20 Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 3
- Anhang 21 Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 4
- Anhang 22 Temperaturen Oberflächengewässer
- Anhang 23 Grundwassertemperaturen
- Anhang 24 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Grundwasser Teil 1
- Anhang 25 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Grundwasser Teil 2
- Anhang 26 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Grundwasser Teil 3
- Anhang 27 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Saane Teil 1
- Anhang 28 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Saane Teil 2
- Anhang 29 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Seitenbäche Teil 1
- Anhang 30 Sauerstoff-Isotop  $\delta^{18}\text{O}$  Seitenbäche Teil 2

## **Verzeichnis der Kartenbeilagen**

- Beilage 1 Hydrogeologische Karte Oberes Saanetal:  
 - Grundkarte 1:25 000  
 - Geologische Profile L~1:25 000 H~1:2 500
- Beilage 2 Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte 1:25 000

## ZUSAMMENFASSUNG

Das Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern liess von 1997 bis 1999 das Obere Saanetal hydrogeologisch untersuchen. Damit wurden die Grundlagen für den Schutz und die Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen erarbeitet. Das Untersuchungsgebiet umfasst die ganze Talebene des Oberen Saanetals von Gsteig bis zur Kantonsgrenze mit Waadtland westlich von Saanen. Insgesamt beträgt die Grundwasserleiter-Oberfläche ca. 5 km<sup>2</sup>.

Im Oberen Saanetal wurde der Grundwasserleiter in vier Becken unterteilt. Das Becken von Gsteig ist durch Wechsellagerungen von Kiessanden und Stausedimenten aufgebaut, die auf einer 30 bis 40 m tiefen Felsunterlage liegen. Dieses Becken ist hydraulisch von den anderen getrennt. Das Becken von Feutersoey ist vermutlich mit wenig durchlässigen Stauablagerungen aufgefüllt. Das Becken von Grund enthält grobkörniges Kiessand und Schotter, welche eine Mächtigkeit von ca. 10 bis 20 m aufweisen. Unter diesen Ablagerungen wurde Moränenmaterial nachgewiesen. Der Fels soll in einer Tiefe von 20 bis 30 m vorhanden sein. Das grosse Becken von Gstaad-Saanen fängt bei der Talverbreiterung von Matte an. In diesem Becken wurden mächtige gut durchlässige Schottermassen bis auf einer Tiefe von 20 bis 30 m gefunden. Der Felsuntergrund soll tiefer als 50 m sein. Beim Flugplatz Saanen konnte eine typische proglaziale Deltaschüttung bis zum Fels durchbohrt werden. Dort befand sich ein See als der Gletscher noch in der Nähe von Gstaad war. Die obersten 20 m bestehen aus gut durchlässigen Kiesen. Darunter wurden feinkörnige Ablagerungen und Moränenmaterial abgelagert. Der Fels wurde in einer Tiefe von 66 m erbohrt.

Hydrogeologisch enthalten alle Becken, mit Ausnahme des Feutersoey-Beckens, gut durchlässige fluvioglaziale und alluviale Schotter. Kleinpumpversuche haben hohe Durchlässigkeiten nachgewiesen. Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers wurde überall vom hohen Sulfatgehalt beeinflusst. Regionen mit Sulfatgehalte grösser als 200 mg/l (Toleranzwert) konnten gut definiert werden. Sie entsprechen den Stellen mit bedeutender Karstwasserzufuhr aus den Evaporitgesteinen des Einzugsgebietes (Gsteig Bode und Gstaad Matte).

Die heutige Nutzung des Grundwassers geschieht hauptsächlich zu Wärme- und Kühlzwecken. Es existiert nur eine Trinkwasserfassung mit rechtsgültiger Schutzzone in der Gemeinde Saanen (Pumpwerk Chäppeli). Die jährliche Entnahmemenge ist sehr gering. Die grosse Vulnerabilität des Grundwasservorkommens und der hohe Sulfatgehalt müssen im Rahmen der zukünftigen Nutzung des Grundwassers im Oberen Saanetal berücksichtigt werden, sei es für Trink- oder Brauchwassergewinnung. Eine Übernutzung der Reserven findet heute nicht statt. Sie kann aber dank den grossen Speichervolumen und der beträchtlichen Grundwasserneubildung ohne weiteres lokal in Betracht gezogen werden.

## RESUME

L'Office de l'Economie Hydraulique et Energétique du canton de Berne a fait effectuer l'étude hydrogéologique de la haute Sarine entre 1997 et 1999. Les présentes données pour la protection et la gestion de l'eau souterraine de la Haute Sarine sont le résultat de ces travaux. Le cadre de l'étude comprenait la plaine de la Haute Sarine de Gsteig jusqu'à la frontière cantonale avec le canton de Vaud à l'ouest de Saanen. La superficie totale de l'aquifère représente environ 5 km<sup>2</sup>.

L'aquifère de la Haute Sarine a été divisé en quatre bassins hydrogéologiques. Le bassin de Gsteig est constitué par un remplissage alternant des sables et graviers avec des dépôts lacustres qui reposent sur la roche en place située à environ 30 à 40 m de profondeur. Ce bassin n'a pas de liaison hydraulique directe avec les autres. Le bassin de Feutersoey est probablement constitué de dépôts faiblement perméables. Le bassin de Grund comprend des graviers fluviaux grossiers dont l'épaisseur varie entre 10 et 20 m. Au-dessous de ces dépôts se trouve du matériel morainique imperméable. Le rocher devrait se situer vers 20 à 30 m de profondeur. Le grand bassin de Gstaad-Saanen débute par l'élargissement de la vallée à la hauteur de Matte. Dans ce bassin, nous trouvons d'importantes masses de graviers sableux perméables jusqu'à une profondeur de 20 à 30 m. Le socle rocheux devrait se situer à plus de 50 m de profondeur. Des dépôts deltaïques proglaciaires typiques ont été découverts dans un forage effectué sur l'aérodrome de Saanen. Lorsque le glacier se trouvait encore à proximité de Saanen, il y avait un lac à cet endroit. Les premiers 20 m sont constitués de graviers relativement perméables. Au-dessous se trouvent des sédiments plus fins et des dépôts morainiques. La roche fut atteinte à 66 m de profondeur.

Tous les bassins, à l'exception de celui de Feutersoey contiennent des graviers fluvioglaciaires et fluviaux très perméables. Des essais de pompage de courte durée ont révélé de hautes valeurs de perméabilité (k). La composition chimique de l'eau souterraine a partout été influencée par la haute teneur en sulfates. Nous avons néanmoins pu définir les régions où la teneur en sulfate dépassait les 200 mg/l (valeur de tolérance). Ces zones correspondent aux endroits où d'importantes quantités d'eau proviennent de systèmes karstiques dans des roches évaporitiques (Gsteig Bode et Gstaad Matte).

Actuellement, l'utilisation des eaux souterraines se fait essentiellement par le biais d'installations de refroidissement ou de chauffage. Il n'existe qu'une seule station de pompage d'eau de boisson avec ses zones de protection légales dans la commune de Saanen (station de pompage de Chäppeli). La quantité d'eau pompée chaque année reste très modeste. Que ce soit pour l'utilisation industrielle ou pour l'alimentation de réseaux d'eau potable, les futures exploitations d'eau souterraine dans la Haute Sarine devront tenir compte de la forte vulnérabilité de la ressource ainsi que de la forte teneur en sulfates des eaux souterraines. Une surexploitation de la ressource n'est actuellement pas envisagée. On peut néanmoins l'accepter de manière locale, étant donné les grandes réserves saisonnières et l'important renouvellement de la ressource.

# **1 Einleitung**

## **1.1 Aufgabe und Zielsetzung**

Gemäss dem kantonalen Gewässerschutzgesetz (KGSchG) und dem Wasserversorgungsgesetz (WVG) vom 11.11.1996 besitzt der Staat das Hoheitsrecht über die Nutzung der öffentlichen Gewässer (Seen, Flüsse, Bäche und Grundwasser). Demzufolge muss er den Schutz und die Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen sicherstellen. Dazu sind hydrogeologische Untersuchungen nötig, um die wichtigsten regionalen Zusammenhänge zu ermitteln.

Das Geologie Labor (GEOLEP) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) wurde vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) beauftragt eine solche hydrogeologische Untersuchung im Oberen Saanetal durchzuführen, deren Ergebnisse die Grundlagen für den Schutz und die Bewirtschaftung des Grundwassers darstellen.

Als Endprodukt dieser Arbeit entsteht ein Schutz- und Nutzungskonzept, das eine Vielfalt an Gesichtspunkten und Interessen zusammenfasst. Das Untersuchungsgebiet wird demzufolge in verschiedene Nutzungsgebiete eingeteilt, was eine sinnvolle Nutzung der Grundwasserreserven im Oberen Saanetal ermöglichen soll. Die hydrogeologischen Untersuchungen Oberes Saanetal wurde als Grundlage einer Dissertation an der ETH-Lausanne ausgeführt.

## **1.2 Kredite und Subventionen**

1996 wurden vom WEA Fr. 10'000.- für eine Voruntersuchung bewilligt. Ziel war die Erarbeitung eines Untersuchungs- und Kostenprogrammes. Am 19.2.1997 hat der Regierungsrat des Kantons Bern einen Kredit von Fr. 311'000.- bewilligt, der für die Ausführung der vorgesehenen Untersuchungen nötig war. Auch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaftsschutz (BUWAL) unterstützte das Projekt mit einem Bundesbeitrag von 35.1%.

## **1.3 Untersuchungsgebiet**

Das Untersuchungsgebiet umfasst den oberen Teil des Saanetals, das sogenannte Saanenland (Fig. 1.1). Es schliesst Teile von drei Gemeinden ein: Saanen, Gsteig und Lauenen. In der Gemeinde Saanen befindet sich das bekannte Bergdorf Gstaad. Das ganze Einzugsgebiet wird fast ausschliesslich durch die Saane in Richtung Waadtland entwässert. Nur ein Teil wird vom Arnensee direkt durch Kraftwerkanlagen aus dem Einzugsgebiet weggeführt. Die Oberfläche des ganzen Einzugsgebietes (mit Ausnahme des Arnenseebeckens) hat eine Grösse von ca. 221 km<sup>2</sup>.

Davon sind 92 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet des Louibachs und 129 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet des Haupttals der Saane (Mauerhofer 1978). Der höchstgelegene Punkt befindet sich auf dem Wildhorn auf über 3'248 m ü.M. Das Areal des Flugplatzes Saanen liegt topographisch am tiefsten (ca. 1'000 m ü.M). Die eigentliche Grundwasserleiteroberfläche beträgt ca. 5 km<sup>2</sup>.

#### 1.4 Ablauf und Durchführung der Untersuchungen

Als Grundlage für die Untersuchungen diente das Programm vom 25.2.1997. Dieses wurde jedoch im Verlauf der Arbeit etwas abgeändert. Die Auswahl der verschiedenen geophysikalischen Untersuchungsmethoden wurde der vermehrten Kenntnis des Untersuchungsgebietes fortlaufend angepasst (Tab. 1.1).

Der Ablauf der Untersuchungen erlitt leider grosse Verspätungen. Aus verschiedenen Gründen wurden die Bohrarbeiten dreimal verschoben. Im Herbst 1997 standen die benötigten Grundlagen für die Entscheidung der Bohrstandorte noch nicht zur Verfügung. Im Herbst 1998 konnten die Arbeiten wegen ungünstiger Witterung nicht angefangen werden.

Tabelle 1.1 Untersuchungsablauf

Arbeiten	1997	1998	1999
Aufnahme	■	■	■
Geophysik	■	■	■
Bohrungen			■
Monitoring	■	■	■
Synthese			■
Bericht, them. Karten			■

Anfangs 1999 musste man nochmals die Bohrarbeiten verschieben, da grosse Schneemengen gefallen waren. Die geplanten Bohrarbeiten konnten erst im Frühling 1999 ausgeführt werden.

Die Untersuchungsarbeiten standen unter der Leitung von Herrn Dr. Gianni della Valle, Abteilungsvorsteher Geologie, Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA). Die Untersuchung führte das geologische Labor der ETH-Lausanne (GEOLEP) durch. In der Tabelle 1.2 sind die beteiligten Anstalten und Personen aufgeführt.

Tabelle 1.2 Am Projekt Hydrogeologie Oberes Saanetal beteiligte Anstalten und Personen

	<b>Anstalt</b>	<b>Personen, bzw. Abteilungen</b>
Leitung	WEA	Dr. G. della Valle
Bearbeitung	GEOLEP	Prof. Dr. A. Parriaux, J. Vaudan, T. Bussard
Geophysik	GEOLEP	Prof. Dr. A. Parriaux, J. Vaudan, T. Bussard
Flowmeter	GEOLEP	Prof. Dr. A. Parriaux, J. Vaudan
Bohrungen	Hydrogéó S.A.	G. Schüller
Hydrometrie	WEA	Abteilungen Hydrometrie und Geologie
Wasseranalysen	GSA	Gewässer- und Bodenschutzlabor
	Labor Meyer	Labor Dr. Meyer A.G., Bern
	GEOLEP	Dr. M. Bensimon
Thematische Karten	WEA	P. Eichwald, D. Hofstetter (Rossens)
Isotopen	ETHZ	Dr. S. Bernasconi, Geologisches Institut

### 1.5 Archive und verwendete Unterlagen

Die verwendeten Unterlagen wurden von verschiedenen Stellen zur Verfügung gestellt. In Bern waren es die Dokumentationsstellen der Landeshydrologie und –geologie (LHG) und diejenige des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes (WEA, H. Zwahlen) des Kantons Bern. Weitere Dokumente konnten bei den Universitäten Freiburg und Lausanne eingesehen werden. Private Büros haben ihre Gutachten uneingeschränkt zur Verfügung gestellt.

## **2 Geologie des Oberen Saanetals**

### **2.1 Allgemeiner geologischer Überblick (Festgesteine)**

Die tektonischen Einheiten des Einzugsgebietes des Oberen Saanetals können in drei Hauptgruppen unterteilt werden (Fig. 2.1). Von Süden nach Norden sind es die Helvetischen Decken, die Ultrahelvetischen Decken und die Penninischen Sedimentdecken. Vorwiegend handelt es sich um mesozoische Sedimente (Kalke, Evaporite, Mergel) und mächtige Flyschablagerungen (obere Kreide-Eozän). Diese Gesteinseinheiten sind durch grosse tektonische Verwerfungen voneinander getrennt. Das Saanetal verläuft hauptsächlich entlang einem tektonischen Bruch. Infolge ihrer Zusammensetzung und ihrer Strukturen sind die Festgesteine unterschiedlich an der Grundwasserneubildung beteiligt. Aus diesem Grund werden die geologische Stellung und die hydrogeologischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinstypen kurz beschrieben.

#### ***Helvetische Decken***

Hauptgesteinsarten in diesen Einheiten stellen mächtige Kalke und Mergelserien dar (Badoux & Lombard 1962). Sie bilden die Wildhorndecke, deren Faltenachsen nach Osten einfallen. Aus diesem Gebiet stammt die Saane (Bereich Sanetsch, Kanton Wallis). Diese Einheiten können als verkarstungsfähige Gesteine angesehen werden, was die am Sanetschpass vorhandenen Karrenfelder beweisen.

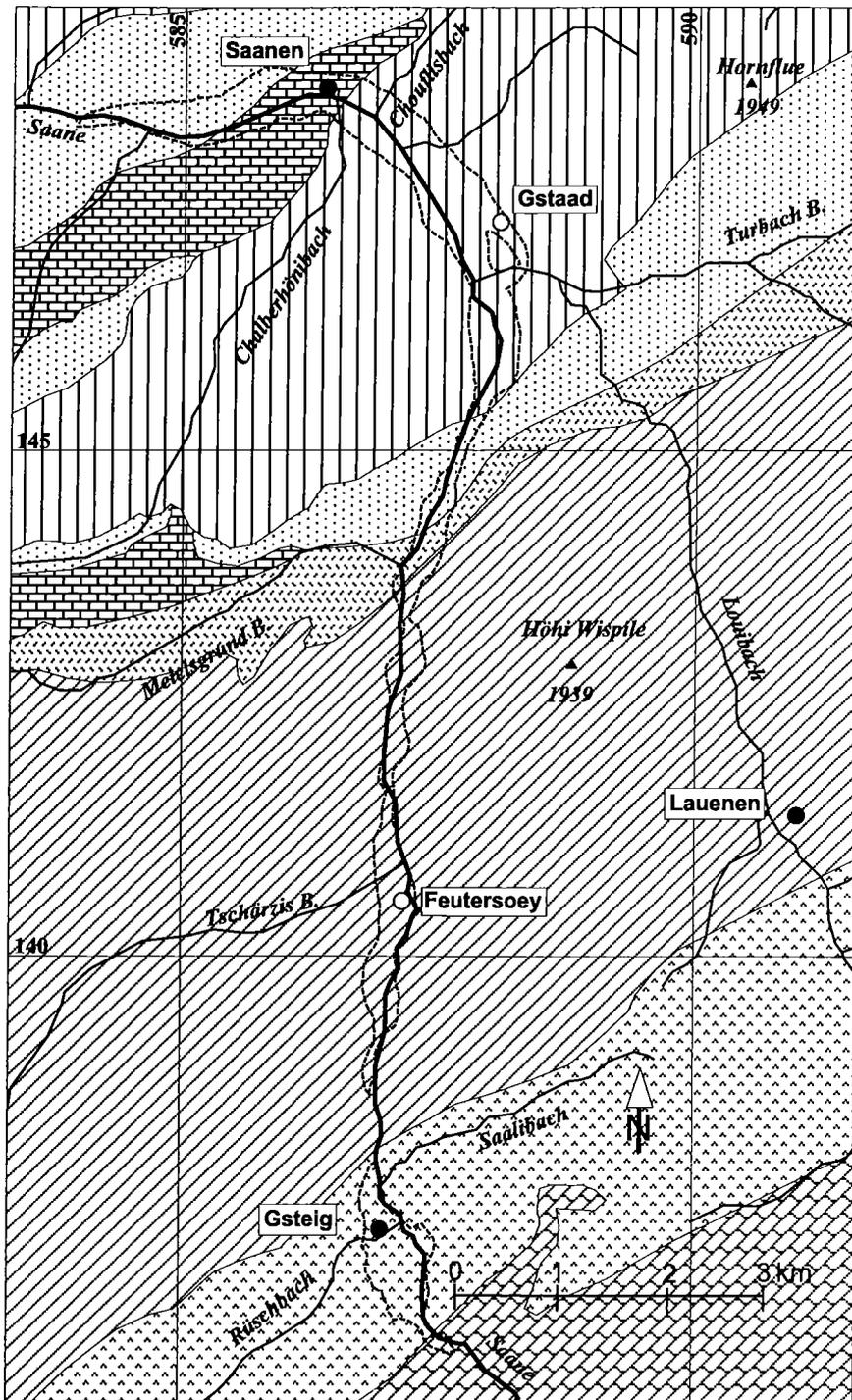
#### ***Ultrahelvetische Decken***

Die sogenannte „Zone des Cols“ befindet sich im Bereich der ultrahelvetischen Einheiten. Die wichtigsten Gesteine sind Evaporite und Mergel der Triaszeit (Badoux&Lombard 1962). Dies erklärt die morphologisch gut erkennbare Depression (z. B. Col du Pillon), welche durch die Auflösung von Gips und Anhydrit entstanden ist. Diese Gesteinsarten sind ebenfalls verkarstungsfähig. Die Mergelserien ihrerseits sind für die grossen Hanginstabilitäten verantwortlich (z. B. Rutschung N. von Gsteig). Das sehr geringe oberflächliche Gewässernetz widerspiegelt die starken Infiltrationsmöglichkeiten.

#### ***Niesendecke***

Die Niesendecke stellt die grösste aufgeschlossene tektonische Einheit des Untersuchungsgebietes dar. Sie weist hauptsächlich Flyschserien aus dem sogenannten Frutigflysch auf, welche aus Wechsellagerungen von Sandsteinen und Konglomeraten bestehen (Ackermann 1986). Die gerundeten Kämme der Höhi Wispile bestehen aus diesen leicht erodierbaren Gesteinen. Feinkörnigere Ablagerungen sind im nördlichen Bereich vorhanden. Im allgemeinen führen diese Einheiten wenig Wasser. Die Verteilung der Grundwasserzirkulationswege ist eher komplex (Basabe 1992).

Figur 2.1 Tektonischer Überblick



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

Tektonische Einheiten

- |               |             |                      |
|---------------|-------------|----------------------|
| Brecciendecke | Simmendecke | Ultrahevetische Zone |
| Klippendecke  | Niesendecke | Zone submédiane      |
| Wildhorndecke |             |                      |

### ***Zone submédiane***

Die Zone submédiane tritt am nördlichen Rand der Niesendecke auf. Im Untersuchungsbereich besteht sie hauptsächlich aus Gips und Anhydrit, welche eine Matrix bilden, in der andere Gesteinsarten als Linsen auftreten (Weidmann et al. 1976). Diese Gesteinstypen sind am rechten Ufer des Meielsgrund (früher Falbbach) aufgeschlossen. In solchen Lithologien erwartet man Karsterscheinungen. Wie bei den ultrahelvetischen Evaporite, bildet sich in der Zone submédiane kaum ein oberflächliches Gewässernetz, was die starke Infiltration widerspiegelt.

### ***Brecciendecke***

An der Basis dieser Decke findet man typische triasische Ablagerungen (Gips, Rauhwaacke, Dolomit). Diese Gesteinsarten sind selten aufgeschlossen (Badoux&Lombard 1962). Im Untersuchungsgebiet treten sie am linken Ufer des Meielsgrunds auf. Die obersten Einheiten der Brecciendecke sind durch Breccien, Kalk und Flysche vertreten. Wie die Niesendecke, wurde auch diese Einheit als eher undurchlässig betrachtet.

### ***Simmendecke***

Konglomerate, kalkreiche Sandsteine, Mergel und Kalkbänke bilden die Hauptgesteinsarten dieser Decke, welche am nördlichsten Rand unseres Untersuchungsgebietes vorhanden ist (Wicht 1984). Hydrogeologisch bildet diese Decke ebenfalls eine undurchlässige Einheit, obwohl, wie bei der Niesen- und der Brecciendecke, grössere Wassermengen entlang tektonischer Brüche und Klüfte zirkulieren können.

### ***Klippendecke (nappe des préalpes médianes rigides)***

Diese letzte tektonische Einheit liegt mitten in den Flyschserien der Simmen- und Brecciendecke. Im Untersuchungsgebiet sind die östlichen Teile der Rübli und Gummfluh-Schuppen aufgeschlossen. Die Klippendecke besteht hauptsächlich aus mächtigen Kalkserien, die verkarstungsfähig sind (Hürlimann et al. 1996). In diesen Zonen existiert kaum ein dränierendes oberflächliches Gewässernetz.

## **2.2 Lockergesteine (Quartärgeologische Ablagerungen)**

In diesen Ablagerungen befindet sich das eigentliche Grundwasservorkommen. Sie werden im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben. Es handelt sich um alluviale Schotter, feinkörnige Seesedimente, Kiessande und Moränenablagerungen. Die räumliche Verteilung ihrer hydrogeologischen Eigenschaften wurde durch ihre Entstehungsgeschichte stark beeinflusst.

## **3 Quartärgeschichte des Saanenlandes**

### **3.1 Allgemeines**

Wie erwähnt ist das Talgrundwasservorkommen in den rezenten Talalluvionen eingebettet. Sie bilden einen mächtigen Lockergesteinskörper. Die hydrogeologische Bedeutung dieser Ablagerungen ist abhängig von ihrer Genese und vom Ablagerungsort (Parriaux&Nicoud 1993). Um die hydrogeologischen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Sedimenttypen erfassen zu können, muss zuerst die Geschichte ihrer Ablagerungsbedingungen geklärt werden. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Klimaschwankungen der letzten 12'000 Jahre (Holozän) zu ermitteln. Es liegt auf der Hand, dass die Ablagerungen dieser Periode stark durch Gletschervorstösse und Rückzüge geprägt wurden (siehe Abschnitt 3.1 Talgeschichte).

Um den Aufbau und die Ausdehnung der verschiedenen Sedimenttypen zu verstehen, wurden verschiedene Untersuchungsmethoden angewandt. Die Resultate dieser Arbeiten lieferten die nötigen Daten für das Verständnis der Struktur und der Eigenschaften der grundwasserführenden Schichten im Oberen Saanetal. Daraus konnte auch die Ablagerungsgeschichte weitgehend geklärt werden.

### **3.2 Geophysikalische Erkundungen**

Wie schon erwähnt, waren im Oberen Saanetal bis zu unserer Untersuchung keine Kenntnisse über die Lage der Felssohle vorhanden. Die bisher durchgeführten Bohrungen haben den Fels nie erreicht. Die tiefste Bohrung (WEA Nr. 587/146.8) hat 50 m Kies und Sandablagerungen durchbohrt. Um genauere Angaben über die räumliche Ausdehnung und Verteilung der Lockergesteinsablagerungen zu erlangen kamen klassische Kartierungsarbeiten sowie geophysikalische Methoden zur Anwendung.

#### **3.2.1 Geoelektrik**

Das Prinzip der Geoelektrik ist folgendes: mit Hilfe von in den Untergrund eingebrachten Elektroden wird der elektrische Widerstand des Bodens durch künstlich erzeugten Strom gemessen. Die heute vorhandenen Erfahrungen mit dieser Methode sind sehr gross. Dementsprechend gewichtig ist ihre Aussagekraft.

Das GEOLEP hat im Frühling und im Sommer 1997 zwölf geoelektrische Sondierungen und ein Widerstandsprofil entlang dem ganzen Tal mit Elektrodenabstand von 100 m gemacht. Die Hauptresultate sind in der Tabelle 3.1 eingetragen.

Tabelle 3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Geoelektrik

Methoden	Anzahl	Geologische Deutung	
Sondierungen	12	<b>Obere Schicht Fall A (0 bis 20 m)</b>	
		<i>Gemessene Widerstandswerte</i>	<i>Interpretation</i>
		40-160 $\Omega\text{m}$	Lehm, Sand oder sandiger Kies
		<b>Obere Schicht Fall B(20 bis 30 m)</b>	
		<i>Gemessene Widerstandswerte</i>	<i>Interpretation</i>
		300-1600 $\Omega\text{m}$	Schotter (mit GW oder ohne GW)
		<b>Untere Schichten (&gt;30 m)</b>	
		<i>Gemessene Widerstandswerte</i>	<i>Interpretation</i>
		80-150 $\Omega\text{m}$	Moräne oder sandiger Kies
Profile AB 100m	5	<b>Untersuchte Schicht (25-33 m)</b>	
		<i>Gemessene Widerstandswerte</i>	<i>Interpretation</i>
		120-200 $\Omega\text{m}$	sandiger Kies (Kiessand)

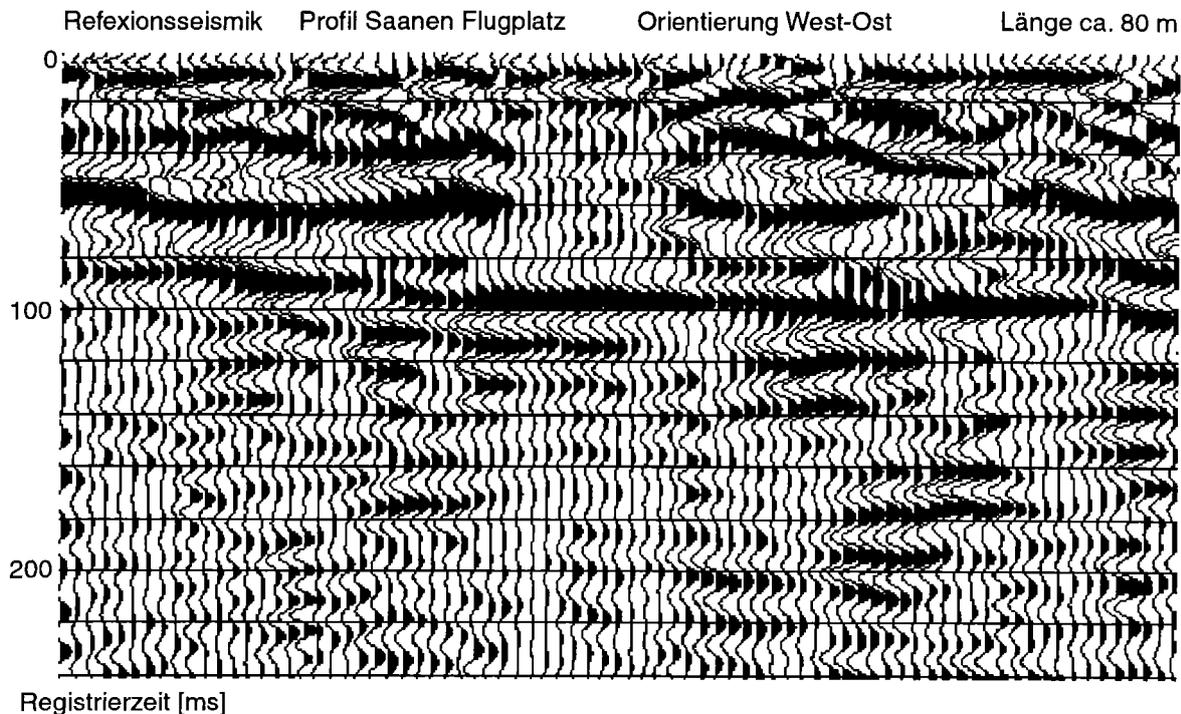
Diese Resultate zeigen eine eher einheitliche Struktur für alle Becken. Die oberste Schicht besteht aus gut durchlässigem Kies (Saane Schotter). An manchen Stellen handelt es sich mehr um Kiessand (Becken von Gstaad-Saanen). Unter dieser Schicht, die wasserführend ist, findet man in den Regionen Gsteig und Grund meistens Moräne. Im Bereich von Saanen-Gstaad dagegen ist noch Kiessand vorhanden. Die Moräne wurde dort nicht erreicht.

### 3.2.2 Refraktion- und Reflexionsseismik

Da die Geoelektrik ungenügend Kenntnisse über die Mächtigkeit der ganzen Quartär-Ablagerungen bis zum Fels lieferte, wurden seismische Untersuchungsmethoden durch den GEOLEP angewandt. Beide Verfahren haben interessante Resultate geliefert. Tröge wurden entdeckt und die Tiefe der Felsoberkante in den wichtigsten Becken wurde gefunden.

Refraktion- und Reflexionsseismik benützen die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen im Untergrund. Die Refraktionsseismik untersucht die Einsatzzeiten der zuerst an jeder Empfängerstation (Geophone) eintreffenden Signale. Die Reflexionsseismik befasst sich mit Signaleinsätzen, die nach den refraktierten Wellen eintreffen. Sie erlaubt damit tiefere Strukturen zu untersuchen, ohne lange und gestreckte Profile einzusetzen, was in dicht besiedelten Gebieten und in schmalen Tälern von grossem Vorteil ist. Das Auswertungsverfahren bei der Reflexionsseismik ist aufwendiger als dasjenige bei der Refraktionsseismik. Die Resultate zeigen im allgemeinen sehr gute Reflexionen. In Figur 3.1 kann man die starke Reflexion der Felsoberfläche bei etwa 80 bis 100 msec gut erkennen. Dies entspricht einer Tiefe von ca. 80 bis 90 m (Intervallgeschwindigkeit von 1800 m/s). Auch in den obersten Schichten sind Reflexionen sichtbar. Ihre geologische Deutung wird aber schwierig. Die Figur 3.2 stellt die Tiefe der Felsoberfläche dar, die aus den verschiedenen von uns angewandten seismischen Verfahren berechnet worden sind.

Figur 3.1 Seismisches Reflexionsprofil beim Flugplatz Saanen (Teilstück, CDP-Darstellung, gestapelt). Die starke Reflexion bei ca. 90-100 ms entspricht der Lage der Felsoberfläche (ca. 80 m tief)

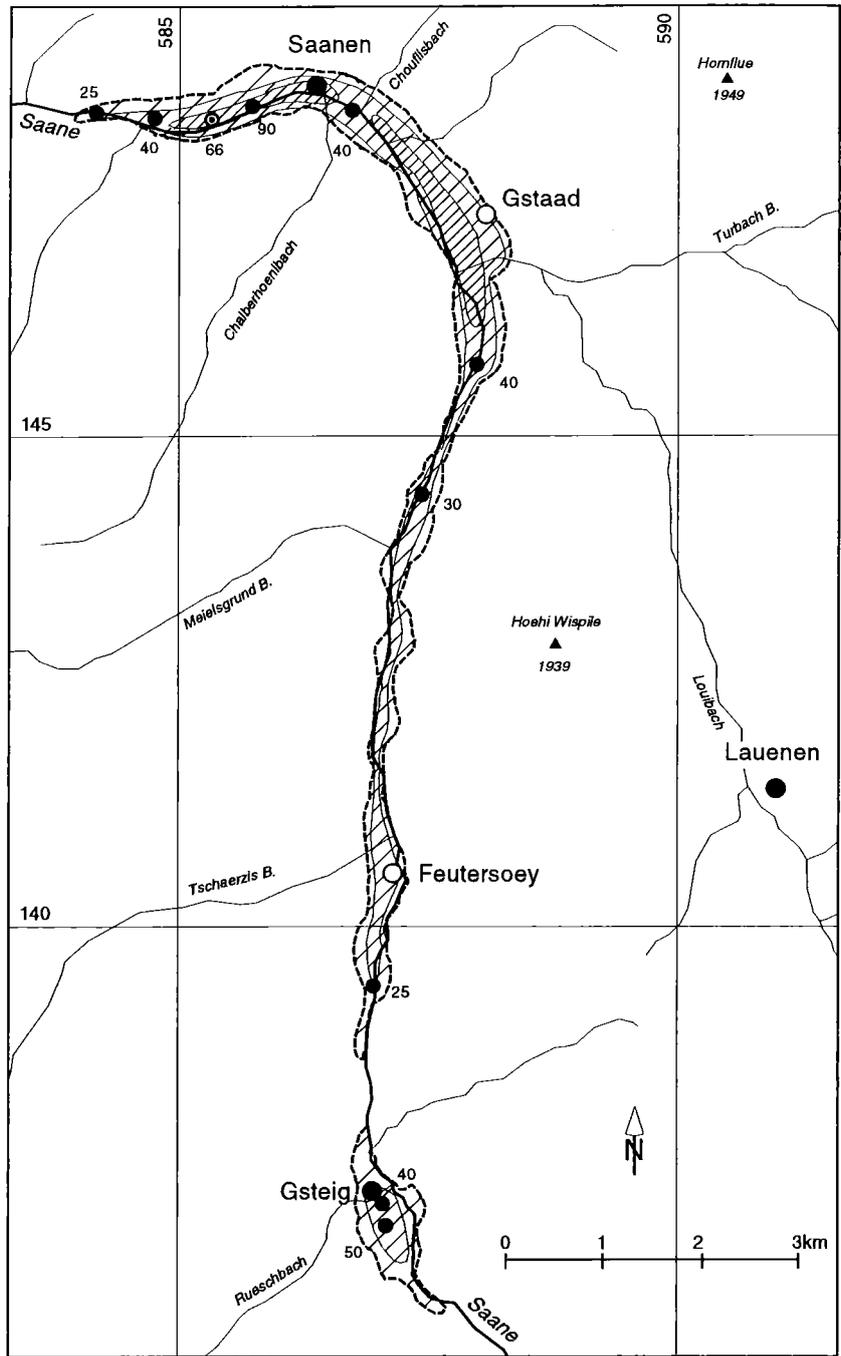


### 3.3 Sondierbohrungen

Nachdem die Anzahl Bohrungen und deren Standorte dank der geophysikalischen Vorerkundungsarbeiten definiert waren, fingen die Bohrarbeiten im Januar 1999 an. Leider waren die Wetterbedingungen ungünstig und die Bohrarbeiten mussten zeitlich um 2 Monate verschoben werden. Erst Ende Mai 1999 konnten die 4 Sondierbohrungen ausgeführt werden (Anhang 1 bis 4). Die Bohrprofile wurden aufgenommen und geologisch interpretiert. In die Bohrungen wurden 4 ½ Zoll PVC Filterrohre eingebaut.

Neben diesen neuen Bohrungen wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Sondierungen ausgeführt. Wir möchten nicht alle Berichte erwähnen. Die Bohrprofile und Bohrversuche der verwendeten Gutachten können bei der Dokumentationsstelle des WEA eingesehen werden. Die zugehörigen WEA-Nummern sind jeweils angegeben und der Leser kann sie beim WEA einsehen.

Figur 3.2 Tiefe der Felsoberfläche



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

Tiefe der Felsoberfläche [m]

- |   |         |    |                                     |
|---|---------|----|-------------------------------------|
|  | < 25    | ●  | Felstiefe geophysikalisch ermittelt |
|  | 25 - 50 | ⊙  | Felstiefe erbohrt                   |
|  | > 50    | 30 | Felstiefe in m                      |

### **3.4 Talgeschichte**

Die Ablagerung der Talalluvionen konnte erst nach dem vollständigen Rückzug der Gletscher bis in die höher gelegenen Täler der Alpen beginnen. Im Saanetal wurden verschiedene Taltröge stufenweise vom Eis befreit. Das erste Gletscherrückzugstadium ist bei Gstaad gut sichtbar (Nussbaum 1906, Hantke 1972, Monachon 1978). Dort sind die Relikte einer grossen Mittelmoräne deutlich erkennbar (Hügel in der Mitte von Gstaad). Zu dieser Zeit bildete das Gebiet von Saanen-Gstaad ein typisches glazialakustrines Becken, in dem sich Stauablagerungen absetzten. Dieses Becken ist durch einen Felsriegel in zwei Teile geteilt. Diese Tröge sind durch starke glaziale Erosion entstanden. Sie stehen zudem auf stark tektonisierten Zonen (Verschiebung, Verwerfung), wo vermutlich schon vor den Eiszeiten gewisse Depressionen vorhanden waren. Der Riegel ist aus wenig erodierbarem Malmkalk aufgebaut. In späteren Phasen weisen Abschmelzprozesse des Saanegletschers talaufwärts zur Ausbildung weiterer Rückzugsstadien. Das wichtigste davon liegt bei Gsteig, wo noch mächtige Moränenablagerungen zu sehen sind. Zwischen diesen 2 Stadien konnten sich fluvio-glaziale Schotter im frei gewordenen Tal ablagern und allmählich das Becken von Gstaad-Saanen auffüllen (Kiessande). Im Talabschnitt Feutersoey-Gstaad haben sich diese Schotter mit verrutschtem Moränenmaterial vermischt. Die jüngsten Talalluvionen, die sogenannten Saaneschotter, wurden nach den letzten grossen Rückzugsphasen überall im Haupttal der Saane abgelagert. In Gstaad sind schöne Erosionskanten in Gschwänd zu beobachten. Tiefer liegen die rezenten Saaneschotter, welche bei Saanen progressiv in Verlandungsablagerungen übergehen.

Insgesamt wurden 4 Becken ausgeschieden. Dabei handelt es sich z. T. mehr um Sanderebenen als um Sedimentationsbecken im eigentlichen Sinne. Die Ablagerungsgeschichte der quartären Lockergesteine wurde ebenfalls durch die Morphologie des Haupttales beeinflusst. Hydrogeologisch sind diese Becken miteinander verbunden, ausgenommen ist das Becken von Gsteig, das unabhängig von den anderen ist.

#### ***Das Becken von Gsteig***

Dieses Becken ist aufgebaut aus einer Abfolge von alluvialen Schottern, Stauablagerungen und fluvio-glazialen Kiesen, welche auf mächtigen Moränenablagerungen liegen. Der Fels wurde in einer Tiefe von 40 bis 50 m geophysikalisch geortet. Die sedimentäre Auffüllung dieses Beckens enthält wie erwähnt sehr interessante Stauablagerungen. Das Vorhandensein von organischen Substanzen innerhalb der Siltlagen entspricht bereits wärmeren Klimabedingungen als jenen der letzten Rückzugsphasen der alpinen Gletscher. Das Becken wurde also mehrmals aufgestaut. Die Ursache dafür ist sehr wahrscheinlich die grosse Rutschung nördlich Gsteig. Hier rutschte eine Lockergesteinsmasse (vorwiegend Moränenmaterial) in instabiler Hanglage auf Mergelschichten (Toarcien-Aalénien) phasenweise ab.

### ***Das Becken von Feutersoey***

Man kann dieses Becken in zwei Einheiten unterteilen : den mächtigen und breiten Schuttkegel auf welchem das Dorf aufgebaut worden ist einerseits und andererseits die kleinere Ebene, die sich nach Süden ausbreitet. In diesem Becken wurden keine Bohrungen ausgeführt. Es existieren auch keine von früheren Untersuchungen. Ein seismisches Reflexionsprofil hat den Fels im südlichen Teil auf 25 bis 30 m Tiefe festgestellt. Die Auffüllung des Beckens ist uns leider schlecht bekannt. Das Vorhandensein des grössten Schuttkegels des Saanetals lässt auf eher feinkörnigere Stauablagerungen schliessen.

### ***Das Becken von Grund***

Dieses langgestreckte Becken erstreckt sich von der Gemeindegrenze Gsteig-Saanen bis zur Einmündung des Meielsgrundbachs ins Haupttal. Die zwei ausgeführten Bohrungen sind auf gut durchlässige Schotter gestossen. Im allgemeinen sind die 10 obersten Meter grundwasserführend. Das Material ist eher grobkörnig und enthält wenig Feinanteile. Stau- und Seesedimente sind kaum vorhanden. Die unteren Schichten sind ein Gemisch von verkittetem Kies und Moräne. Das Moränenmaterial rutschte nach dem Rückzug des Gletschers in den frei gewordenen Talgrund und vermischte sich mit den fluvioglazialen Kiessanden. Der Fels liegt gemäss geophysikalischen Angaben in 30 m Tiefe.

### ***Das Becken von Gstaad-Saanen***

Dieses Becken fängt bei der bedeutenden Talverbreiterung von Gstaad Matte – Moosfang an. Die Bohrung KB31 (WEA 585/148.18) hat beim Flugplatz Saanen den Bedrock auf einer Tiefe von 66 m erreicht. Im Gebiet Saanen und Gstaad wurden mehrere Bohrungen abgeteuft. Die stark besiedelte Region lebt vom Tourismus, was u. a. eine rege Bautätigkeit zur Folge hatte. Das letzte grosse Bauwerk stellt der Tunnel für die Umfahrung von Gstaad dar. Alle diese Bauarbeiten benötigten geologische Vorerkundungen (CSD 1971, Kellerhals 1986, CSD 1991, CSD 1998, Geotechnisches Institut 1998). Als Resultat liegt ein vollständigeres Bild des geologischen Untergrundes vor.

Im Bereich Gstaad sind grosse Schotterkörper (sogenannte Saaneschotter) bis auf eine Tiefe von ca. 30 m nachgewiesen. Diese verzahnen sich mit Moränenablagerungen im Bereich des Sportzentrums. Das Dorfzentrum selbst (Gstaad) steht auf mächtigen Bachschuttablagerungen, welche sich bei Gschwänd mit den Saaneschottern vermischen. Von Äbnitt bis nach Saanen sind wieder mächtige Kiessandablagerungen vorhanden. Von Saanen bis zur Kantonsgrenze erstreckt sich das Saanenstaubecken. Die Sedimentabfolge dieses Beckens wurde vollständig von der Bohrung KB31 (WEA 585/148.18) aufgeschlossen. Man kann eine typische Deltaabfolge erkennen. Oben liegen rezente fluviatile Schotter vor, welche sogenannte Topsets überdecken, die einen erhöhten Sandgehalt aufweisen. Gegen die Tiefe zu, ändert sich die Fazies zu geschichteten, siltigen Feinsandlagen (Foresets).

Glazio-lakustrine Seeablagerungen sind durch sandige, feingeschichtete und dunkle Siltlagen gekennzeichnet. Diese Schichten enthalten keine organischen Beimengungen, was für proximale, vermutlich noch eiszeitliche, Beckenauffüllung spricht. Ganz unten findet man eine dichte Moräne, welche eine wenig mächtige typische Grundmoräne (lodgement till) überdeckt. In Richtung Gstaad verschwinden beide Delta- und die Seeablagerungen. Der Fels bildet zwei voneinander durch einen Riegel getrennte Tröge. Diese Übertiefungen sind auf glaziale Erosion und Tektonik zurückzuführen. Der Trog von Saanen steigt rasch nach Westen auf. Im Bereich der ARA Saanen liegt die Felsoberkante bei etwa 10 m Tiefe (CSD 1975) und ist beim Felshügel des Vanels aufgeschlossen.

### **3.5 Beschreibung der Lockergesteine**

Im Abschnitt 3.4 wurden die verschiedenen Quartärtröge und ihre Sedimentauffüllung beschrieben. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Komponenten der Lockergesteinseinheiten kurz lithologisch beschrieben.

#### ***Moräne (dm, gm)***

Die Moränenablagerungen wurden an der Oberfläche kartiert oder sie sind in den Bohrungen aufgeschlossen. Im allgemeinen stellen sie undurchlässige Einheiten dar. Die Grundmoräne bildet einen Grundwasserstauer über das ganze Untersuchungsgebiet. Nur die Randmoränen können durchlässiger sein, in denen sich kleinere Grundwasservorkommen bilden können, oder Hangwasserübertritte ins Talgrundwassersystem.

#### ***Fluvio-glaziale Schotter (uks, sas)***

Die fluvioglazialen Schotter wurden am Vorderrand der Gletscher und deren Stirnmoränen abgelagert (sog. Sander). Sie enthalten vorwiegend, mehr oder weniger gut sortierte Kiese. Im Untersuchungsgebiet sind solche Ablagerungen hauptsächlich im Saanenbecken vorhanden.

Im Becken von Grund wurden diese Ablagerungen zum Teil stark mit verrutschten Moränenmaterial vermischt. Diese Wechselwirkungen wurden auch im Bereich des Umfahrungstunnels bei Gstaad beobachtet (CSD 1991). Das Resultat sind Einlagerungen von stark siltigem, sandigem Kies mit Steinen und Blöcken. Die unteren Schichten können verkittet sein (Bohraufschluss KB32, WEA 587/142.2, Anhang 2).

### ***Glazio-lakustrine Deltaabagerungen (sd)***

Im Gletschervorfeld konnten im frei gewordenen Trog Gletscherseen entstehen, welche allmählich zugeschüttet wurden. Dies war der Fall im Saanenbecken. Diese Sedimentabfolge stellt ein typisches postglaziales Delta dar. Im Liegenden sind feine Siltablagerungen, welche von gröberen schräggeschichteten Sanden überlagert werden. Im Hangenden wurden topset Kiese (Sander) abgelagert, welche ihrerseits sehr oft von rezenten alluvialen Schottern überdeckt werden. Diese Einheiten, falls sie nicht zu feinkörnig sind, bilden oft interessante Grundwasserreservoirs.

### ***Alluviale Schotter (sas)***

Nach dem vollständigen Rückzug der Gletscher setzte die Flusserosion in ihrer vollen Stärke ein. Die Produkte dieses Vorgangs sind die rezenten alluvialen Schotter (Saaneschotter), welche die obersten Schichten des Grundwasserleiters bilden. Sie sind im allgemeinen stark durchlässig.

### ***Bachschuttablagerungen (bs)***

Im Oberen Saanetal bilden alle Seitentäler Stufenmündungen mit dem Haupttal. Dies ist auf die intensive Erosion des Saanegletschers zurückzuführen, der das Haupttal stark übertieft hat (Nussbaum 1906). Dementsprechend sind die zugehörigen Bachschuttkegel eher steil und wenn Grundwasser vorhanden ist liegt es in ziemlicher Tiefe. Die Korngrößenverteilung der Sedimente der Schuttkegel wird wegen ihres geologischen Ursprungs (Flysch) meist fein sein. Aus diesem Grund bilden sie schlecht durchlässige Einheiten.

## 4 Eigenschaften des Grundwasserleiters

### 4.1 Allgemeines

Als Grundwasserleiter versteht man einen geologischen Körper, der dank seiner Durchlässigkeit Grundwasser in nutzbaren Mengen enthält (Jäckli 1970). Im Rahmen dieses Berichtes wurde das Grundwasservorkommen in den Lockergesteinsablagerungen des Oberen Saanetals untersucht. Im Saanenland wurden bis heute keine regionalen geologischen Untersuchungen durchgeführt, welche die hydraulischen Eigenschaften der verschiedenen Grundwasservorkommen des Oberen Saanetals regional umfassen. Die bisher vollständigste Studie stellt die Dissertationsarbeit von Mauerhofer (1978) dar. Er untersuchte das ganze Saanenland und entwarf ein allgemeines hydrologisches Konzept der Region.

### 4.2 Flowmeter Logs und Kleinpumpversuche

Im Juni 1999 hat das GEOLEP Flowmeter Logs und Pumpversuche in jedem neuen Bohrloch durchgeführt. Das Ziel war die Verteilung der Durchlässigkeiten innerhalb der quartären Talfüllungen zu untersuchen sowie Profil und Bereichs K-Werte zu berechnen. Die Interpretation der vorhandenen Resultate zeigt, dass die grössten Wassermengen aus den obersten Schichten stammen (Anhang 5, Flowmeter Logs). In der Bohrung KB31 (WEA 585/148.18), beim Flugplatz Saanen wurden sogar 78 % der Gesamtmenge (764 l/min) aus den obersten 5.5 m abgepumpt. Dieses Resultat gilt unter der Annahme, dass die Beziehung zwischen Förderrate und Flowmeter Angaben auch bei hohen Werten linear bleibt (Eichmessungen beim GEOLEP konnten einen linearen Verhältnis bis ca. 250 l/min. nachweisen). In der Tabelle 4.1 sind die wichtigsten Angaben über die 4, im Rahmen des Projektes abgeteuften Bohrungen aufgeführt.

Tabelle 4.1 Hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters an den neuen Bohrstellen

Bohrung	WEA Nr.	Flowmeter K-Wert [ $\times 10^{-3} \text{m/s}$ ]	Pumpversuch K-Wert [ $\times 10^{-3} \text{m/s}$ ]	Q Pumpe [l/min]	$\delta h$ [m]
KB31	585/148.18	3.6	2.8	764	0.2
KB32	587/143.6	3.8	3.7	764	0.5
KB33	587/142.2	2.5	1.3	424	0.4
KB34	587/136.7	0.8	1.6	955	1.0

Die Ergebnisse zeigen gut bis mittel durchlässige Sedimente. Sie entsprechen den obersten Schichten der wassergesättigten, bis 20 m mächtigen Schottern. Unter den Schottern liegt meist Moränenmaterial oder verkittete Kiessande.

### **4.3 Einteilung des Oberen Saanetals in hydrogeologische Becken**

Die Zusammenfassung der hydrogeologischen Daten führt zu einem geologischen Gesamtbild des Oberen Saanetals. Das Gebiet wurde gemäss den früher erwähnten Sedimentbecken eingeteilt.

#### ***Das Becken von Gsteig***

Grundwasserführende Ablagerungen wurden innerhalb der obersten 20 m erbohrt. Sie sind gut durchlässig mit einem Bereichs K-Wert von  $8.4 \times 10^{-4}$  m/s. Die tieferen Moränenablagerungen bilden einen undurchlässigen Grundwasserstauer. Dieses Becken liegt unseres Erachtens in keinem hydraulischen Zusammenhang mit den anderen Becken.

#### ***Das Becken von Feutersoey***

Das Auftreten vom Grundwasser bei der Halten Brücke (Grundkarte, Beilage 1, WEA Nr. 587/140.7) weist auf wasserführende Schichten hin. Ihre Mächtigkeit und seitliche Ausdehnung sind leider nicht bekannt. Zusammenfassend kann man das Becken von Feutersoey als ein kleines Staubecken betrachten, welches nur geringe Mengen Grundwasser enthält. Der Schuttkegel von Feutersoey besteht aus Schutt, der ausschliesslich aus Flyschgesteinen stammt. Dementsprechend wird er eher feinkörniges Material enthalten, welches wenig Grundwasser führt (Aufschluss Kiesgrube Feutersoey). In diesem Becken wird demzufolge kein grosses Grundwasservorkommen erwartet. Unterhalb dieses Beckens fängt das Hauptgrundwasservorkommen des Oberen Saanetals an.

#### ***Das Becken von Grund***

In diesem Becken wurde das Grundwasser schon früher stark genutzt, wie mehrere aufgelassene Sodbrunnen beweisen. Die von uns durchgeführten Pump- und Flozmeterversuche haben hohe Bereichs bzw. Profil K-Werte von 1.3 bis  $3.8 \times 10^{-3}$  m/s ergeben. Man kann in diesem Becken mit einem gut durchlässigen Grundwasserleiter von etwa 10 m Mächtigkeit rechnen. Er ist wahrscheinlich in direkter hydraulischer Kontinuität mit dem Becken von Feutersoey.

### ***Das Becken von Gstaad-Saanen***

Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters beträgt 20 bis 30 m. Er ist gut durchlässig (Bereichs K-Werte von 1 bis  $6 \times 10^{-3}$  m/s) und wird stark genutzt (Hallenbad, Wärmepumpen, Wasserversorgung). Das Gebiet von Untergstaad weist niedrigere Durchlässigkeitsbeiwerte (K-Wert von 0.09 bis  $0.3 \times 10^{-3}$  m/s) auf, was auf die Zusammensetzung des Untergrunds zurückzuführen ist (Bachschuttkegel). Zwischen den topographisch tiefer gelegenen, sich bis an die Kantonsgrenze erstreckenden Becken, können die hydraulischen Verbindungen mit dem Becken von Gstaad-Saanen als gesichert betrachtet werden.

## 5 Hydrologische Basisdaten

### 5.1 Allgemeine Angaben

Hydrologische Basisdaten sind für die Berechnung von Grundwasserbilanzen nötig. Sie werden von verschiedenen Anstalten und in verschiedener Weise gemessen. Für diese Studie wurden ausschliesslich existierende Anlagen benützt, welche Monats- und Jahresmittelwerte liefern könnten. In den 70er Jahren wurde eine umfangreiche hydrologische Studie durchgeführt (Mauerhofer 1978). Die Resultate dieser Arbeit bilden wichtige Unterlagen für unsere hydrologischen Untersuchungen des Oberen Saanetals.

Im Oberen Saanetal befinden sich verschiedene Messstationen, welche Daten über die wichtigsten Klimaparameter registrieren. Diese Stationen gehören den folgenden Anstalten: Schweizerischer Meteorologischen Anstalt (SMA), Bernische Kraftwerke (BKW) und der Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA). Als wichtigste hydrologische Basisdaten wurden folgende Parameter berücksichtigt.

- Niederschlag N in mm/Jahr
- Verdunstung V in mm/Jahr
- Oberirdischer Abfluss A in m<sup>3</sup>/s

Drei Abflussmesstellen und drei Niederschlagsmessstationen standen zur Verfügung (Tab. 5.1)

Tabelle 5.1 Hydrologische Messstationen im Untersuchungsgebiet Oberes Saanetal

	Koordinaten	Code	Höhe [m ü.M.]	WEA Nr.	Betreuung	Datenart
<b>Niederschlag</b>						
Gstaad Grund	587070/142970	SMA5588	1085	-	SMA	N, T...
Lauenen	590910/141700	SMA5570	1250	-	SMA	N
Innergsteig	587680/136130	SMA5560	1195	-	SMA	N
<b>Abfluss</b>						
Saane	585800/148300	AO12	1004	585/148.5	WEA	Q, T
Saane	587500/136250	-	Ca.1200	-	BKW	Q
Louibach	589115/146130	AO11	1346	589/146.3	WEA	Q, T

Bemerkung : Q=Abfluss, T=Temperatur und N=Niederschlag

## 5.2 Niederschlag

Die vorhandenen Niederschlagsmessstellen liefern kontinuierliche Daten über die täglichen Niederschlagsmengen, sowie Temperaturen und andere Klimaangaben. Die Untersuchungsperiode kann als niederschlagsreich betrachtet werden. Im allgemeinen liegt die jährliche Niederschlagsmenge der Untersuchungsperiode etwa 20% höher als das langjährige Mittel. Im Frühling 1999 wurden sogar Rekordwerte registriert (Tab. 5.2).

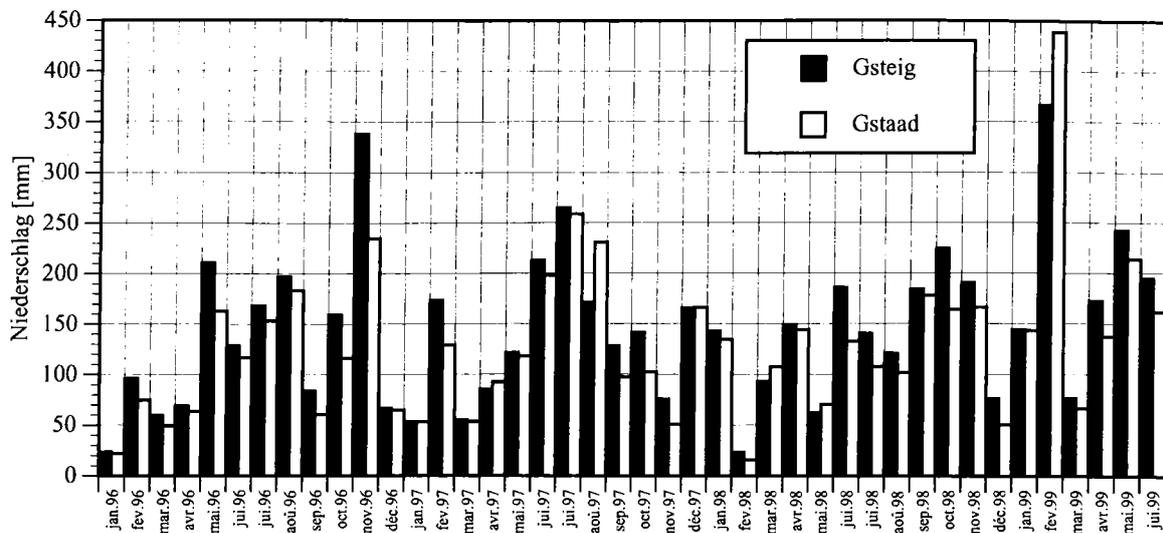
Tabelle 5.2 Jährliche Niederschlagsmengen der SMA Stationen im Oberen Saanetal,  
\* bedeutet nur Monate Januar 1999 bis Juni 1999

	Niederschlag [mm]		
	Gsteig (SMA5560)	Lauenen (SMA5570)	Gstaad (SMA5588)
<b>WEA-Studie</b>			
1996	1600.7	1300.8	1302.6
1997	1648.5	1421.2	1550.8
1998	1593.7	1200.5	1373.2
1999	1198.0*	1005.3*	1161.9*
1996-1998	1614.3	1307.5	1408.9
<b>Mauerhofer (1980)</b>			
1973-1977	1479.0	1376.0	1435.0
<b>Langjähriges Mittel</b>			
1901-1960	1333.0	1301.0	1249.0

Die Verteilung der Niederschläge verändert sich im Einzugsgebiet sehr stark. Aus der Tabelle 5.2 ist ersichtlich, dass die höher gelegenen Teile mehr Niederschlag erhalten. Das Haupttal (Saanetal) erhält gleichmässige Niederschläge auf beiden Hängen. Gegen Süden nehmen die Niederschlagsmengen zu (Mauerhofer 1978). Als mittlere Niederschlagsmenge im ganzen Einzugsgebiet der Saane kann mit einem ziemlich hohen Wert gerechnet werden. Für unsere Berechnungen haben wir einen Wert von 1400 mm/Jahr angenommen.

Die Niederschlagsspitzen fallen im Spätfrühling und in den Sommermonaten (Fig. 5.1). Die Periode Mai bis September ist die normalerweise niederschlagsreichste Periode im Jahr. Das Halbjahr 1999 gilt als Sonderfall mit Extremwerten im Februar. Eine zweite Niederschlagsspitze findet im Spätherbst statt. Ihre Intensität variiert vom Jahr zu Jahr.

Figur 5.1 Monatliche Niederschlagsmengen bei den zwei SMA Stationen Innergsteig und Grund bei Gstaad



### 5.3 Verdunstung

Direkte Angaben über die aktuelle Verdunstung im Oberen Saanetal sind keine vorhanden. Gemäss dem hydrologischen Atlas der Schweiz befindet sich die mittlere jährliche aktuelle Verdunstungsrate (1973-1992) im Oberen Saanetal zwischen 400 und 500 mm (Blatt Nr. 4.1). Dies widerspiegelt die Verhältnisse beim Haupttal der Saane, sowie dessen Seitenhänge ziemlich gut. Ein Wert von 450 mm/Jahr kann als gute Abschätzung der mittleren jährlichen lokalen Verdunstungsrate angenommen werden. In diesem Grundlagenbericht haben wir bewusst auf kompliziertere Berechnungen der Verdunstung verzichtet, da wir zu wenig Angaben über die lokalen Verhältnisse beziehen.

### 5.4 Abfluss

Den Abfluss werden wir in zwei Abschnitten untersuchen. Einerseits geht es um die Saane, andererseits um ihre Zuflüsse. An den wichtigsten Zuflüssen gibt es keine kontinuierlich funktionierenden Abflussmessstellen. Nur am Louibach ist vom WEA eine Messstelle eingerichtet worden. Um Angaben über die Abflussmengen der anderen, wichtigen Zuflüsse machen zu können, haben wir 1997 eine Messkampagne mit der Abteilung Hydrometrie des WEA organisiert. Die Resultate dieser Messungen sind in der Tabelle 5.3 dargestellt. Aus diesen Angaben lässt sich feststellen, dass die Seitenbäche ohne den Louibach, ca. 1/3 des Gesamtabflusses der Saane bei Saanen entsprechen. Der Louibach alleine entspricht ebenfalls etwa 1/3. Die restliche Menge ist der „Ursaane“ (Innergsteig) und dem Exfiltrationsvorgänge zurückzuführen.

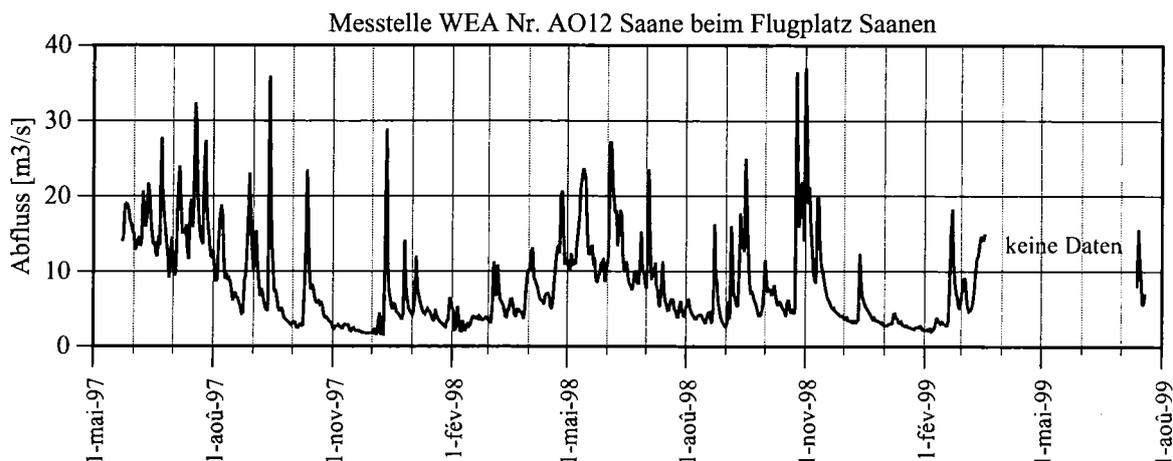
Tabelle 5.3 Abflussmessungen an den wichtigsten Seitenzuflüssen der Saane am 7.10.1997 (Tagesmittelwerte), Angaben mit \* entsprechen einer Extrapolation

Zufluss	Q [m3/s] am 7/10/97	Q [m3/s] Mittel 96/97
Reuschbach	0.35	-
Tschärzibach	0.18	-
Meielsgrundbach	0.10	-
Turbach	0.23	-
Chouflisbach	0.04	-
Chalberhöribach	0.10	-
Louibach	1.06	2.65
Saane b. Gsteig	0.9	1.34
Saane b. Saanen	2.95	8.38

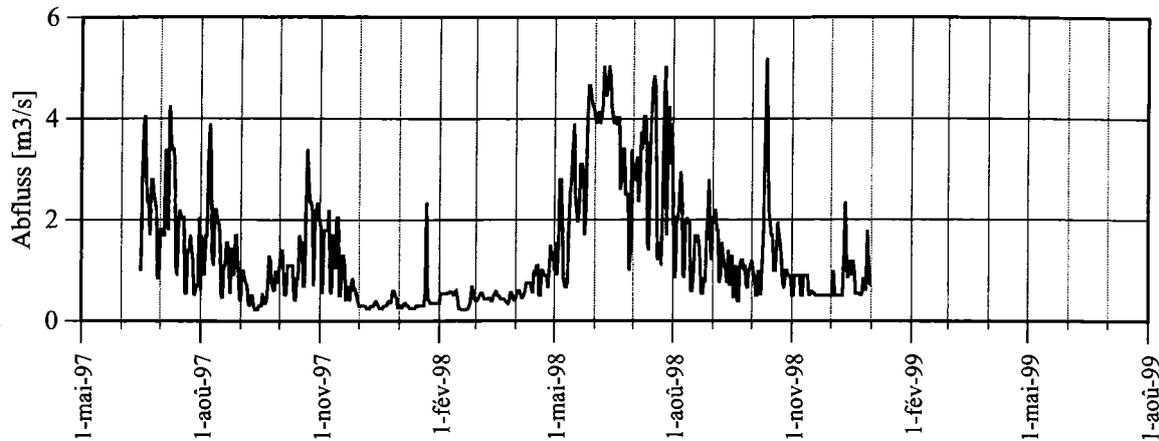
Aus dieser Tabelle ist klar ersichtlich, dass der Louibach der wichtigste Seitenbach ist. Er führt sogar mehr Wasser als die Saane selbst flussaufwärts bei Innergsteig. Der Reuschbach ist der zweitwichtigste Zufluss. Er ist, zusammen mit dem Saalibach (östlich von Gsteig), für den hohen Sulfat-Gehalt der Saane verantwortlich. Am 7.10.1997 war das Wetter trocken und die Messungen entsprechen kleinen Abflusswerten.

Der Abfluss der Saane konnte an zwei Stellen gemessen werden, die ziemlich ideal geortet waren. Die BKW-Messstelle befindet sich flussaufwärts des Untersuchungsgebietes. Diejenige des WEA befindet sich flussabwärts des Untersuchungsgebietes. Die jährlichen Ganglinien sind auf der Figuren 5.2 und 5.3 dargestellt.

Figur 5.2 Jährliche Ganglinien der Saane und beim Flugplatz Saanen



Figur 5.3 Jährliche Ganglinien der Saane beim Kraftwerk Sanetsch in Innergsteig



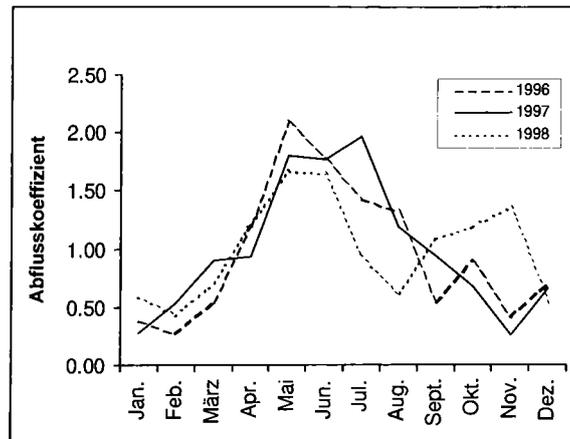
Die Zunahme des Abflusses zwischen Innergsteig und dem Flugplatz Saanen ist offensichtlich. Dies ist auf die seitlichen Zuflüsse der Saane, sowie und auf die Exfiltrationprozesse zurückzuführen. Auf eine Abschätzung der zugehörigen Anteile haben wir verzichtet, da wir zu wenig Kenntnisse über das einzige Teileinzugsgebiet zur Verfügung haben.

Die jahreszeitlichen Schwankungen lassen sich aus den bestehenden Daten deutlich erkennen. Die Spitzenabflüsse finden während den Monaten Mai, Juni und Juli statt. Von August bis Oktober-November folgt im allgemeinen eine Niedrigwasser Periode. Diese wird von einer kleineren Abflusserhöhung im November-Dezember gefolgt. Im Winter geht der Abfluss wieder bis in den Frühling zurück. Während der Untersuchungszeit wurden die tiefsten Werte im Herbst und im Februar registriert.

Kleine Abflussspitzen lassen sich mit der geringen Durchlässigkeit der im Einzugsgebiet überwiegend vorhandenen Flyschgesteinen erklären. Bei solchen Gesteinsarten wird wenig Niederschlagsanteil im Fels direkt versickern. Im Gegenteil, dieses Wasser wird schnell ins Gewässernetz abfließen (sog. Runoff) und die spezifischen Abflussspitzen bilden. In Zonen mit Evaporiten werden sich diese Verhältnisse ändern, und das Wasser wird in den Fels infiltrieren, um später mit gelöstem Sulfat angereichert, ins Talgrundwasser überzutreten.

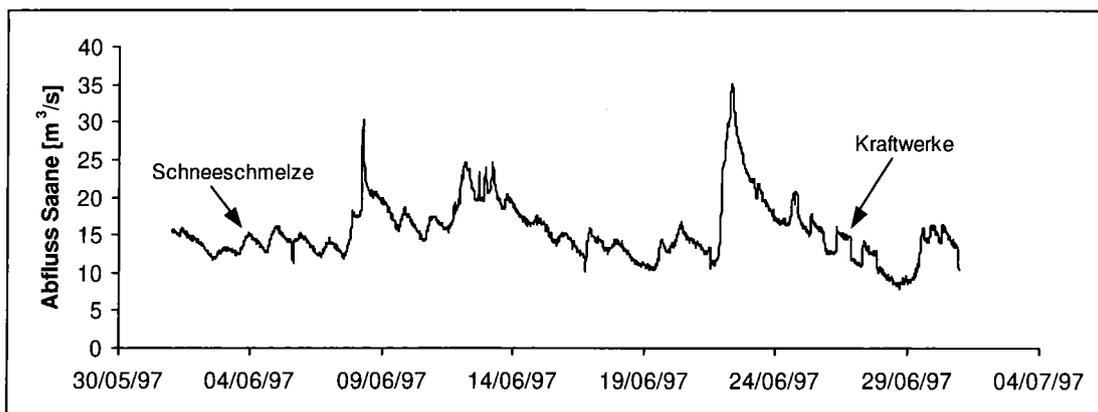
Der Abfluss der Saane wird stark von der Schneeschmelze beeinflusst (Zunahme von Mai-Juli). Dies widerspiegelt sich in den Abflusskoeffizientendarstellung (Fig. 5.4). Die erste grosse Spitze wird durch die Schneeschmelze verursacht. Die zweite, kleinere, hat ihre Ursache in spätherbstlichen Gewittern. Die Saane ist ein typischer präalpiner nivo-pluvialer Fluss. Grosse Variationen des Abflusses von Jahr zu Jahr sind zu erwarten.

Figur 5.4 Abflusskoeffizienten nach Pardé (LHG 1992) für die Saane in Saanen



Betrachtet man die Tagesganglinien (Figur 5.5), wird man oft kleinere Spitzen gegen den Abend beobachten. Diese widerspiegeln den täglichen Beitrag der Schneeschmelze (Mauerhofer 1978). Weitere spezifische Spitzen des Abflusses können aus den täglichen Messwerten identifiziert werden, z. B. die plötzliche Veränderung des Verlaufs der Ganglinie infolge des Ein- oder Ausschaltens der Kraftwerkanlagen in Gsteig. Diese kleineren Schwankungen lassen sich aber in der Regel im Grundwasser nur ganz schwach erkennen.

Figur 5.5 Detaillierte Angaben über die Ganglinien der Saane beim Flugplatz Saanen im Juni 1997



Es ist noch zu bemerken, dass die im hydrologischen Atlas der Schweiz gegebenen Werte, für den  $Q_{347}$  Abfluss von  $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$  während der Untersuchungsperiode nicht vorkamen. Alle Abflusswerte waren stets höher.

## 6 Grundwasserströmung

### 6.1 Allgemeines

Eine Grundwasserbilanz enthält mehrere Angaben, die aus der Überwachung des Grundwasserleiters selbst und seiner seitlichen ober- sowie unterirdischen Zuflüsse entnommen werden. Durch die Bearbeitung der verschiedenen Grundwasserbilanzierungs-komponenten kann man auf die Grundwasserzu- und wegflüsse schliessen. Die Bilanzrechnungen sind jedoch nur als grobe Schätzungen, im Sinne einer qualitativ-quantitativen Übersicht der ablaufenden Prozesse zu werten.

In der Natur wird der Grundwasserleiter meistens durch direkte Versickerung der Niederschläge, durch Infiltration aus einem Fluss oder durch Seitenzuflüsse (oberirdisch, sowie unterirdisch) gespeisen. Die Abflüsse finden ebenfalls entlang des Flusses statt, der als natürlicher Vorfluter wirkt. Viel Grundwasser wird aber auch durch kleine Grundwasserströme direkt aus dem Boden weggeführt. Im oberen Saanetal sind die natürlichen Verhältnisse etwas verändert, dies hauptsächlich im Bereich des Flugplatzes Saanen. Die Dynamik der oben genannten verschiedenen Wechselwirkungen werden durch die Grundwasserganglinien registriert. Als Grundwasser-Wegflüsse zählen auch die künstlichen Entnahmemengen.

### 6.2 Grundwasserspiegelschwankungen

Um Grundwasserspiegelschwankungen zu messen, standen 10 Messstationen zur Verfügung (Tab. 6.1). Einige Stationen wurden mit digitalen Dataloggern ausgerüstet. Diese Geräte erlauben kontinuierliche Messungen des Grundwasserspiegels und der Wassertemperatur. Die anderen Messstationen wurden mit Schreibpegeln ausgerüstet und anschliessend digitalisiert.

Innerhalb der Untersuchungsperiode musste die Messstelle Gsteig Bode (WEA Nr. 586/137.994) abgebaut werden, da es kontinuierliche künstliche Absenkungen des Grundwasserspiegels infolge der Inbetriebnahme einer Wasserpumpe gab, wodurch die Registrierung der hohen Grundwasserstände systematisch gestört wurden.

Die Ganglinien sind im Anhang dieses Berichtes enthalten (Anhang 6 bis 8). Ihre Auswertung wurde systematisch im Zusammenhang mit den Niederschlagswerten und den Abflussmessungen der Saane beim Flugplatz Saanen sowie den Lufttemperaturen analysiert. Ganz deutlich treten bedeutende Grundwasserspiegelschwankungen in Erscheinung. Die Amplituden der Schwankungen ( $Z_{\max} - Z_{\min}$ ) sind im allgemeinen gross, zwischen 1 und 4 Meter (Tab. 6.2).

Tabelle 6.1 Grundwasserspiegel Messstationen

Code	Messstelle	Koordinaten	Höhe OKT [m ü.M.]	Limni WEA Nr.	Betreuung	Datenart
KB1	ARA-Nord	584050/148280	990.66	584/148.990	WEA	GWS
KB3	ARA-Süd	584050/148240	990.69	584/148.991	WEA	GWS
SB1	Fallersmatte	585400/148530	1002.46	585/148.995	WEA	GWS, T
FB3	Chäppeli	586830/148330	1015.50	Saanen	Gemeinde	GWS
FB13	Umfahrung-Ost	587870/146860	1037.79	587/146.993	WEA	GWS
FB14	Umfahrung-West	587860/146820	1037.77	587/146.997	WEA	GWS, T
SB5	Matte	587860/145510	1048.81	587/145.992	WEA	GWS
SB6	Moosfang	587960/145380	1051.55	587/145.998	WEA	GWS, T
SB11	Grund	587150/143310	1076.48	587/143.996	WEA	GWS, T
SB12	Gsteig Bode*	586880/137530	1171.87	586/137.994	WEA	GWS

Bemerkung : GWS=Grundwasserspiegel und T=Temperatur \*=aus technischen Gründen im Laufe der Untersuchung aufgelassen

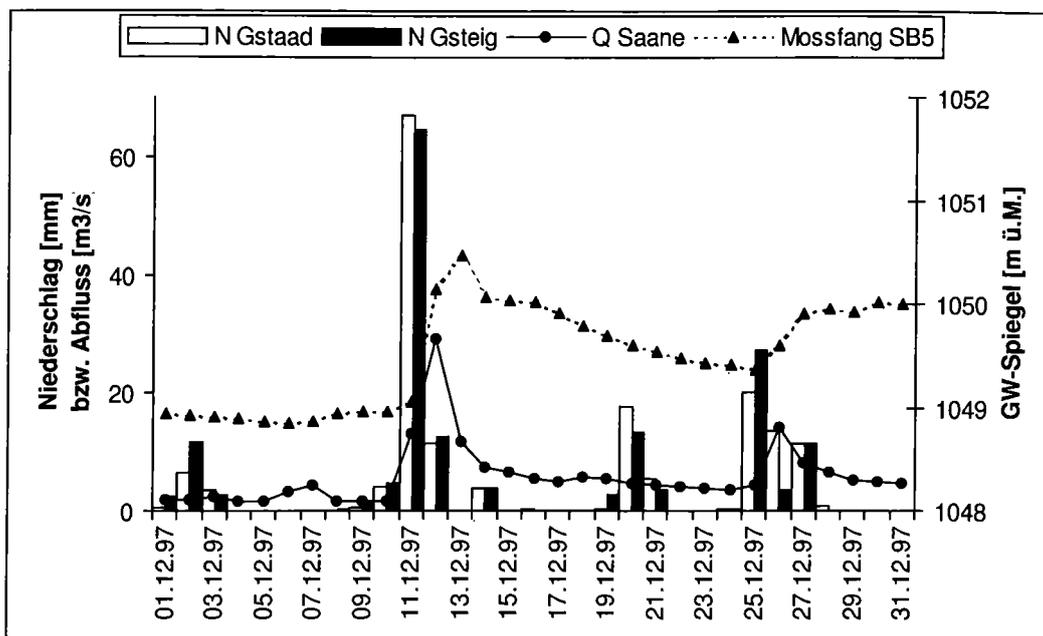
Tabelle 6.2 Grundwasserspiegelschwankungen, mittlere Flurabstände und Amplituden für das Jahr 1998

Code	GW-Spiegel 1998 [m ü.M.]			Amplitude	Flurabstand	Sohle Saane*
	Max.	Min.	Mittel	Mittel [m]	Mittel [m]	[m ü.M.]
KB1	989.08	988.29	988.49	0.8	2.17	987.1
KB3	989.31	988.64	988.64	0.67	2.05	987.1
SB1	999.96	999.37	999.48	0.59	2.98	1000.4
FB3	1014.77	1013.8	1014.10	0.97	1.4	1010
FB13	1033.64	1032.15	1032.73	1.49	5.06	1032.45
FB14	1033.79	1032.43	1032.93	1.36	4.84	1032.45
SB5	1047.64	1046.52	1046.91	1.12	1.9	Ca. 1048
SB6	1050.53	1048.68	1049.28	1.84	2.27	Ca. 1048
SB11	1075.69	1071.67	1073.18	4.02	3.6	Ca. 1076

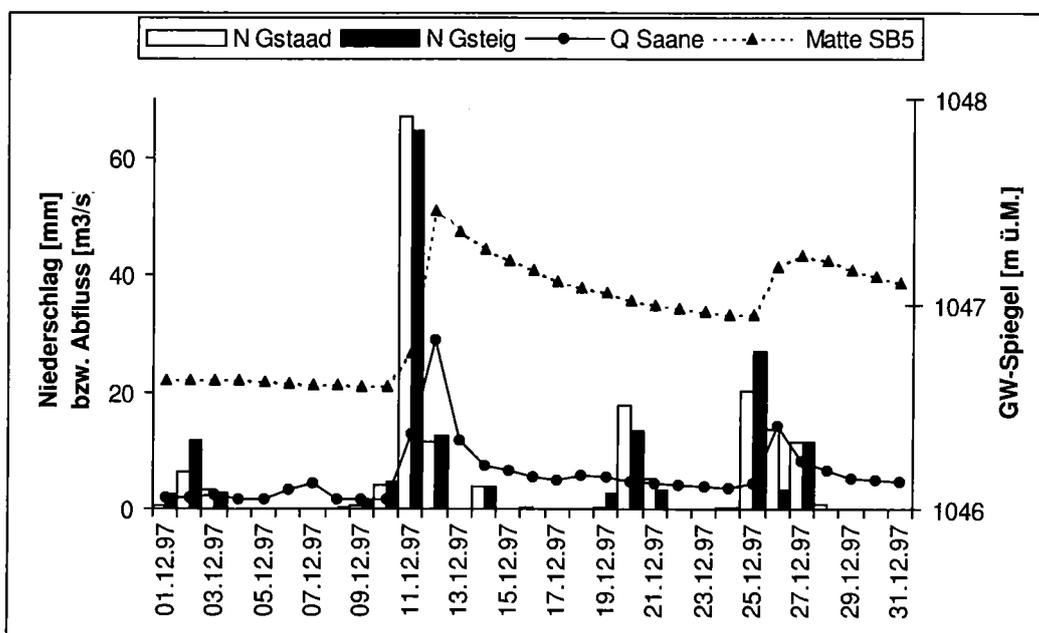
\* senkrecht zum GW-Messpunkt, gemäss Kissling und Zbinden (1964 und 1984)

Die Analyse der Ganglinien zeigt interessante Beziehungen bezüglich der In- und Exfiltrationsverhältnisse sowie über die Grundwasserneubildung. Aus einer Detailaufnahme von zwei typischen Ganglinien zeigt sich sofort wie gross und bedeutend die direkte Grundwasserneubildung aus den Niederschlägen ist, in den Zonen wo hauptsächlich Exfiltrationsbedingungen herrschen (Fig. 6.1). Man stellt eine kleine Verzögerung in der Zeit fest, was auf die Versickerungszeit zurückzuführen sein dürfte.

Figur 6.1 Detailaufnahme einer Grundwasserganglinie (Dezember 1997) für die Exfiltrationsgebiete



Figur 6.2 Detailaufnahme einer Grundwasserganglinie (Dezember 1997) für die Infiltrationsgebiete



In den Infiltrationsgebieten sind die Verhältnisse sehr ähnlich und es ist schwierig zu ermitteln wieviel Grundwasserneubildung direkt aus der Saane stammt (Fig. 6.2). Dort decken sich zeitlich Abfluss- und die Grundwasser-Spiegelspitzen. Quantitative Angaben sind wegen des starken Mineralgehalts des Saanewassers selbst schwer anzugeben, ohne grosse Fehler zu machen. Es ist aber eindeutig, dass im ganzen Grundwasservorkommen eine bedeutende direkte Grundwasserneubildung durch Niederschläge stattfindet.

### **6.3 Wechselwirkungen mit der Saane**

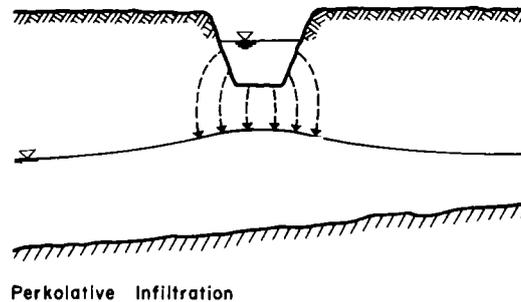
Entlang der Saane finden In- und Exfiltrationsvorgänge statt. Ihre Änderungen hängen von verschiedenen Parametern ab : die Durchlässigkeit des Flussbetts sowie Hoch- und Niederwasserstände im Fluss und im Grundwasser. Die Isohypsen des Grundwassers sind auf der Grundkarte dargestellt (Beilage 1). Die Durchlässigkeit des Flussbetts ist im Rahmen unseres Untersuchgebietes unbekannt, sie kann aber als eher klein angenommen werden (Schmassmann 1972).

#### ***Infiltrationsstrecken***

Eine grobe Abschätzung der Länge der Infiltrationsstrecke kann der Beilage 1, Grundkarte, entnommen werden. Diese Länge entspricht ca. 8 km. Die Arten der Infiltration der Saane ins Grundwasser konnten aber nicht vollständig geklärt werden. Aus der Tabelle 6.2 und den gemessenen Grundwasserhöhen (Ganglinien der Limnigraphen) können aber verschiedene Gebiete ausgeschieden werden. Es existieren Strecken mit perkolativer oder freier Flusswasserinfiltration ins Grundwasser (Fig. 6.3). In diesen Gebieten sind die Grundwasser-Spiegelschwankungen eher gross. Die Zunahme des Wasserstandes im Flussbett führt zu einer stärkeren Versickerung durch die ungesättigte Zone unterhalb des Flusssohle und demzufolge zum Anstieg des Grundwasserspiegels. In solchen Gebieten steigt der Grundwasserspiegel rasch an, da die Grundwasserneubildung auch durch die direkte Versickerung der Niederschläge beeinflusst wird.

Die Grundwasserneubildung erfolgt an solchen Stellen natürlich aus Flusswasserinfiltration, aber auch aus der direkten Versickerung der Niederschläge. Dies widerspiegelt die hydraulische Zufuhr der Infiltration. Die hohen Grundwasserstände sind mit hohen Abflüssen (Wasserstände) der Saane verknüpft. Typische Strecken sind diejenigen von Innergsteig, Feutersoey und Grund bei Gstaad (SB11/Tab. 6.2, SB5/Tab. 6.2).

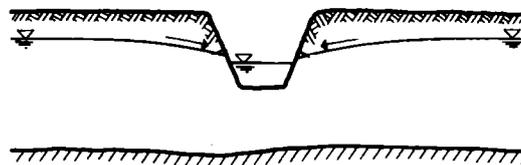
Figur 6.3 Wechselwirkung zwischen der Saane und dem Grundwasser in perkolative Infiltrationsgebieten (aus Blau & al. 1984)



### **Exfiltrationsstrecken**

Exfiltrationsstrecken entsprechen Bereichen wo Grundwasseraufstösse in die Saanevorkommen (Fig. 6.4). Dort sind die Grundwasser-Spiegelschwankungen hauptsächlich von der direkten Grundwasserneubildung (Niederschläge) abhängig.

Figur 6.4 Prinzipskizze der Exfiltrationsverhältnisse (aus Blau & al. 1984, modifiziert)

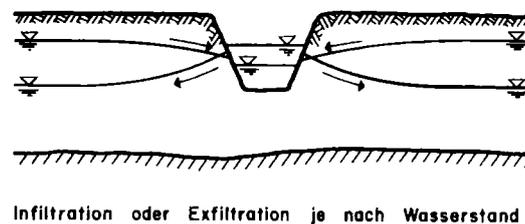


Diese Bereiche sind vor allem an Orten zu finden, wo das Grundwasser gezwungen wird auszutreten. Ganz typisch ist die Zone von Gsteig Bode (SB12/Tab. 6.1), wo im Norden undurchlässige Rutschmassen eine natürliche Grundwassersperre bilden. Beim Felsriegel von Le Vanel, westlich von Saanen steigt der Fels bis zur Geländeoberfläche auf. Dadurch wird das Grundwasser zur Exfiltration gezwungen (KB1/Tab. 6.2, KB3/Tab.6.2). Zu den Exfiltrationsstrecken gehört auch der SB1 (Tab. 6.2). Dort sind die Verhältnisse vollständig durch die grossen, flächendeckenden Drainageanlagen des Flugplatzes beeinflusst. Im Endeffekt existieren keine direkten hydraulischen Zusammenhänge zwischen SB1 (Tab. 6.2) und der Saane.

## Übergangsbereiche

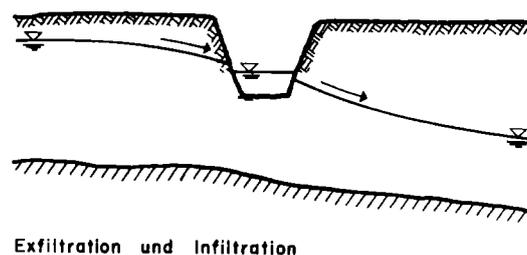
Neben den In- und Exfiltrationsbereichen sind Übergangszonen vorhanden. Dort können sich die Beziehungen zwischen der Saane und dem Grundwasser im Verlauf der Zeit ändern (Fig. 6.5). Es kommt sogar vor, dass an einem Flussufer Infiltration, am andern aber Exfiltration vorherrscht (Fig. 6.6). Diese Zonen sind jedoch schwierig zu erkennen. Kombinationen zwischen beider kommen auch vor.

Figur 6.5 Prinzipskizze von wechselnden Beziehungen zwischen der Saane und dem Grundwasser (aus Blau & al. 1984)



Ein solcher Bereich ist bei Gschwänd zu erkennen (FB13/Tab. 6.2 und FB14/Tab. 6.2). Dort sind die Grundwasserstände bei Niederwasser tiefer als die Sohle der Saane. Bei Hochwasser steigen die Grundwasserstände höher als der Wasserspiegel der Saane.

Figur 6.6 Prinzipskizze von möglichen kombinierten Beziehungen zwischen Saane und Grundwasser (aus Blau & al. 1984)



Im Oberen Saanetal werden solche Verhältnisse im Bereich Gstaad Matte angetroffen. Dort (SB5/Tab. 6.2 und SB6/Tab. 6.2) sind die Grundwasserspiegelschwankungen eher gross wie bei den typischen Infiltrationszonen. Andererseits liegen die Grundwasserstände bei Moosfang (SB6/Tab. 6.2) ständig höher als der Wasserspiegel der Saane.

Dies ist auch durch den Unterschied im Sulfatgehalt feststellbar (Kap. 7). Zusammenfassend können aus den oben erwähnten Phänomenen folgende Haupttendenzen der Grundwasserspiegelschwankungen in Raum und Zeit abgeleitet werden:

- Die grossen Spiegelschwankungen finden in Infiltrationsgebieten statt (perkolative Infiltration, direkte Infiltration sowie Übergangsbereiche) : SB11, SB5, SB6, FB13 und FB14 (alle Tab. 6.2).
- Exfiltrationsgebiete sowie stark drainierte Zonen zeigen viel geringere Schwankungen : KB1, KB3, SB1 und FB3 (alle Tab. 6.1).

#### **6.4 Andere Exfiltrationsformen aus dem Grundwasserleiter**

Direkte Grundwasseraufstösse aus dem gesättigten Schotterkörper wurden an 3 Stellen beobachtet. Im Becken von Gsteig gibt es zahlreiche kleine Bäche, die Grundwasser führen (WEA Nr. 587/136.2, 3, 4, 5 und 6, WEA Nr. 587/137.2, 3, 4 und 6). Diese befinden sich genau an der Grenze zwischen den Alluvialböden und den Schuttkegeln des Reuschbaches.

Bei Feutersoey konnten wir einen direkten Grundwasseraufstoss bei der Halten Brücke beobachten (WEA Nr. 587/140.7). Dieser Punkt kann jedoch nur bei niedrigem Wasserstand der Saane gesehen werden, nicht aber bei Hochwasser.

Im Becken von Grund fliesst der Stillbach. Entlang dieses Bach finden ebenfalls In- und Exfiltrationsvorgänge statt. Der Stillbach entspringt in einem Hang östlich der Saane (bei Klösterli, Koord. 587480/142850). Von dort fliesst er durch Alluvialboden, wo er hauptsächlich ins Grundwasserleiter infiltriert. Weiter talabwärts können sich diese Verhältnisse sehr wahrscheinlich umkehren und Wasser exfiltriert in den Bach.

Im grossen Becken von Saanen-Gstaad wurden früher grosse Grundwasserauftritte im Bereich vom heutigen Flugplatz beobachtet (Mauerhofer 1978). Ab 1942 durch den Bau der Flugplatzanlagen wurden die natürlichen Grundwasserverhältnisse vollständig verändert. Die neuen Entwässerungen (Kissling 1941) führten aufstossendes Grundwasser, mit etwas Oberflächenwasser in einen künstlichen Bach, der noch heute am westlichen Ende des Flugplatzes zu sehen ist.

## 6.5 Grundwasserneubildung

Das gesamte Einzugsgebiet der Saane ist sehr gross (221 km<sup>2</sup>). Um die Grundwasserneubildung zu berechnen, müssen verschiedene Grössen berechnet werden. Zuerst werden wir die direkte Grundwasserneubildung betrachten. Eine zweite Art der Grundwasserneubildung stellen die Infiltrationsstrecken der Saane dar. Endlich kann man noch die Hangwasserzuflüsse (ober- und unterirdisch) betrachten. Diese Neubildungsarten konnten in Rahmen unserer Studie nicht vollständig untersucht werden. Um Grundwasserbilanzen machen zu können sind Vereinfachungen nötig.

### 6.5.1 Direkte Grundwasserneubildung

Die direkte Grundwasserneubildung entspricht der Menge der effektiven Niederschläge, welche tatsächlich ins Grundwasser versickern können. Es ist dabei anzunehmen, dass kein oder ganz wenig oberflächlicher Abfluss (runoff) stattfindet, was durch die Abwesenheit einer undurchlässigen Deckschicht im ganzen Gebiet und die sehr hohe Durchlässigkeit des Grundwasserleiters verursacht wird (Tab. 6.3). Im Oberen Saanetal entspricht diese Neubildung etwa 4.7 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr. Die besiedelten Gebiete und deren bebauten Flächen wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 6.3 Direkte Grundwasserneubildung im Oberen Saanetal (ohne Feutersoey)

Becken	Fläche [m <sup>2</sup> ]	N <sub>eff</sub> [m/Jahr]	GW-Neubildung [Mio. m <sup>3</sup> /Jahr]
Gsteig	666'500	1.2	0.8
Grund	750'670	0.95	0.7
Saanen	3'418'140	0.95	3.2

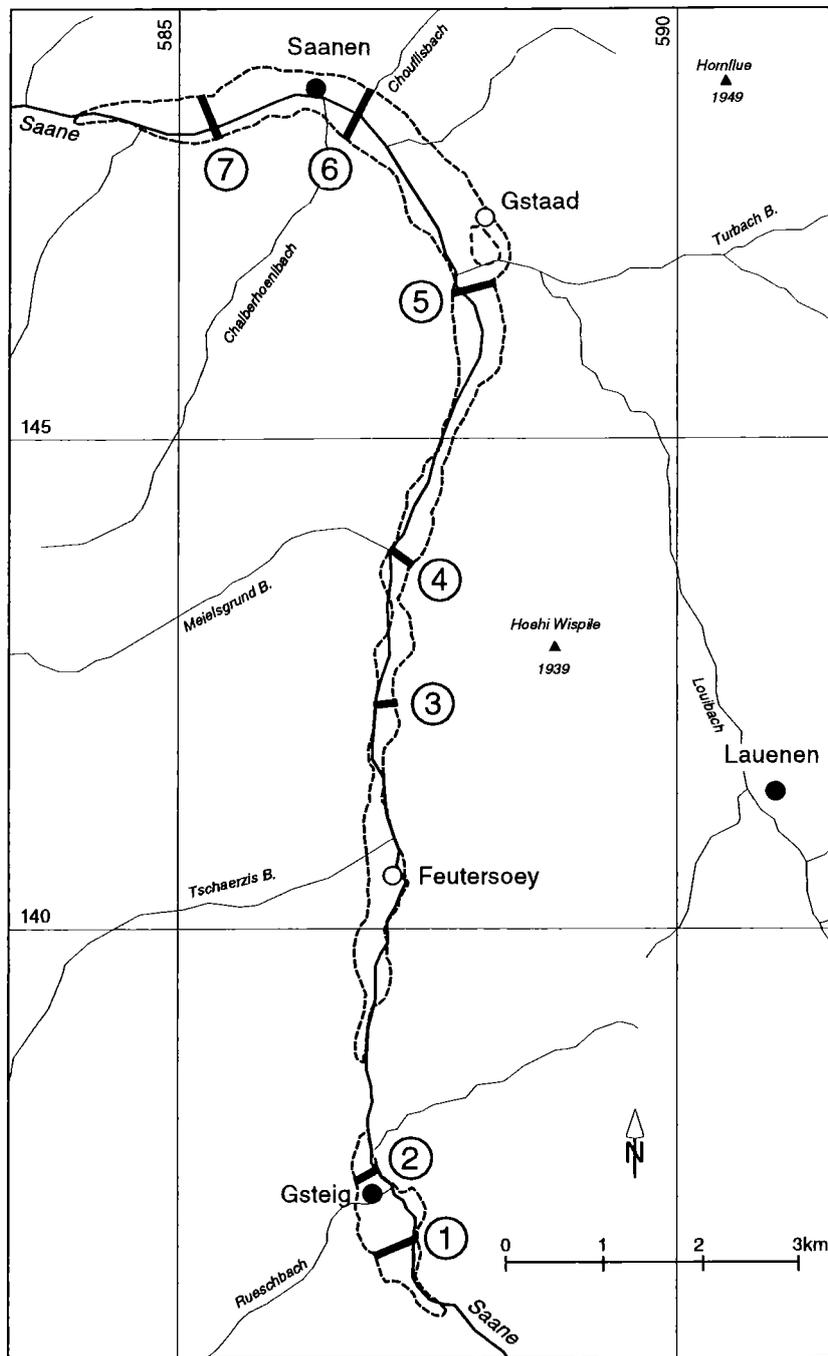
N<sub>eff</sub> entspricht den effektiven Niederschlag : N<sub>eff</sub>=N-V

### 6.5.2 Infiltration aus der Saane

Um Rückschlüsse über die Infiltrationsmengen aus der Saane ziehen zu können, haben wir einige Grundwasser-Bilanzierungsprofile betrachtet. Es standen keine direkten Angaben über die Durchlässigkeit des Flussbettes zur Verfügung. Abflussprofile wurden auch nicht erstellt, da die Saane viel Wasser führt und demzufolge die kleinen Abflusszunahmen wegen der Grundwasserexfiltration nicht zu erkennen wären.

Bilanzierungsprofile wurden entlang der Flussebene gelegt, wo Angaben über die Grundwassermächtigkeit vorhanden waren (Tab. 6.4 und Fig. 6.7).

Figur 6.7 Lage der Bilanzierungsprofile



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

Tabelle 6.4 Grundwasserbilanzierungsprofile bei mittlerer Grundwassermächtigkeit im Oberen Saanetal

Profil	Nr	Gradient i [%]	Durchlässigkeit K [ $\times 10^{-3}$ m/s]	Fläche F [ $m^2$ ]	Durchfluss Q [l/s]	Durchfluss Q [Mio. $m^3$ /Jahr]	Differenz [Mio. $m^3$ /Jahr]
<b>Gsteig</b>							
Innergsteig	1	2.8	1.6	6'750	302	9.5	
Gsteig Bode	2	5	1.6	1'000	80	2.5	-7.0
<b>Grund-Saanen</b>							
Grund Süd	3	6.6	1.3	1'000	85	2.7	
Grund Post	4	2.8	3.7	1'000	103	3.3	0.6
Hallenbad	5	2.5	1	6'000	150	4.7	1.4
Chäppeli	6	2	2.5	10'000	500	15.8	11.1
Flugplatz	7	1.5	2.8	7'500	315	9.9	-5.9

Zwischen Grund Süd und Grund Post verläuft die Saane auf einer Strecke von etwa 1'500 m. In diesem Gebiet befindet man sich im völlig undurchlässigen Flyschgestein und die Grundwasserseitenzuflüsse können als vernachlässigbar angenommen werden. Demzufolge ist die starke Grundwasserdurchflusszunahme hauptsächlich der Infiltration und der Versickerung der Niederschläge zuzuschreiben.

Für diesen Abschnitt ergibt sich:

- Direkte Versickerung der Niederschläge:  $290'000 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ m}$  (SMA Grund bei Gstaad) = 0.35 Mio.  $m^3$ /Jahr für die direkte Grundwasserneubildung.
- Der Unterschied  $0.6 - 0.35 = 0.25$  Mio.  $m^3$ /Jahr ergibt 8 l/s für den Infiltrationsbetrag aus der Saane. Anders ausgedrückt: es infiltrieren ca. 5 l pro Sekunde und Kilometer.

In diesem Fall würde auf die Grundwasserströmungszunahme von 18 l/s zwischen Grund Süd und Grund Post 56% für die direkte Neubildung durch einsickernde Niederschlag entfallen. Die restlichen 44% würden auf die Saaneinfiltration zurückzuführen sein. Wird sich dieser Infiltrationsbetrag konstant über die gesamte Infiltrationsstrecken halten, so ergibt dies ca. 40 l/s als Beitrag der Infiltration der Saane auf das ganze Obere Saanetal. Auf der Strecke Chäppeli - Flugplatz (ca. 1'500 m) verkleinert sich der Grundwasserstrom. Dies hauptsächlich infolge einer starken Exfiltration. Wenn wir ähnliche Berechnungen wie bei den Profilen 3 und 4 durchführen ergibt sich: -5.9 Mio.  $m^3$ /Jahr (Zehrmengen Profil 6 bis 7) -  $730'000 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ m}$  (direkte Neubildung) = ca. -6.8 Mio.  $m^3$ /Jahr oder 215 l/s. Dieser Betrag entspricht der gesamten Exfiltration aus dem Grundwasserleiter unter der Annahme, dass keine bedeutende randliche (ober- oder unterirdische) Grundwasserneubildung stattfindet. Umgerechnet auf eine Exfiltrationsrate: 143 l/skm. Zwischen den Profile Grund Post, Hallenbad und Chäppeli sind die Verhältnisse komplex. Deswegen haben wir auf Bilanzrechnungen auf dieser Strecke verzichtet.

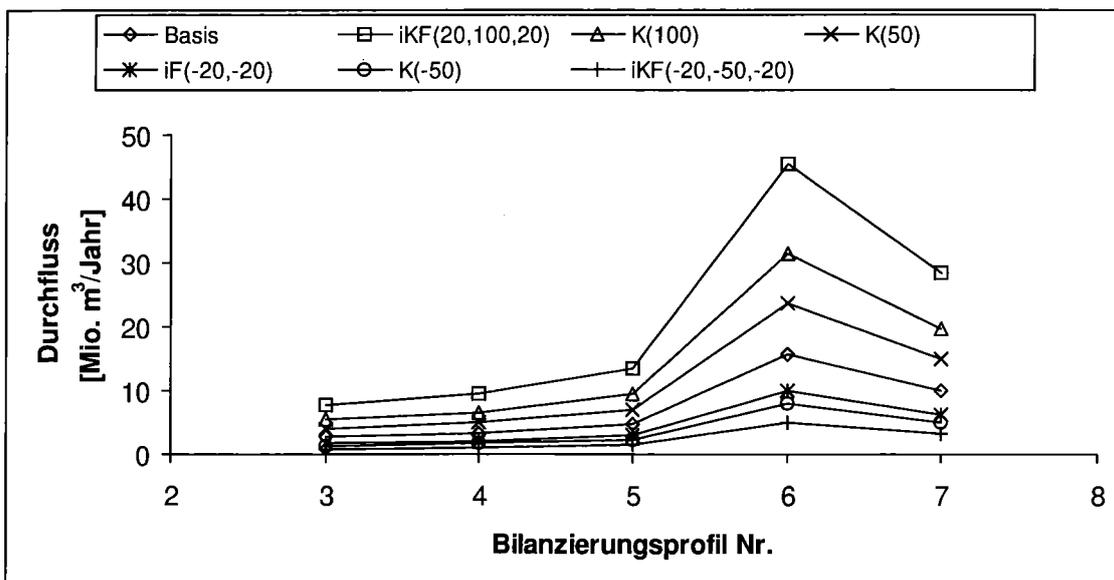
### 6.5.3 Neubildung aus Randzuflüssen

Diese Grundwasserneubildungsart wurde im Laufe unserer Arbeit nicht in Rechnung gezogen. Immerhin kann qualitativ angenommen werden, dass bedeutende Grundwasserzuflüsse unterirdisch aus den Gipszonen (Zone des Cols und Zone Submédiane) in die Grundwasserleiter gelangen. Gesamthaft kann dieser Wert höher als 100 l/s oder 3 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr geschätzt werden.

### 6.5.4 Zusammenfassung der Grundwasserneubildung

Im Oberen Saanetal erfolgt die Grundwasserneubildung hauptsächlich durch die direkte Versickerung der Niederschläge. Die Infiltration der Saane spielt eine wichtige Rolle. Die randlichen Zuflüsse (ober- und unterirdisch) führen aber vermutlich bedeutend mehr Wasser in den Grundwasserleiter als die Saane. Obwohl diese Größenordnungen uns als plausibel erscheinen, müssen solche Bilanzrechnungen mit sehr grosser Vorsicht beurteilt werden, da sie sich auf grobe Abschätzungen stützen. Die Figur 6.8 zeigt wie die Bilanzierungsgrössen sich ändern können wenn man für gewisse Parameter ein bestimmtes Fehlerintervall annimmt.

Figur 6.8 Bilanzierungsprofile mit Parameter-Variationen



i = Gradient der Grundwasserströmung, K = Durchlässigkeit, F = Bilanzierungsfläche (cf Tabelle 6.4)

## **7 Grundwasserchemie**

### **7.1 Allgemeines**

Die Bewertung der Grundwasserqualität und die Erfassung hydrogeologischer Zusammenhänge werden durch Kenntnisse der chemischen Eigenschaften eines Grundwassersystems ermöglicht. Neben den reinen Wasserbilanzen und hydraulischen Wechselwirkungen mit anderen Systemen bilden chemische Reaktionen wichtige Elemente zum Verständnis der allgemeinen Grundwasserströmung.

Die Grundwasserqualität umfasst eine grosse Anzahl von Parametern. Sie können in drei Hauptgruppen eingeteilt werden: 1. Die physikalischen Parameter, meistens in situ gemessen, 2. Die chemische Zusammensetzung der Grundwasserproben, im Labor analysiert und 3. Die bakteriologischen Eigenschaften, ebenfalls im Labor analysiert. Aus der Zusammenfassung dieser Unterlagen konnte die Qualität des Grundwassers ermittelt werden. Qualitätsziele und Toleranzwerte wurden dem Schweizerischen Lebensmittelbuch und den Gewässerschutzverordnungen des Schweizerischen Bundesrates (GSchV 1998) entnommen. Die ausgewählten Messstellen sind in der Tabelle 7.1 ersichtlich.

Um genauere Schlussfolgerungen über die Beziehungen zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser ziehen zu können, wurden auch einige Parameter in einem, in Oberflächengewässern eingebauten Messstellennetz ermittelt (Tab. 7.2).

### **7.2 Physikalische Eigenschaften**

Im Oberen Saanetal wurden während der Untersuchungszeit regelmässig Angaben über wichtige physikalische Parameter aufgenommen.

#### ***Trübung***

Die Trübung ist eine Angabe über suspendierte Partikel im Wasser. Diese Partikel können entweder mineralischer oder organischer Natur sein. Im Oberen Saanetal wurde während der Untersuchungszeit kein trübes Grundwasser angetroffen. Selbst als wir die Pumpversuche in den neuen Bohrungen ausgeführt haben, konnten wir feststellen, dass die Trübung, die am Anfang vorhanden war (suspendierte Partikel im Wasser des Bohrlochs), sehr rasch verschwand. Bezüglich Trübung ist das Grundwasser überall einwandfrei. Trübungsmessungen in TE/F (Trübung Einheiten/Formazin) werden regelmässig am Pumpwerk Chäppeli durchgeführt. Gemäss den Unterlagen (Untersuchungsberichte des Kantonslabor Bern) bleibt die Trübung ständig unter der Qualitätsgrenze von 0.5 TE/F.

Tabelle 7.1 Grundwasser: Analysen-Standorte und Arten der gemessenen Daten. Die \* entsprechen kontinuierlichen Messreihen der Temperatur und Leitfähigkeit (20°C) dank numerischen Registriergeräten

<b>Grundwasserbeschaffenheit Oberes Saanetal: Probeentnahmestellen</b>								
<b>A. Grundwasser</b>								
<b>Filterbrunnen</b>								
Code	Ort	x	y	WEA Nr	Phys. Parameter	Chemie	Bak.	$\delta O^{18}$
FB1	Flugplatz	585400	148210	16	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB2	Festung	585824	148283	17	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB3	Chäppeli	586823	148328	3	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x	x	x
FB4	Mettlen	587305	147476	5	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB7	Eisbahn	588141	147236	11	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB10	Hallenbad	587880	146505	2	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB13	Umf. Ost	587870	146860	13	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
FB14	Umf. West	587860	146820	14	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh *	x		x
<b>Bohrungen mit Piezometer</b>								
Code	Ort	x	y	WEA Nr	Phys. Parameter	Chemie	Bak.	$\delta O^{18}$
KB1	ARA-Nord	584050	148280	8	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
KB3	ARA-Süd	584050	148240	7	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
KB31	Flugplatz99	585540	148280	18	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x	x	x
KB32	Post Grund	587250	143740	6	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x	x	x
KB33	Chlösterli	587090	142300	2	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x	x	x
KB34	Innergsteig	587085	136810	7	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x	x	x
<b>Schacht- und Sodbrunnen</b>								
Code	Ort	x	y	WEA Nr	Phys. Parameter	Chemie	Bak.	$\delta O^{18}$
SB1	Fallersmatte	585400	148530	20	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh *	x		x
SB4	Rütti	587997	145864	7	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
SB5	Matte	587860	145510	8	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
SB6	Moosfang	587960	145380	9	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh *	x		x
SB9	Grund Bode	587599	144366	6	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x
SB11	Grund	587150	143310	5	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh *	x		x
SB12	Gsteig Bode	586880	137530	5	T, L, O <sub>2</sub> , pH, Eh	x		x

Tabelle 7.2 Grundwasser: Analysen-Standorte und Arten der gemessenen Daten. Die \* entsprechen kontinuierlichen Messreihen der Temperatur und Leitfähigkeit (20°C) dank numerischen Registriergeräten

Grundwasserbeschaffenheit Oberes Saanetal :								
Probeentnahmestellen								
B. Oberflächengewässern								
<b>Saane</b>								
Code	Ort	x	y	WEA Nr	Phys. Parameter	Chemie	Bak.	δO <sup>18</sup>
S1	ARA	585040	148340	-	T, L			x
S2	Flugplatz	585776	148276	AO12	T*, L			x
S3	Hallenbad	587890	146437	-	T, L			x
S4	Matte	587950	145450	-	T, L			x
S5	Grund	587168	143340	-	T, L			x
S6	Halten	587257	140764	-	T, L			x
S7	Gsteig Bode	587000	137550	-	T, L			x
S8	Allmi	587676	136163	-	T, L			x
S9	Sanetschbahn	587855	136130	-	T, L			x
<b>Bäche</b>								
Code	Ort	x	y	WEA Nr	Phys. Parameter	Chemie	Bak.	δO <sup>18</sup>
T1	Chalberhöni	586440	148460	-	T, L			x
T2	Chouflisbach	586980	148490	-	T, L			x
T3	Louibach	588062	146733	AO11	T*, L			x
T4	Stillbach	587550	144302	-	T, L			x
T5	Meielsgrund	587090	143860	-	T, L			x
T6	Tschärzibach	586790	140635	-	T, L			x
T7	Saalibach	587280	137613	-	T, L			x
T8	Reuschbach	587130	137314	-	T, L			x

Bemerkung: die Messpunkte wurden Talaufwärts gemessen, d.h. S1, liegt bei der Kantonsgrenze westlich von Saanen und S9 (Tab. 7.2) befindet sich südlich von Gsteig, ganz am Anfang der flachen Talebene. Die Messungen in den Bächen wurden ca. 100 m vor den Einmündungen ins Haupttal durchgeführt.

### **Elektrische Leitfähigkeit**

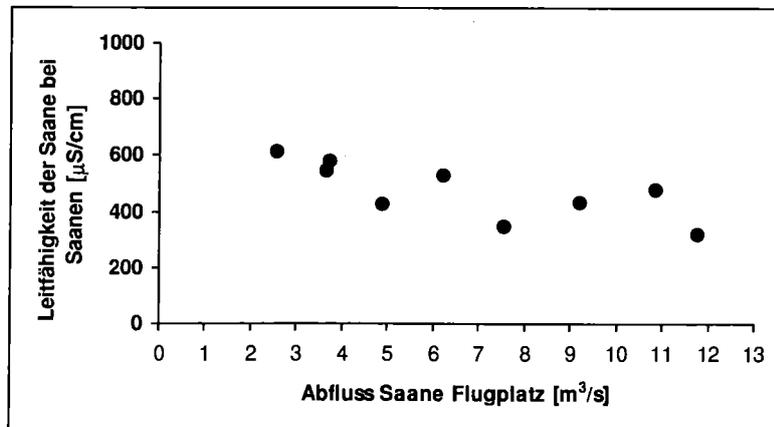
Die elektrische Leitfähigkeit, durch welche der Gehalt an dissoziierten Ionen einer Grundwasserprobe bestimmt werden kann, wurde in situ gemessen. Die Angaben erfolgen in der Einheit  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , da dieser Zahlenwert angenähert dem gelösten Feststoffinhalt in  $\text{mg}/\text{l}$  entspricht (Hölting 1992). Im Oberen Saanetal wurden sehr unterschiedliche Werte gemessen.

Die Schwankungen der Leitfähigkeitswerte widerspiegeln in der Regel Änderungen in der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers. Bemerkenswert sind Verdünnungsphänomene infolge von starker Infiltration ins Grundwasser, sei es aus einem Fluss oder direkt durch Niederschläge. Hangwasserzuflüsse wurden auch identifiziert.

Hydrogeologisch hat man das Obere Saanetal in verschiedene Becken unterteilt. Diese Unterteilung kann sich auch in der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers widerspiegeln. Becken in denen intensive Infiltration von Vorfluterwasser stattfindet, werden von der chemischen Zusammensetzung des Saanewassers stärker beeinflusst. In Gebieten, in denen Exfiltration vorherrscht ist das weniger der Fall. Im Oberen Saanetal wurden zusätzlich, dank der chemischen Analysen, Gebiete mit starken unterirdischen Hangzuflüssen festgestellt (Gipszonen).

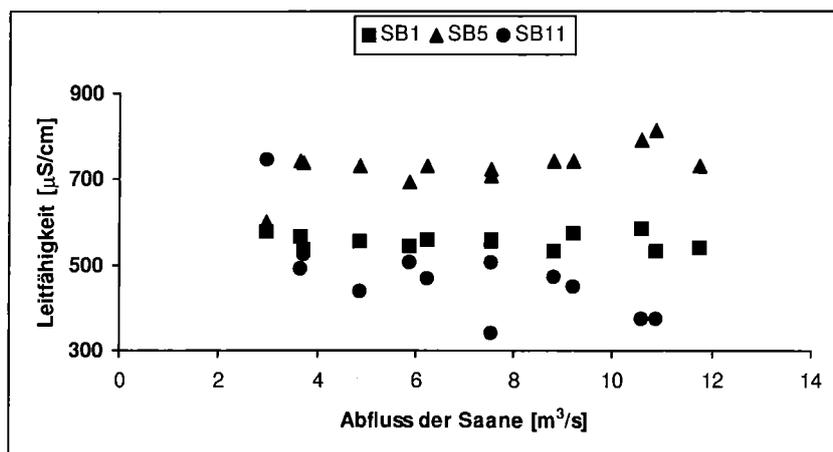
Verdünnungsphänomene dank der Infiltration von Saanewasser konnten schlecht nachgewiesen werden, da das Flusswasser selbst eine sehr hohe Leitfähigkeit aufweist. In den Anhängen 9 bis 21 sind Leitfähigkeitswerte des Grundwassers, der Saane und der wichtigsten Seitenbäche im Verlauf der Untersuchungsperiode dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass das Flusswasser im Durchschnitt sehr hohe Leitfähigkeitswerte, bzw. Sulfatgehalte aufweist. Dies ist auch aus der langjährigen Messungen der hydrographischen Jahrbücher des Kantons Bern ersichtlich. Diese hohen Leitfähigkeitswerte lassen sich mit dem Zufluss von Bächen in die Saane erklären, die aus evaporitenreichen Einzugsgebieten stammen wie der Reuschbach, der Saalibach und der Louibach. Die Saane weist aber auch Verdünnungsphänomene im Frühling bei Zunahme ihres Abflusses infolge der Schneeschmelze (Fig. 7.1).

Figur 7.1 Elektrische Leitfähigkeit des Saanewassers bei Saanen während der Untersuchungsperiode (Periode 7.1997 bis 9.1998)



Im Grundwasser lassen sich Verdünnungsphänomene nicht gut erkennen. Einerseits ist der Grundwasserbereich stark gedämpft und andererseits infiltriert kein schwach mineralisiertes Oberflächenwasser in das Grundwasser. In der Figur 7.2 ist diese Tendenz gut erkennbar. In Bereichen mit starker Infiltration aus der Saane (SB11/Tab. 7.1) kann man ein ähnliches Verhalten wie in der Saane selbst erkennen (Verdünnung mit höheren Abflüssen infolge der Schneeschmelze). Im Gegensatz dazu weisen andere Gebiete keine solche Erscheinungen auf. Dies ist der Fall beim Flugplatz, wo ausschliesslich Exfiltrationsvorgänge stattfinden (SB1/Tab. 7.1). In Zonen mit starker Grundwasserneubildung durch unterirdische Wasserzufuhr aus Evaporitgebieten, lassen sich ebenfalls keine signifikanten Leitfähigkeitsänderungen feststellen. Dies ist besonders der Fall bei SB5/Tab. 7.1 (Gstaad Matte), wo Infiltrationstendenzen von der Saane wohl herrschen, aber der unterirdische Grundwasserzufluss stark mineralisiert ist.

Figur 7.2 Leitfähigkeit des Grundwassers an verschiedenen repräsentativen Stellen (Periode 7.1997 bis 9.1998)



Saisonale Schwankungen der Leitfähigkeit lassen sich demzufolge im Grundwasser im allgemeinen schlecht erkennen (Anhang 9 bis 21 und Tab.7.3). Erst im Spätfrühling und Frühsommer 1999 (Monate Mai und Juni) konnte eine signifikante und deutliche Abnahme der Leitfähigkeit über den ganzen Gebiet festgestellt werden. Dies hauptsächlich als direkte Folge des Abschmelzens der grossen Schneemengen des Winters 98/99. Diese Bedingungen erleichtern quantitative Berechnungen der In- und Exfiltrationsmengen nicht.

Tabelle 7.3 Leitfähigkeitstatistik für die Untersuchungsperiode im Grundwasser. Angaben in [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]

Statistik	FB1	FB3	FB10	FB13	FB14	KB1	KB3	SB1	SB4	SB5	SB6	SB11	SB12
Mittel	450	569	618	468	591	426	415	546	726	706	472	425	651
Max	495	580	686	590	868	561	465	586	807	815	624	526	715
Min	408	560	595	202	422	279	337	491	677	590	306	290	548
Abweichung	34	7	34	118	111	83	29	26	53	64	91	76	36
Anzahl Messungen	10	5	6	14	10	16	15	16	7	17	11	16	17

Die Hangzuflüsse finden am Kontakt von triasischen Evaporiten (Gips, Anhydrit) statt. Diese sind in Gsteig in den ultrahevetischen Decken und in Gstaad Matte – Rütli in der Zone Submédiante vorhanden. Die gemessene elektrische Leitfähigkeit in Grundwassermessstellen dieser Zonen war ständig relativ hoch. Normale Grundwasservorkommen in alluvialen Schottern weisen im allgemeinen Leitfähigkeitswerte zwischen 400 und 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  auf, was einer Gesamtmineralisation von rund 480 mg/l entspricht, mit einem Sulfat Gehalt von ca. 9% (LHG 1992). Im Gegensatz dazu wurden im Oberen Saanetal, insbesondere in den oben genannten Zonen, Sulfatgehalte von mehr als 100 mg/l gemessen, was ständig Leitfähigkeiten von 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und mehr zur Folge hat.

### **Grundwassertemperatur**

Die Grundwassertemperaturen konnten an 4 Stellen dank automatischer Registriergeräte kontinuierlich gemessen werden. Die Resultate sind im Anhang 22 (als Vergleich mit Oberflächengewässer Temperaturen) und 23 dargestellt. Alle Messungen wurden in der heterothermischen Zone vorgenommen. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind deutlich zu erkennen. Die Phasenverschiebung der Maxima und Minima beträgt ca. 1 bis 2 Monate gegenüber den Lufttemperaturen bei Gstaad. Bei den diskreten Messungen (in diesem Bericht nicht vorgestellt) wurde der gleiche Trend festgestellt. Die genauere Lage der Extremwerte variiert in Funktion der Lage des Beobachtungspunkts gegenüber der Saane.

Die Jahresamplitude der Temperaturen beträgt 2 bis 7 Grad. Grundwassertemperaturen in Gebieten mit stärkerer Flusswasserinfiltration weisen grössere Amplituden auf ( $>5^\circ\text{C}$ ). Im Gegensatz dazu konnten kleinere Phasenverschiebungen in Exfiltrationsgebieten festgestellt werden, da an solchen Stellen, die Grundwassertemperatur hauptsächlich von der Bodentemperatur und deren jahreszeitlichen Änderungen abhängig ist. Temperaturganglinien in Gebieten mit starker Infiltration aus der Saane zeigen zusätzlich typische kleinere Schwankungen, die auf tägliche Änderungen der infiltrierenden Wassertemperatur zurückzuführen sind (Grundwasserstation Grund b. Gstaad SB11/Tab. 7.1).

Die abrupte Temperatur-Abnahme im Spätfrühling 1999 bei Moosfang und bei der Umfahrung-West sind sehr wahrscheinlich auf die starke lokale Schneeschmelze zurückzuführen. Die Temperaturenverhältnisse bei Moosfang im November und Dezember 1997 lassen sich unseres Erachtens nur aus technischen Gründen erklären.

### **pH**

Dieser Parameter bestimmt den basischen, bzw. sauren Charakter des Wassers. Er ist wichtig um die Aggressivität des Wassers gegenüber Zement und Metall zu beurteilen. Im Oberen Saanetal wurden pH-Werte immer zwischen 7 und 8 gemessen, was einem normalen Zustand des Grundwasservorkommens entspricht (Matthess 1994).

### **Redox Potential und Sauerstoffsättigung**

Das Redox Potential  $E_h$ , zusammen mit dem Sauerstoffsättigungsgrad (%  $O_2$ ) geben Hinweise auf reduzierende oder oxydierende Verhältnisse im Grundwasserbereich. Im ganzen Untersuchungsbereich wurden keine abnormalen Werte gemessen. Alle Redox Messungen sind grösser als 200 mV, was die Gefahr des Vorhandenseins von stark reduzierendem Grundwasser mit hohen Eisen- und Mangangehalten ausschliessen lässt.

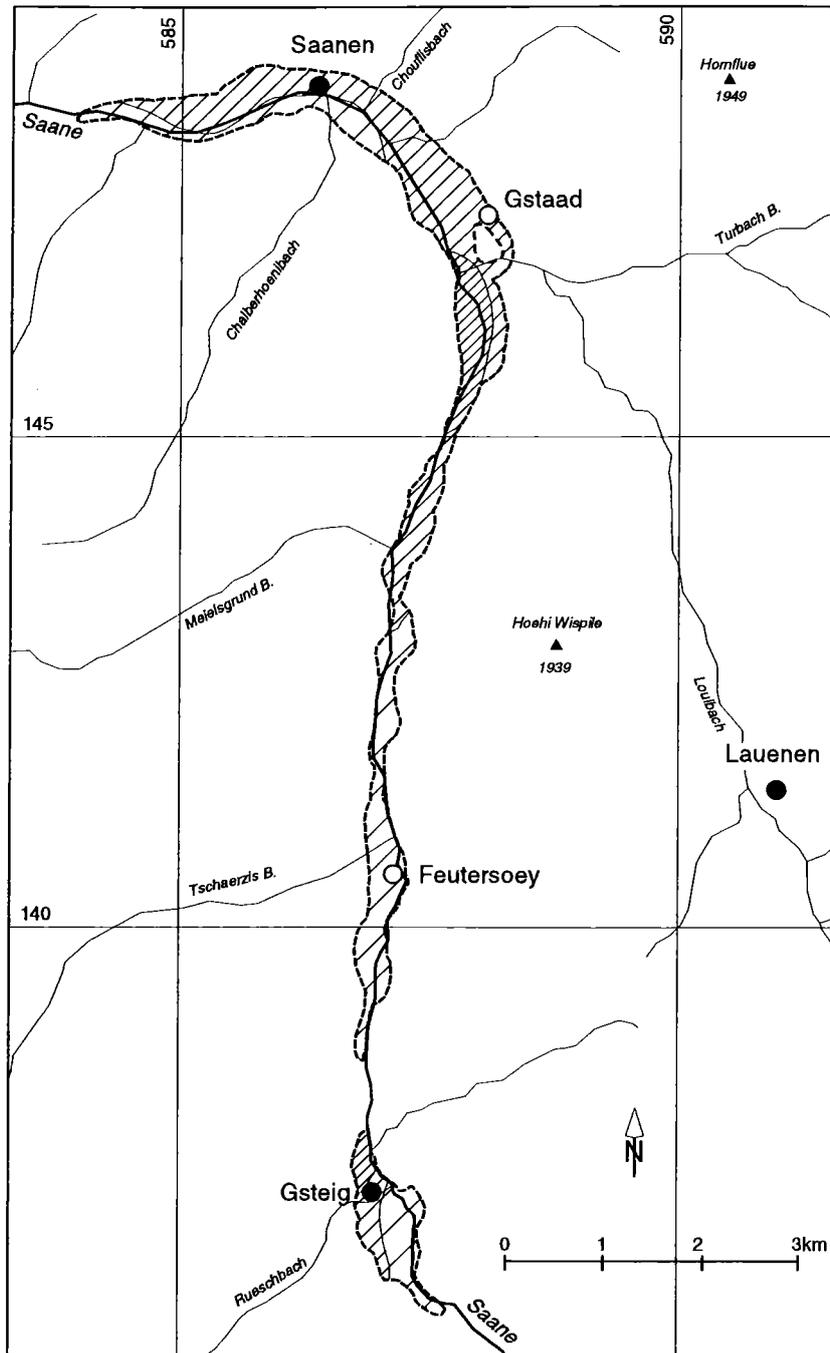
## **7.3 Chemische Eigenschaften**

In Rahmen dieser Studie wurden die chemischen Standardparameter aufgrund von fünf Messkampagnen bestimmt. Die Proben wurden am 2.7.97, 29.9.97, 6.1.98, 6.4.98, 9.4.98 und 30.9.98 entnommen. Die Analysen wurden am Gewässer- und Bodenschutzlabor des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern und beim GEOLEP durchgeführt. Die Resultate sind in der Tabelle 7.4 dargestellt. Zusätzlich hat das GEOLEP in zwei Messkampagnen die Spurenelemente analysiert (ICPMS Messungen).

### **Gesamthärte**

Die Gesamthärte ( $1^\circ F$  = ein französischer Grad = 10 mg  $CaCO_3/l$ ) entspricht dem gesamten Gehalt an Erdalkalien (Ca und Mg) ohne Rücksicht auf ihre Liganden ( $SO_4$  und  $HCO_3$ ). Ein zu hoher Wert kann zum Beispiel zur Beschichtung von Heisswasserleitungen führen. Im Oberen Saanetal wurden ziemlich hohe Werte gemessen (Fig.7.3). Diese Werte sind alle höher als das Qualitätsziel des Schweizerischen Lebensmittelbuches. Sie widerspiegeln den natürlichen geologischen Charakter der ganzen Region (im Einzugsgebiet sind Evaporiten vorhanden). Die Auffüllung der verschiedenen Becken besteht demzufolge vorwiegend aus Kalkgesteinschottermassen. Aus diesem Grund weist das durch diese Schottermassen fliessende Grundwasser einen erhöhten Gehalt an Erdalkalien auf.

Figur 7.3 Gesamthärte am 6.4.1998



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

Gesamthaerte [°f ]

 15 - 25

 25 - 32

 32 - 54

Tabelle 7.4 Resultate der Wasseranalysen Oberes Saanetal

Code	Ort	Datum	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	NO3	HCO3	Gesamthärte	PO4	NO2
			[mg/l]	°f	[mg/l]	[mg/l]							
FB1	Flugplatz	02/07/97	1.3	.74	8.8	75	1	52	.57	208	23.00	<0.03	<0.002
SB1	Fallersmatte	02/07/97	5.6	5	10	107	8.9	43	1.96	322	30.60	<0.03	<0.002
SB11	Grund	02/07/97	1.3	.6	4.9	68	1.3	65	.35	159	19.10	<0.03	<0.002
SB12	Gsteig Bode	02/07/97	2.9	1.2	8.9	138	3.2	198	.72	227	37.90	<0.03	<0.002
SB6	Moosfang	02/07/97	1.47	.9	5	89	.9	25	.7	274	24.70	<0.03	<0.002
SB5	Matte	02/07/97	2.3	1.9	17	146	2.5	210	.78	267	43.30	<0.03	<0.002
KB1	ARA-Nord	02/07/97	3.15	2.8	16.7	94	2.6	47	1.41	312	30.10	<0.03	<0.002
FB13	Umf. Ost	02/07/97	4.3	2.6	7.5	100.6	5.7	77	1.91	250	32.40	<0.03	<0.002
FB14	Umf. West	02/07/97	2.8	1.6	10.6	112	3.2	108	1.13	262	28.35	<0.03	<0.002
FB1	Flugplatz	29/09/97	1.3	.7	10.8	85	1.2	73	.5	233	26.15	<0.005	0.005
SB1	Fallersmatte	29/09/97	5.1	4.7	10.4	110	5.9	39	1.8	365	33.95	0.013	<0.002
SB12	Gsteig Bode	29/09/97	2.6	1.2	9.6	135	1.9	206	.6	235	39.95	<0.005	<0.002
SB6	Moosfang	29/09/97	1.2	1.1	5.5	94	.9	20	.7	295	26.50	<0.005	<0.002
KB1	ARA-Nord	29/09/97	1.8	2.3	15.4	91	1.4	39	1.3	303	29.00	0.016	<0.002
SB5	Matte	29/09/97	2	1.7	17.8	138	1.7	191	.9	303	43.80	<0.005	<0.002
FB13	Umf. Ost	29/09/97	2.5	1.5	10.8	114	2.9	102	1.3	282	33.55	<0.005	<0.002
FB14	Umf. West	29/09/97	4.8	3.2	7.6	99	6.4	74	2	253	28.70	0.008	<0.002
SB4	Rütti	29/09/97	2	2.2	15.5	137	1.8	165	.9	306	41.20	<0.005	<0.002
FB4	Mettlen	29/09/97	3	6.1	15.4	101	3.4	46	1.4	334	31.70	<0.005	<0.002
FB10	Hallenbad	29/09/97	2.2	3.6	13.1	122	3.9	122	1	291	36.20	<0.005	<0.002
FB1	Flugplatz	06/01/98	1.6	1.2	11.3	84	1.12	82	.56	224	-	-	<0.002
SB1	Fallersmatte	06/01/98	6.5	4.9	8.6	103	9.3	26	1.68	343	-	-	0.005
SB11	Grund	06/01/98	3.5	.8	7.7	115	3.22	123	.59	224	-	-	<0.002
SB12	Gsteig Bode	06/01/98	3	1.2	8.5	135	2.47	192	.97	242	-	-	<0.002
KB1	ARA-Nord	06/01/98	1.7	1.8	10.1	85	1.11	22	.86	278	-	-	0.002
SB5	Matte	06/01/98	2.5		17	149	1.51	172	.93	313	-	-	<0.002
FB14	Umf. West	06/01/98	2.3	1.8	10.2	109	3.24	116	2.08	298	-	-	0.006
FB13	Umf. Ost	06/01/98	5	2.8	8.9	125	5.28	115	3.08	266	-	-	<0.002
SB4	Rütti	06/01/98	2.7	2.4	16.2	149	2.29	179	1.18	304	-	-	<0.002
FB10	Hallenbad	06/01/98	2.6	1.5	10.7	121	1.79	118	.84	285	-	-	<0.002
FB3	Chäppeli	06/01/98	2.9	1.5	11.6	113	2.11	121	.94	265	-	-	<0.002
SB1	Fallersmatte	06/04/98	4.8	4.4	9.6	101	6.9	36	1.5	326	30.90	0.014	<0.002
SB4	Rütti	06/04/98	2.4	2.4	16.8	143	2.2	190	.82	285	42.20	0.006	<0.002
SB6	Moosfang	06/04/98	1.4	1.1	6.1	109	1.1	56	.69	302	30.95	<0.005	<0.002
FB13	Umf. Ost	06/04/98	5.8	5.8	8.4	98	4.5	107	1.6	254	31.80	0.007	0.029
FB1	Flugplatz	06/04/98	1.2	.5	11.9	87	1.4	92	.6	220	26.50	<0.005	<0.002
SB5	Matte	06/04/98	2.3	2.2	18.3	133	1.8	208	.8	288	46.25	<0.005	<0.002
KB3	ARA-Süd	06/04/98	1.2	.8	14.4	70	1.2	38	1.2	252	25.15	<0.005	<0.002
FB2	Festung	06/04/98	2.5	4.5	3.3	61	1.9	25	.35	194	18.25	<0.005	<0.002
FB10	Hallenbad	06/04/98	2.3	2.1	12.9	99	1.9	129	.82	286	37.25	<0.005	<0.002
KB1	ARA-Nord	06/04/98	.6	.7	2.9	70	.61	5	.81	236	20.10	0.062	0.003
SB11	Grund	06/04/98	2.5	.6	6.8	92	1.7	116	.4	180	26.85	0.005	<0.002
SB9	Grund_Jungen	06/04/98	6	3.1	3.3	82	9.7	7	.5	320	27.05	0.006	<0.002
SB12	Gsteig Bode	06/04/98	3	1.9	9.3	132	2.7	207	.58	225	40.25	<0.005	<0.002
SB11	Grund	30/09/98	2.1	1.1	6.4	96	1.24	103	.73	255	30.35	<0.005	<0.002
SB5	Matte	30/09/98	2.5	2	14	130	1.8	210	.71	271	43.80	<0.005	<0.002
KB1	ARA-Nord	30/09/98	.76	1.2	3.7	81	.5	7.4	.78	282	24.10	0.043	<0.002
SB12	Gsteig Bode	30/09/98	3	1.8	7.3	121	2.1	179	.72	231	38.10	<0.005	<0.002
FB1	Flugplatz	30/09/99	1.26	.82	8.5	72	.95	68	.5	210	23.40	<0.005	<0.002
FB4	Mettlen	30/09/98	2.6	3.2	9.5	39	5.5	61	.2	107	14.60	<0.005	<0.002
FB14	Umf. West	30/09/98	2.2	1.8	10.1	110	2.3	130	.62	260	34.35	<0.005	<0.002
SB1	Fallersmatte	30/09/98	5.6	5.1	9.8	110	8.7	54	1.68	330	32.20	0.011	<0.002
FB2	Festung	30/09/98	1	.72	10.2	76	.83	78	.59	210	24.65	<0.005	<0.002
FB7	Eisbahn4	09/04/98	11.5	8	8	85	15	58	11	245	24.70	-	-
FB7	Eisbahn2	09/04/98	9.35	2.22	11.47	92	13	82	9.2	249	27.70	-	-
	<b>Mittelwert</b>		3.11	5	11.8	104	9.67	100	4.67	264	30.95	0.02	0.01
	<b>Maximum</b>		6	8	17	149	15	210	11	365	46.25	0.06	0.03
	<b>Minimum</b>		1	2	5	39	1	5	1	107	14.60	0.01	0

## **Alkalien und Erdalkalien**

Der Gehalt der Elemente Ca, Mg, Na und K wurde als Hauptkationen bestimmt. Die Resultate zeigen in der Regel keine zu hohen Konzentrationen dieser Elemente. Der Ca Gehalt lag mehrmals über dem Qualitätsziel und dies ausschliesslich in den Zonen mit Gipswassereintritt ins Grundwasser (Gstaad Matte und Gsteig). Sonst entsprechen die Resultate den Qualitäts- und Toleranzzielen.

## **Karbonathärte**

Die Karbonathärte entspricht dem Gehalt an  $\text{HCO}_3^-$  in mg/l oder in mVal/l. Im Untersuchungsbereich Saanenland wurden hohe Werte gemessen, da die umliegenden Gesteine vorwiegend Kalkgesteine sind.

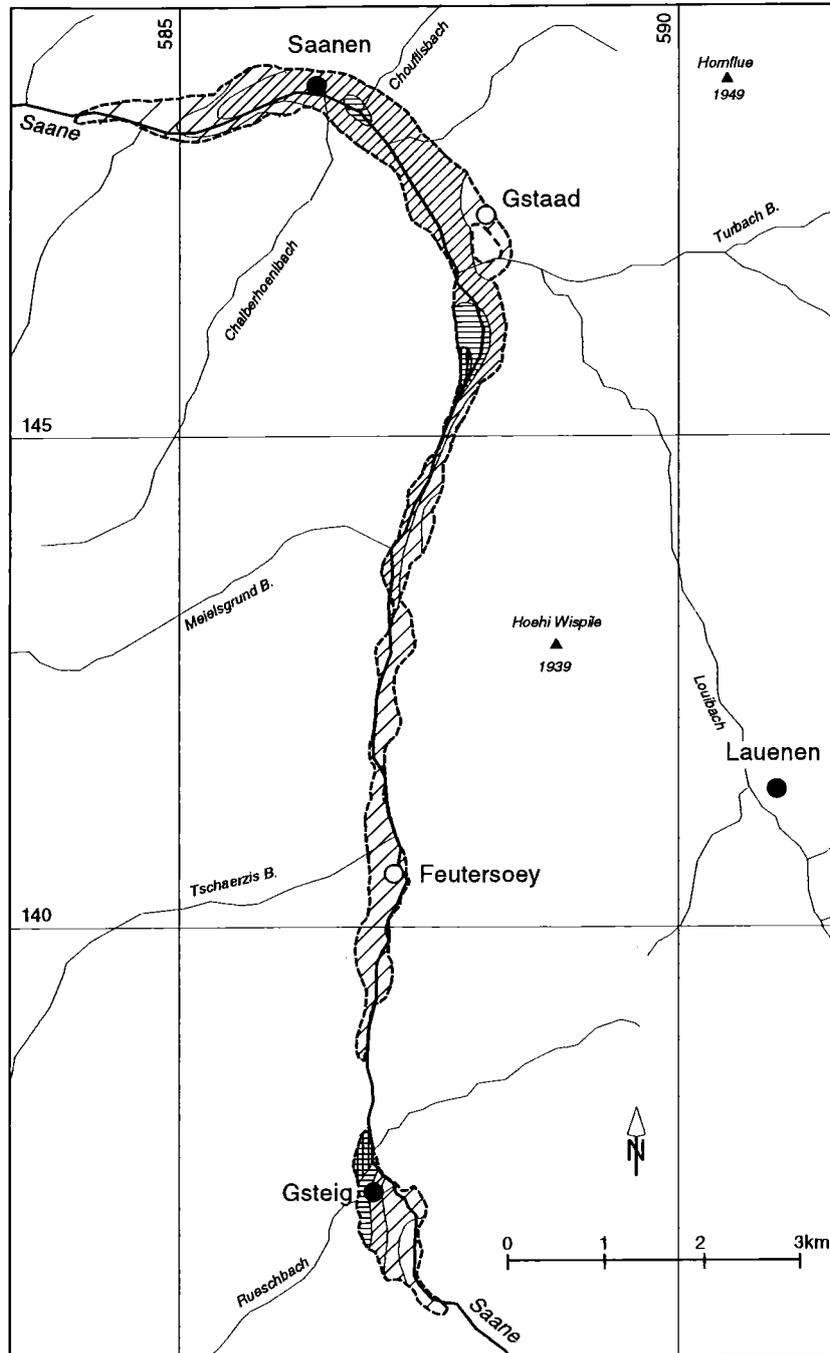
## **Chlorid**

Hohe Chloridgehalte können von Evaporiten im Einzugsgebiet stammen. Strassenabwasser (Winterdienst) und andere Abwässer, aber auch Düngemittel können mitverantwortlich für den chemischen Zustand des Grundwassers sein. Im Oberen Saanetal jedoch wurden keine zu hohe Chloridgehalte während unserer Untersuchungsperiode festgestellt (alle < 20mg/l).

## **Sulfatgehalt**

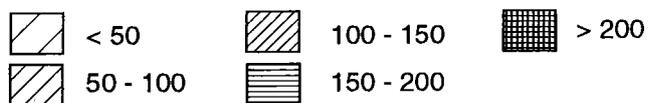
Im Oberen Saanetal wurden regelmässig hohe Sulfatgehalte gemessen. Das Vorhandensein von Sulfat im Grundwasser hängt mit der starken Infiltration von Hangwasser aus evaporitischen Schichten wie Gips und Anhydrit zusammen. Dies ist sehr gut auf der Figur 7.4 veranschaulicht. Hohe Sulfatgehalte sind mit den triasischen Aufschlüssen verknüpft. Hauptzuflusszonen sind die ultrahelvetischen Decken und die Zone Submédiane. Dort wurden regelmässig Sulfatgehalte > 200 mg/l gemessen, was beide Qualitäts- und Toleranzgrenzen des Schweizerischen Lebensmittelbuch sowie diejenigen der Gewässerschutzverordnung (GSchV) überschreiten. Im allgemeinen sind die Sulfatgehalte höher als das Qualitätsziel von 50 mg/l  $\text{SO}_4$ . Dies gilt für das ganze Jahr. Der Sulfatgehalt kann in unserem Fall direkt mit der elektrischen Leitfähigkeit verknüpft werden (siehe Abschnitt 7.1).

Figur 7.4 Sulfatgehalt am 6.4.1998



----- Seitliche Begrenzung des Grundwasserleiters

Sulfatgehalt [mg/l]



## **Phosphat**

Das Vorhandensein von Phosphat im Grundwasser ist an sich hygienisch unbedenklich. Oft aber ist es ein Hinweis, dass Abwasser, z. B. aus defekten Leitungen ins Grundwasser infiltriert. Im Aquifer des Oberen Saanetals wurden Werte gemessen, die immer unterhalb des Qualitätsziels von 0.05 mg/l lagen. Höhere Werte wurden regelmässig beim Punkt FB1 ARA-Nord gemessen. Am 6.4.1998 wurde ein Wert von 0.062 mg/l gemessen, was das Qualitätsziel leicht überschreitet. Dieser Beobachtungspunkt befindet sich bei der Kläranlage (ARA) Saanen. Es ist deshalb nicht auszuschliessen, dass geringe Mengen Abwasser in die Messstelle infiltrieren.

## **Nitrat**

Im Oberen Saanetal gibt es keine intensive Landwirtschaftsbetriebe. Demzufolge wurden extrem niedrige Nitratgehalte gemessen (<11 mg/l mit einem Mittelwert von ca. 4.7 mg/l). Das Qualitätsziel von 25 mg/l wurde nie erreicht.

## **Nitrit-Stickstoff und Ammonium**

Diese beiden typischen landwirtschaftlichen Verschmutzungsendglieder wurden im Oberen Saanetal nirgends in hohen Konzentrationen vorgefunden. Die Qualitätsziele von 0.01 mg/l (Nitrit) und 0.05 mg/l (Ammonium) wurden nie erreicht. Im Grundwasserbereich kann auch das Vorhandensein von hohen Nitrit- und Ammoniumkonzentrationen einem reduzierenden Zustand des Milieus entsprechen. Die physikalischen Parameter haben gezeigt, dass solches Grundwasser im Aquifer des Oberen Saanetals nicht vorhanden ist. Höhere Werte wurden an zwei Stellen gemessen. Bei der ARA Nord, wo, wie schon erwähnt, etwas Abwasser aus der ARA ausfliessen kann (0.058 mg/l), und bei Mettlen (0.48 mg/l), wo dieser hohe Gehalt nur mit einer temporären Verschmutzung des Grundwassers erklärt werden kann. Im Bereich Mettlen sind viele Werkhöfe vorhanden, die als Verschmutzer in Frage kommen können.

## **Eisen und Mangan**

Das Vorhandensein von Eisen und Mangan im Grundwasser lässt sich mit stark reduzierenden Verhältnissen erklären. Im Saanetal wurden nur wenige hohe Werte gemessen (<0.005 mg/l für Fe und <0.02 mg/l für Mn) und zwar bei der ARA Nord und der Umfahrung Ost. Diese Werte können auf die Filterrohre zurückgeführt werden, da an beiden Stellen keine anderen Indizien reduzierender Verhältnisse existieren.

## Spurenelemente

Die Analyse der Spurenelemente ergab keine Hinweise auf starke Verschmutzungen des Grundwassers durch Altlasten oder industrielle Aktivitäten (Tab. 7.5 und 7.6). An einigen Stellen wurden jedoch mehrere Elemente in höheren Konzentrationen gemessen wie z. B. Zn (0.12 mg/l bis 0.74 mg/l), Al (0.005 mg/l bis 0.09 mg/l) und Pb (0.019 mg/l). Diese gemessene Konzentrationen überschreiten z. T. die Qualitätsziele, aber nicht die Toleranzwerte. Dies ist auf Lösungerscheinungen an den Leitungen und Filterrohren zurückzuführen (manche wurden seit mehr als 40 Jahren stillgelegt). Die Analyse der Spurenelemente kann stark von den Materialien beeinflusst werden, welche die Ausrüstung der verschiedenen Filterbrunnen und Bohrungen aufbauen (Parriaux & Bensimon 1990). Besonders empfindlich sind die Konzentrationen an Ba, Zn, Ni und Mn.

Tabelle 7.5 Ergebnisse der Spurenelemente Analysen (ICPMS-GEOLEP)

Element	Li [µg/l]	B [µg/l]	Al [µg/l]	Sc [µg/l]	Ti [µg/l]	V [µg/l]	Cr [µg/l]	Mn [µg/l]	Co [µg/l]	Ni [µg/l]	Fe [µg/l]	Cu [µg/l]
<b>Am 2.7.97</b>												
SB5	6.36	15.40	7.25	0.12	< 0.2	0.04	0.20	1.17	0.07	0.78	2.06	1.49
SB6	1.43	4.16	3.53	0.04	< 0.2	0.02	0.16	0.12	0.04	0.45	2.63	0.38
SB11	1.90	4.35	4.33	0.06	< 0.2	0.03	0.26	0.18	0.05	0.36	3.67	0.65
KB1	3.96	15.51	62.37	0.07	0.22	0.13	0.42	13.14	0.24	0.81	260.77	1.32
FB14	2.91	6.36	3.25	0.10	< 0.2	0.05	0.20	0.25	0.06	0.39	8.92	0.44
FB13	5.20	14.35	90.08	0.11	0.33	0.18	0.63	6.01	0.15	0.59	460.70	4.58
<b>Am 30.9.97</b>												
FB1	2.04	9.48	4.79	0.09	< 0.2	0.02	0.10	41.07	0.21	1.07	6.31	0.60
SB1	2.36	11.87	2.83	0.10	< 0.2	0.06	0.21	0.16	0.04	0.43	1.32	0.77
FB10	4.63	14.37	4.51	0.65	< 0.2	0.04	0.20	0.16	0.08	0.92	0.61	0.48
SB5	3.01	10.59	2.06	0.06	< 0.2	0.03	0.17	0.07	0.04	0.39	1.00	0.42
SB6	1.83	8.82	6.21	0.12	< 0.2	0.03	0.24	0.08	0.07	0.47	1.04	0.34
SB12	6.20	12.82	14.81	0.22	0.22	0.04	0.19	0.11	0.08	0.47	1.76	0.86
SB4	5.21	11.11	5.24	0.15	< 0.2	0.04	0.13	0.97	0.10	1.34	1.25	1.69
SB11	4.99	16.36	5.10	0.16	< 0.2	0.04	0.29	0.16	0.05	1.30	1.52	1.08
KB1	3.10	13.06	4.17	0.05	0.32	0.06	0.64	0.26	0.07	0.60	1.54	0.77
FB14	3.82	14.47	4.37	0.07	< 0.2	0.02	0.21	0.23	0.04	0.51	1.74	0.41
FB13	4.33	17.94	3.49	0.10	< 0.2	0.03	0.27	0.15	0.05	0.53	2.15	0.40
FB4	2.46	17.22	3.85	0.06	< 0.2	0.03	0.08	0.40	0.06	3.71	1.77	4.57
<b>Maximum</b>	<b>6.36</b>	<b>17.94</b>	<b>90.08</b>	<b>0.65</b>	<b>0.33</b>	<b>0.18</b>	<b>0.64</b>	<b>41.07</b>	<b>0.24</b>	<b>3.71</b>	<b>460.70</b>	<b>4.58</b>
<b>Minimum</b>	<b>1.43</b>	<b>4.16</b>	<b>2.06</b>	<b>0.04</b>	<b>0.22</b>	<b>0.02</b>	<b>0.08</b>	<b>0.07</b>	<b>0.04</b>	<b>0.36</b>	<b>0.61</b>	<b>0.34</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>3.65</b>	<b>12.12</b>	<b>12.90</b>	<b>0.13</b>	<b>0.27</b>	<b>0.05</b>	<b>0.26</b>	<b>3.59</b>	<b>0.08</b>	<b>0.84</b>	<b>42.26</b>	<b>1.18</b>

Tabelle 7.6 Ergebnisse der Spurenelemente Analysen (ICPMS-GEOLEP)

Element	Zn [µg/l]	As [µg/l]	Rb [µg/l]	Sr [µg/l]	Mo [µg/l]	Cd [µg/l]	Ba [µg/l]	La [µg/l]	W [µg/l]	Pb [µg/l]	U [µg/l]
<b>Am 2.7.97</b>											
SB5	22.19	0.14	0.43	1375.06	0.54	0.03	34.45	0.01	0.02	0.41	0.69
SB6	4.85	0.06	0.23	281.07	0.09	0.01	21.68	0.01	0.07	0.08	0.13
SB11	2.22	0.11	0.18	433.64	0.32	0.01	12.71	0.01	0.20	0.06	0.14
KB1	117.93	0.10	0.74	569.79	0.37	0.05	88.34	0.04	0.08	19.01	0.36
FB14	2.05	0.03	0.22	572.35	0.18	0.01	17.87	0.01	0.04	0.10	0.22
FB13	23.82	0.12	0.50	1000.66	0.21	0.04	23.98	0.05	0.03	0.64	0.40
<b>Am 30.9.97</b>											
FB1	748.75	0.03	0.38	1341.85	0.68	0.26	23.93	0.01	0.04	0.23	0.54
SB1	6.94	0.14	1.54	775.37	0.48	0.02	33.74	0.00	0.01	0.13	0.38
FB10	1.74	0.14	0.45	1290.49	0.51	0.02	30.03	0.00	0.12	0.06	0.41
SB5	3.18	0.06	0.45	1216.82	0.85	0.05	29.58	0.00	0.04	0.13	0.57
SB6	4.03	0.25	0.34	387.41	0.16	0.01	37.68	0.01	0.09	0.09	0.19
SB12	4.13	0.06	1.11	1740.63	0.66	0.03	18.80	0.01	0.05	0.37	0.49
SB4	9.46	0.13	0.52	1302.80	0.66	0.02	33.94	0.00	0.03	0.08	0.62
SB11	22.69	0.10	0.53	742.73	0.64	0.05	32.58	0.01	0.05	0.49	0.26
KB1	62.96	0.14	0.66	528.52	0.76	0.04	71.91	0.01	0.05	0.60	0.27
FB14	7.68	0.08	0.38	902.99	0.54	0.02	29.25	0.00	0.03	0.15	0.39
FB13	8.42	0.07	0.44	847.43	0.62	0.02	24.12	0.01	0.02	0.08	0.38
FB4	31.60	0.05	0.80	429.48	11.14	0.02	39.86	0.00	0.01	0.09	0.31
<b>Maximum</b>	<b>748.75</b>	<b>0.25</b>	<b>1.54</b>	<b>1740.63</b>	<b>11.14</b>	<b>0.26</b>	<b>88.34</b>	<b>0.05</b>	<b>0.20</b>	<b>19.01</b>	<b>0.69</b>
<b>Minimum</b>	<b>1.74</b>	<b>0.03</b>	<b>0.18</b>	<b>281.07</b>	<b>0.09</b>	<b>0.01</b>	<b>12.71</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.06</b>	<b>0.13</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>60.26</b>	<b>0.10</b>	<b>0.55</b>	<b>874.39</b>	<b>1.08</b>	<b>0.04</b>	<b>33.58</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>1.27</b>	<b>0.37</b>

Typische geogene Spuren wurden überall im Grundwasser festgestellt. Die sehr hohen Gehalte an Sr (0.28 mg/l bis 1.8 mg/l) sind ganz typisch für Evaporite (Mandia 1991). Ba (0.012 mg/l bis 0.088 mg/l) und B (0.004 mg/l bis 0.024 mg/l) sind ebenfalls festgestellt worden. Diese Elemente, in den gemessenen Konzentrationen sind typisch für Flyschgesteine (Basabe 1992). Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Evaporite auch einen Einfluss auf die Gehalte an Ba und B haben. Die Elemente Zn, Al und Pb wurden auch in kleineren Konzentrationen gemessen, was dem natürlichen Zustand von Grundwasser im Flysch, bzw. in Evaporiten entspricht. Andere Spurenelemente sind im ganzen Saanetalgrundwasservorkommen in sehr geringeren Mengen vorhanden. Da wir nur zwei Messkampagnen durchgeführt haben ist es aber möglich, dass an einigen Stellen die Konzentrationen gewisse Variationen aufweisen. Normalerweise brauchen Grundwässer eine längere Verweilzeit in den Gesteinen um sich mit Spurenelementen anzureichern. Dies ist im Oberen Saanetal nicht der Fall, da die unterirdische Fließgeschwindigkeit vermutlich eher schnell ist. Demzufolge sind die obenerwähnten hohen Konzentrationen ausschliesslich auf künstliche Quellen zurückzuführen (Leitungen, Filterrohr, usw.). Nur der sehr hohe Sr Gehalt ist zweifellos den umliegenden Evaporiten zuzuschreiben.

## 7.4 Bakteriologie

Bakteriologische Analysen wurden nicht systematisch durchgeführt. Die ausgewählten Beobachtungs- und Probenahmestandorte waren z. T. Schachtbrunnen für Wärmepumpen oder alte aufgelassene Sodbrunnen. Demzufolge hätten schlechte bakteriologische Ergebnisse nicht direkt auf die Grundwasserqualität zurückgeführt werden können. Erste Resultate zur Bakteriologie des Grundwassers ergaben Untersuchungen am Trinkwasser der Wasserversorgung Saanen. Zusätzlich wurden vier Proben an den vier von uns ausgeführten Bohrungen erhoben (B. Baumann WEA/Geologie). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 7.7 dargestellt.

Tabelle 7.7 Bakteriologische Analysen des Oberen Saanetalaquifers am 16.6.1999

Analysen	KB31	KB32	KB33	KB34	Grenzwerte
Keime/ml	25	10	58	43	100
Enterokokken. /100 ml	0	0	0	0	0
Escherichia coli /100 ml	0	0	0	0	0

Diese vier Analysen der bakteriologischen Qualität des Grundwassers weisen auf ein völlig einwandfreies Grundwasser hin. Dies gilt für den ganzen Untersuchungsbereich. Beim Pumpwerk Chäppeli, wo längere Messreihen vorhanden sind, ist die Grundwasserqualität bezüglich der Bakteriologie immer ausserordentlich gut gewesen (Kellerhals & Häfeli 1986). Um eventuelle saisonale Schwankungen oder lokal bestimmte Verunreinigungen im übrigen Gebiet abschätzen zu können, sind weitere, gezielte Analysen nötig. Grundsätzlich können wir von einer bakteriologisch ständig guten Qualität des Grundwassers im Oberen Saanetal ausgehen.

## 7.5 Sauerstoff Isotop - $\delta O^{18}$

In diesem Abschnitt wird kurz auf die Sauerstoffisotopenmessungen eingegangen, die im Laufe dieser Untersuchung vorgenommen worden sind. Man hat die  $\delta O^{18}$  Verhältnisse verschiedener Komponenten des Grundwassers im Oberen Saanetal gemessen, nämlich des Grundwassers selbst, des Vorfluters (die Saane) und der wichtigsten Seitenzuflüsse (Bäche).

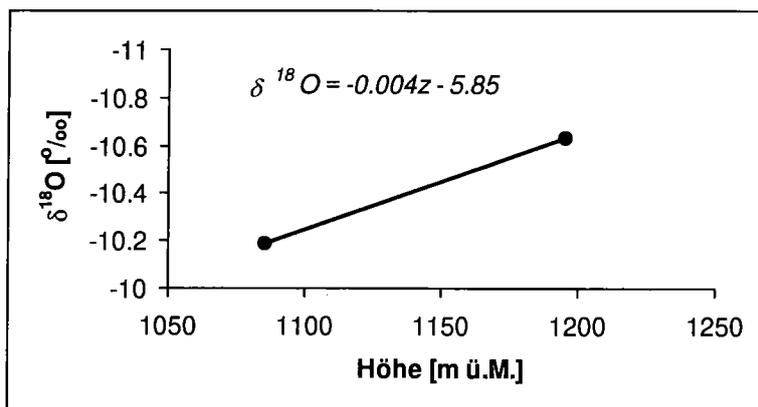
Das Prinzip der  $\delta O^{18}$  Messung bezieht sich auf die Berechnung der relativen Differenz des Isotopenverhältnis  $O^{18}/O^{16}$  in ‰ einer Wasserprobe verglichen mit dem Isotopenverhältnis eines Standards (Clark & Fritz 1997, Mazor 1997).

Die  $\delta^{18}\text{O}$  Messungen im Niederschlag variieren mit den Jahreszeiten, da der Gehalt an schweren und leichten Sauerstoffisotopen unter anderem temperaturabhängig ist (Pearson et al. 1991). Im Grundwasser werden diese jahreszeitlichen Schwankungen stark gedämpft (Clark & Fritz 1997, Iorgulescu 1997).

### 7.5.1 Gradient aus den Niederschlägen

Dank den 3 SMA Stationen konnte ein lokaler  $\delta^{18}\text{O}$  Niederschlagsgradient errechnet werden, der mehr oder weniger den Bedingungen im Oberen Saanetal entspricht. Wir konnten nur einen Wert für den Oktober 1998 berechnen, den wir dann während der ganzen Untersuchungszeit angewendet haben. Mit  $\delta^{18}\text{O} = -10.19 \text{ ‰}$  für Oktober 1998 in Grund bei Gstaad (SMA5588) auf 1085 m ü.M. und  $\delta^{18}\text{O} = -10.63 \text{ ‰}$  für den gleichen Monat in Gsteig (SMA5560) auf 1195 m ü.M., konnten wir die Resultate der Figur 7.5 darstellen.

Figur 7.5  $\delta^{18}\text{O}$  Gehalt im Niederschlag : Gradient für das Obere Saanetal (Oktober 1998). Die Anzahl der Messungen ist sehr klein. Sie wurde bei der Interpretation berücksichtigt



Pearson et al. (1991), welche ihre Höhenbeziehungen auf lange Zeitreihen für verschiedene schweizerische Ortschaften errechnet haben, geben folgende Niederschlagsgerade für die bernischen Alpen :

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0017z - 10.1$$

Der grosse Unterschied zwischen den beiden Beziehungen lässt sich anhand von mehreren Kriterien erklären. Einerseits haben wir nur für den Monat Oktober 1998 den  $\delta^{18}\text{O}$  Gradient im Untersuchungsgebiet berechnet, was sich schlecht mit den langjährigen Mittelwerten von Pearson et al. (1991) vergleichen lässt. Andererseits sind bei der Anwendung der Isotopenmethode die regionalen und sogar lokalen klimatischen Verhältnisse von grosser Bedeutung.

Aus diesem Grund wurden einige Messungen an einem gut bekannten lokalen Grundwasseraustritt durchgeführt, die Quelle Fangweid (WEA Nr. 587/140.3, 1230 m ü.M., Gemeinde Gsteig). Am 7.7.1997 wurde an dieser Quelle ein  $\delta O^{18}$  Wert von  $-12.19 \text{ ‰}$  gemessen, was nach unserer lokalen Niederschlagsgeraden einer mittleren Einzugsgebietshöhe von etwa 1585 m ü.M. entspricht. Dies passt gut in die lokalen geologischen Verhältnissen. Mit der anderen Niederschlagsgerade kommen wir auf eine mittlere Höhe von ca. 1230 m ü.M., was genau der Quellaustrittshöhe entspricht. Dieser Wert scheint uns zu tief zu sein.

### 7.5.2 Anwendung am Oberen Saanetalaquifer

Wie schon bei den chemischen Eigenschaften erwähnt, besteht das Grundwasservorkommen im Oberen Saanetal aus mehreren Komponenten. Da wir wenig Angaben über die genauen Input-Werte des Systems haben, wird eine Abschätzung der verschiedenen Anteile schwierig. Die  $\delta O^{18}$  Werte für das Grundwasser sind in den Beilagen 24 bis 30 ersichtlich.

Eine starke Dämpfung ist eindeutig (Schwankungsbereich für die einzelne Serie zwischen 1 bis 2 ‰, Messfehler der ETHZ-Apparatur von 0.06 ‰). Unterschiede zwischen den verschiedenen Becken sind auch schwierig zu beurteilen. Ein  $\delta O^{18}$  Mittelwert für die Untersuchungsperiode lässt sich aber für die einzigen Grundwassermessstellen berechnen (Tab. 7.8). Es ist daher anzunehmen, dass alle Proben in jenem Bereich des Grundwassers entnommen wurden, in welchem die jahreszeitlichen Schwankungen nicht mehr in Erscheinung treten (Clark & Fritz 1997, Iorgulescu 1997). In den Seitenbächen und in der Saane lassen sich im Gegensatz dazu deutliche Schneeschmelzevorgänge erkennen. Dies ist der Fall im Spätfrühling und Frühsommer 1997 (Juni) sowie im Frühling 1998 (April-Mai). Zu dieser Zeit wurden niedrigere  $\delta O^{18}$  Werte gemessen.

Tabelle 7.8 Statistik der  $\delta O^{18}$  Messungen im Grundwasser in ‰

Code	Mittel	Maximum	Minimum	Abweichung
FB1	-11.74	-11.43	-12.17	0.26
FB3	-11.78	-11.56	-11.97	0.15
FB10	-11.50	-11.24	-11.86	0.20
FB13	-11.48	-11.27	-11.85	0.23
FB14	-11.55	-11.34	-11.75	0.29
SB1	-11.39	-11.16	-11.54	0.12
SB4	-11.33	-10.73	-11.88	0.39
SB5	-11.08	-10.28	-11.74	0.59
SB6	-11.11	-10.75	-11.42	0.25
SB11	-11.15	-10.14	-12.04	0.83
SB12	-11.22	-10.55	-11.61	0.43

Mit dem lokalen Gradient können wir eine mittlere Einzugsgebietshöhe für das Talgrundwasser berechnen. Dabei ist nochmals der gemischte Charakter des Vorkommens zu beachten. In temperierten Klimatas kann man annehmen, dass im Grundwasser ab einer bestimmten Tiefe, die saisonalen Schwankungen nicht mehr in Erscheinung treten und dass der mittlere  $\delta O^{18}$  Gehalt ab dieser Tiefe sich den jährlichen mittleren Niederschlagswerten nähert (Clark und Fritz 1997, Iorgulescu 1997). Mit einem  $\delta O^{18}$  Mittelwert von  $-11.40\text{‰}$  ergibt sich eine Höhe von ca. 1390 m ü.M. als mittlere Einzugsgebietshöhe. Diesem Wert entspricht die mittlere Höhe von ca. 78% des Gesamteinzugsgebiets (Mauerhofer 1978).

Aus der Tabelle 7.8 ist ersichtlich, dass nur an der Stelle SB11/Tab. 6.2 (Grund) grössere Schwankungen festzustellen sind. Diese Schwankungen können auf ein Grundwasser zurückzuführen sein, auf welches selbst bedeutende  $\delta O^{18}$  Gehaltvariationen auftreten. Dies kann auf eine starke Infiltration der Saane zurückgeführt werden. In den Beilagen 27 bis 30 wurden die Messungen in der Saane und in ihren wichtigsten oberirdischen Seitenzuflüssen dargestellt. Diese variieren stark infolge der Schneeschmelze im Frühling (Juni 1997, Mai 1998). Deshalb weist die Saane einen deutlich schwankenden Input auf. Die Messstellen SB4, SB5 und SB12 (alle Tab. 7.6) zeigen ebenfalls grössere Schwankungen ihres  $\delta O^{18}$  Gehalts. Dies kann für SB4 und SB5 (beide Tab. 7.6) aus der oben erwähnten Infiltration der Saane erklärt werden. Für SB12/Tab. 7.6, die sich in einer Zone der ständigen Exfiltration befindet, gilt diese Erklärung nicht mehr. Das Input Signal kann in diesem Gebiet von der starken unterirdischen Grundwasserzufuhr aus den Gipszonen beeinflusst werden, die dank ihrer schnellen Wasserzirkulationen auch zu signifikanten saisonalen Änderungen des  $\delta O^{18}$  Signals führen können. Dies ist auch der Fall bei SB4 und SB5 (beide Tab. 7.6). Im allgemeinen befinden sich die Grundwasserneubildungszonen ganz nahe am Grundwasserspeicher selbst. Es existieren keine fossilen oder tief zirkulierende Grundwassersysteme im Oberen Saanetal.

## 7.6 Grundwasserqualität: Zusammenfassung

Eine Zusammenfassung über die Grundwasserqualität lässt sich anhand der oben beschriebenen Parameter erstellen. Dabei ist zu beachten, dass im allgemeinen nur diskrete Angaben über den Grundwasserchemismus vorhanden sind. Die Verteilung der Grundwassertypen nach Jäckli (1970) ergibt folgende vereinfachte Hauptgruppen (nur Gemengteile  $>10\text{ mval\%}$  angegeben) :

- Ca-Mg- $HCO_3$ - $SO_4$  69.1%
- Ca- $HCO_3$ - $SO_4$  12.8%
- Ca- $HCO_3$  7.3%
- Ca-Mg-  $SO_4$ - $HCO_3$  3.6%
- Ca- $SO_4$ - $HCO_3$  3.6%
- Ca-Mg- $HCO_3$  3.6%

Der Haupttyp des Grundwassers entspricht einem sulfatreichen Wasser. Dies wurde durch die allgemein hohen Sulfatgehalte und die hohen elektrischen Leitfähigkeitswerte gezeigt. Die Zusammenfassung der chemischen Analysen bezüglich der verschiedenen Grenzwerte ist in der Tabelle 7.9 zusammengestellt. Es ist eindeutig der hohe Sulfatgehalt, der die Qualität dieses in der Regel einwandfreien Grundwassers beeinflusst.

Tabelle 7.9 Grundwasser Chemie in Bezug auf das Qualitätsziel (Q-Ziel), Toleranzwerte (TO-Wert) und Gewässerschutzverordnung vom 18.8.1998 (GSchV)

	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	NO3	HCO3	Gesamthärte	PO4	NO2
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	°f	[mg/l]	[mg/l]
<b>Mittel</b>	3.11	5.00	11.83	104.30	9.67	100.13	4.67	264.38	30.95	0.02	0.01
<b>Max.</b>	6.00	8.00	17.00	149.00	15.00	210.00	11.00	365.00	46.25	0.06	0.03
<b>Min.</b>	1.00	2.00	5.00	39.00	1.00	5.00	1.00	107.00	14.60	0.01	0.00
<b>Q-Ziel</b>	20	10	5 - 30	40 - 125	20	10 - 50	25	-	7.5 - 12.5	0	0
<b>TO-Wert</b>	150	-	50	-	200	200	40	-	-	-	1
<b>GSchV</b>	-	-	-	-	40	40	25	-	-	-	-

Die wichtigsten geochemischen Vorgänge ergeben folgendes Bild :

- Im Bereiche der starken Gipswasserzufuhr (Gsteig und Gstaad Matte) wird die Grundwasserqualität durch sehr hohe Sulfatgehalte beeinflusst. Dort können sogar die Toleranzwerte des Schweizerischen Lebensmittelbuchs sowie diejenigen der GSchV überschritten werden. Das Vorhandensein von Sulfat im Grundwasser entspricht einem natürlichen Zustand im Oberen Saanetal (Evaporite im Einzugsgebiet). Die Gesamthärte ist demzufolge auch sehr hoch.
- Die anderen chemischen Parameter weisen keine zu hohen Werte hinsichtlich der Toleranzwerte und teilweise der Qualitätsziele (Ca, ...) auf.
- Die  $\delta^{18}\text{O}$  Analysen haben gezeigt, dass der Grundwasserleiter im Oberen Saanetal stark gedämpft ist. Die Abwesenheit von starken Zeit- und Raumabweichungen in den Messungen erlaubt einzugsgebietsfremde Grundwasserzuflüsse auszuschließen.
- Bakteriologisch ist das Grundwasservorkommen des Oberen Saanetals ausgezeichnet. Dies infolge einerseits der starken Filterwirkung des Grundwasserleiters selbst (Kies und Sand) und andererseits wegen der Abwesenheit grosser Deponiestandorte, Industriegebiete und intensiver Landwirtschaft.

## **8 Schutz- und Nutzungskonzept**

### **8.1 Allgemeines**

Die Grundwasserbewirtschaftung stützt sich auf mehrere Aspekte eines Grundwasservorkommens. Einerseits müssen nutzbare Mengen vorhanden sein und andererseits soll die Qualität des zur Verfügung stehenden Grundwassers sichergestellt werden. Im Rahmen dieser Arbeit haben wir versucht ein gesamtes Bild der verschiedenen Vorgänge zu entwerfen, die zur Bildung des Grundwasservorkommens im Oberen Saanetal verantwortlich sind. Wichtig ist die Erkenntnis, dass diese Prozesse sich in Zeit und Raum abspielen. In den kommenden Abschnitten werden verschiedene Aspekte der Grundwasserbewirtschaftung besprochen, besonders hinsichtlich einer nachhaltigen Nutzung dieses natürlichen Vorkommens.

### **8.2 Vulnerabilität des Grundwasservorkommens**

Bevor wir über die aktuellen und zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten des Grundwasservorkommens im Oberen Saanetal eingehen, werden wir über dessen Vulnerabilität sprechen. Wie in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, weist das Grundwassersystem eine starke Empfindlichkeit gegenüber diversen chemischen und hydrologischen Prozessen auf :

- Starker Grundwasserspiegelanstieg nach intensiven Niederschlägen und starke Abflusszunahme. Dies ist mit einer bedeutenden Grundwasserneubildung verknüpft.
- Die Grundwasserneubildung erfolgt hauptsächlich durch eine direkte Versickerung der Niederschläge auf der Oberfläche des Grundwasservorkommens und durch eine starke Grundwasserzufuhr aus den Seitenhängen entlang karstfähigen Evaporitzonen (Zone des Cols und Zone Submédiane). Infiltrationsstrecken entlang der Saane sind auch vorhanden.
- Hoher Sulfatgehalt infolge der bedeutenden unterirdischen Speisung aus den karstfähigen, gipshaltigen Seitenhängen. Karstgebiete sind auch für ihre starke Vulnerabilität bekannt, da infolge der schnellen Grundwasserfließgeschwindigkeit entlang von Klüften und Hohlräumen die Filterwirkung des Untergrundes sehr gering ist, was zum direkten Eintritt von potentiellen Verschmutzungen ins Grundwasser führt.
- Abwesenheit einer bedeutenden Flusswasserinfiltration ins Grundwasser, welche die Gesamthärte und den hohen Sulfatgehalt absenken könnte, da die Saane (einziger Hauptfluss im Saanenland) selbst sehr stark mit gelöstem Sulfat belastet ist.

Diese Empfindlichkeit ist eine direkte Folge der grossen Durchlässigkeit der Lockergesteine (Kiese und Sande), die das Grundwasserreservoir bilden. Im ganzen Gebiet sind hauptsächlich grobe alluviale und fluvio-glaziale Ablagerungen vorhanden, welche wohl grosse Mengen an Grundwasser enthalten, aber wegen ihrer hohen Durchlässigkeit auch sehr verschmutzungsempfindlich sind.

### 8.3 Aktuelle Nutzung des Grundwassers

Die aktuelle Nutzung des Grundwassers im oberen Saanetal erfolgt hauptsächlich in Form einer Brauchwassergewinnung für Wärmepumpen (Tab.8.1). Die verschiedenen Pumpanlagen sind ausserdem im Bereich von Gstaad-Saanen konzentriert. In der Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte (Beilage 2) ist die Konzentration der Grundwassernutzung in besiedelten Gebieten gut feststellbar.

Tabelle 8.1 Aktuelle Grundwassernutzung im Oberen Saanetal

Anlage	Konz. Leistung [l/min]	Entnahmemenge [m <sup>3</sup> /Jahr]
Kleine Wärmepumpen	* 2'330	**ca. 120'000
Wärmepumpe Hallenbad	6'580	***ca. 300'000
Trinkwasser Chäppeli	1'500	***ca. 80'000
<b>Summe</b>	10'410	ca. 500'000

\* : Entnahmemengen aus konzessionierten sowie projektierten Anlagen (Stand Februar 1999)

\*\* : Anhand effektiver Gebrauchszeiten geschätzte Jahresmenge

\*\*\* : Jahresmenge gemäss Mitteilung der Wasserversorgung Saanen

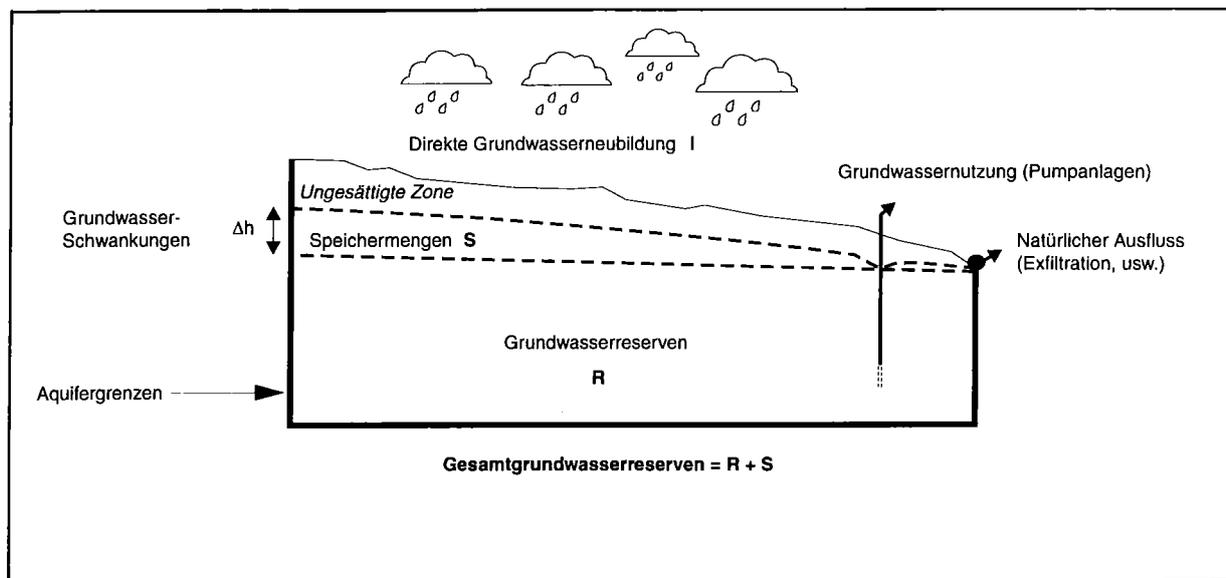
Früher hat man das Grundwasservorkommen viel mehr als Trinkwasserlieferant benutzt. Die ehemaligen Sodbrunnen wurden dann allmählich aufgelassen zugunsten der Gemeinde Wasserversorgung. Heute werden nur noch einige Ferienwohnungen aus privaten Fassungen versorgt. Die Wasserversorgungen Saanen und Gsteig besitzen beide Wasserversorgungsnetze mit zahlreichen Quellen. Heute besitzt nur die Gemeinde Saanen ein Grundwasserpumpwerk, welches schon in den fünfziger Jahren gebaut worden ist. Später wurde das Grundwasservorkommen im Lauenental bei Enge genutzt, indem man dort ein Heberwerk installiert hat. Im Haupttal der Saane existiert also seit mehr als 50 Jahren ein Pumpwerk, dessen Wasserqualität stets sehr gut war. Die heutige Trinkwasserversorgung bezieht jedes Jahr etwa 52% Grundwasser und 48% Quellwasser (Angaben Wasserversorgung Saanen für die Jahre 1997 und 1998). Davon kommen 95% des Grundwassers aus dem Heberwerk Enge im Lauenental, was nur geringe Energie Kosten verursacht. Nur 2.8% des gebrauchten Grundwassers stammt aus dem Hauptleiter in der Talebene von Saanen-Gstaad (Pumpwerk Chäppeli). Das Vorkommen der anderen Becken (Grund, Feutersoey und Gsteig) wird nicht zur Trinkwassergewinnung gebraucht.

## 8.4 Grundwasserbewirtschaftung

An dieser Stelle werden einige Grundbegriffe der Grundwasserbewirtschaftung zusammengefasst, die einen Überblick der wichtigsten Aspekte einer nachhaltigen Nutzung ermöglichen.

Die Grundwasserreserven entsprechen dem gesamten Wasser-Gehalt eines durchlässigen Körpers. Sie werden aufgrund des effektiven oder nutzbaren Porenvolumen der gesättigten Zone und bei niedrigem Grundwasserstand errechnet. Die jährliche Speichermenge (erneuerbare Reserven) wird ihrerseits durch das effektive Porenvolumen der jährlichen Grundwasserspiegelschwankungen angegeben. Sie wird aus mehrjährigen Mittelwerten errechnet. Diese Kenngrößen sind in der Figur 8.1 dargestellt.

Figur 8.1 Schematische Darstellung der Grundwasserreserven



Für die zukünftige Bewirtschaftung werden die sogenannten nutzbaren Reserven errechnet. Dieses nutzbare Grundwasserangebot kann Teile der Reserven (R) und der Speichermengen (S) betreffen. Im Fall des Oberen Saanetals haben wir uns für eine konservative Grösse entschieden, wobei der natürliche Ausfluss nicht berücksichtigt wurde (z.B. Exfiltration aus dem Grundwasserleiter in Bereichen wie Gsteig Bode oder Flugplatz Saanen). Deshalb wurden nur die jährlichen Speichermengen (S) als nutzbare Reserven berücksichtigt. Dies schliesst eine grössere Grundwassernutzung aber nicht aus. Im Rahmen dieser Studie konnten nicht genügend Angaben über die genauen nutzbaren Mengen gemacht werden. Dies würde u. a. eine mehrjährige Studie unter Einsatz von Grundwasserflussmodellen bedingen.

Die folgenden Angaben (Tab. 8.2) müssen als Elemente und nicht als Grenzen einer gesamten Bewirtschaftung des Grundwasservorkommens im Oberen Saanetal bewertet werden. Eine nachhaltige Nutzung stützt sich auf 2 Hauptprinzipien: einerseits müssen die Grundwassernutzungsmöglichkeiten umweltverträglich sein und andererseits handelt es sich um ein Kapital, das bewirtschaftet sein muss, indem man seine minimalen Reserven nicht über längere Zeit übernutzt und damit zerstört.

Tabelle 8.2 Grundwassernutzung und vorhandene nutzbare Reserven

Becken	Porosität*	Speichermenge	GW-Reserve	Neubildung***	GW-Gebrauch	Speichermengen	
	[%]					[m <sup>3</sup> /Jahr]	[m <sup>3</sup> /Jahr]
Gsteig	14	93'000	1'900'000	800'000	-	90'000	170
Grund	20	300'000	1'500'000	700'000	-	300'000	570
Saanen	21	720'000	14'500'000	3'200'000	500'000**	710'000	1'350

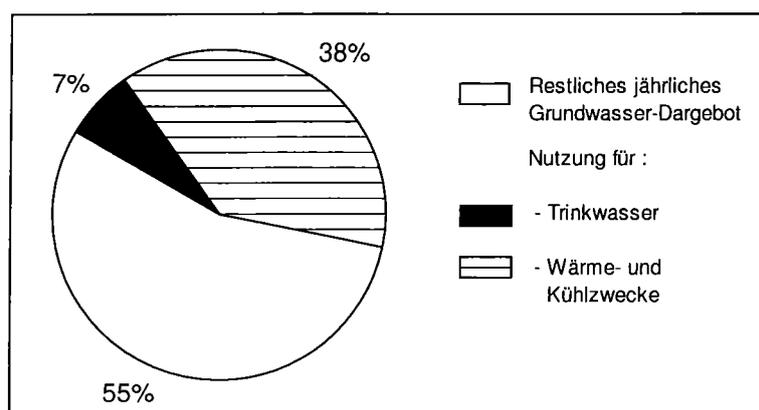
\* nutzbare Porosität nach Marotz (in Hölting 1992, S. 79) und den Durchlässigkeitsbeiwerten der Tabelle 4.1 (Abschnitt 4.2)

\*\* aus der Tabelle 8.1

\*\*\* aus dem Abschnitt 6.5.1

Eine aktuelle Bilanz der Grundwassernutzung (500'000 m<sup>3</sup>/Jahr oder 950 l/min) im Oberen Saanetal zeigt sehr gute Bedingungen für zukünftige Nutzungsmöglichkeiten (Fig. 8.2). Die heutigen gesamten künstlichen Entnahmen (Trink- und Brauchwasserzwecke inbegriffen) entsprechen ca. 45% der jährlichen Speichermengen (S) oder erst 10% der direkten Neubildung (I, siehe Kap. 6) oder 2.7% der Grundwasserreserven (R).

Figur 8.2 Aktuelle Grundwassernutzung der jährlichen Speichermengen



Wird nur der Anteil Trinkwasser betrachtet, beschränkt sich die Gesamtentnahme auf knapp 7% der jährlichen direkten Grundwasserneubildung. Dies entspricht einem Bruchteil (1.7 %) der direkten Neubildung. Dieser Anteil wird dem Grundwasserleiter nicht zurückgegeben im Gegensatz zu den restlichen 420'000 m<sup>3</sup>/Jahr oder 800 l/min, die künstlich wieder ins Grundwasser versickert werden. Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) sieht vor, dass Grundwasserentnahmen mengenmässig auf die Grundwasserneubildung zu beschränken sind, ohne Unterscheidung zwischen nutzbaren und nicht nutzbaren Grundwasservorkommen. Dies ist im Oberen Saanetal weitgehend der Fall. Im Becken von Gsteig und Grund existieren keine Entnahmestellen. Eine kurzfristige Übernutzung des Grundwassers ist möglich, wenn das Gleichgewicht zwischen Entnahme und Neubildung in absehbarer Zeit wieder hergestellt wird. Im Oberen Saanetal können aufgrund der grossen Grundwasserneubildung, Grundwasserübernutzungen ohne weiteres toleriert werden. Dies beispielsweise um eine Spitzenentnahme von Grundwasser zu gewährleisten (Kühlzwecke, usw.).

Bezüglich der Menge und der Qualität erfordert der heutige Zustand des Grundwasservorkommens Oberes Saanetal keine künstliche Anreicherung oder Sanierung. Dies gilt für unser Bewirtschaftungskonzept als leitender Anhaltspunkt. Die zukünftige Nutzung des Grundwasservorkommens muss den heutigen Ist-Zustand sicherstellen und darf keine grossräumigen Verschmutzungen zulassen. Umweltprobleme bezüglich der Grundwassernutzung sind im Oberen Saanetal unseres Erachtens nicht vorhanden. Der Flurabstand ist überall eher gross (zwischen 2 und 5 m) und es existieren keine Auenlandschaften oder ähnliche Umweltschutzgebiete. Es kann jedoch im Bereich des Flugplatz Saanen, der feinkörnigen Ablagerungen wegen (Seesedimente), eine gewisse Setzungsgefahr bestehen.

Die zukünftige Nutzung wird sich deshalb auf lokale oder regionale hydrogeologische Grundlagen stützen, welche die Umweltverträglichkeit sowie die nachhaltigen technischen und wirtschaftlichen Aspekte eines neuen Grundwasserentnahmeprojektes sicherstellen werden. Die Projektleiter haben heutzutage zahlreiche wissenschaftliche Werkzeuge zur Verfügung (Kantonale Grundlagenberichte des WEA, Modelle, usw.).

#### **8.4.1 Trinkwasser**

In der Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte Oberes Saanetal (Beilage 2) sind Grundwassergebiete eingetragen, die für gewisse Nutzungszwecke geeignet sind. Die Hauptkriterien für die Gebietseinteilung stützen sich auf unsere, in diesem Bericht ausführlich vorgestellten hydrogeologischen Studien. Die wichtigsten Kriterien waren :

- Durchlässigkeit und Mächtigkeit des Aquifers
- Chemische und bakteriologische Eigenschaften
- Besiedlungszonen, industrielle Zonen, Deponienkataster
- Bestehende Grundwassernutzung
- Priorität der Trinkwassernutzung (hohe Qualitätsziele erforderlich)

### ***Bereich für Trinkwassergewinnung geeignet***

In diesem Bereich müssen die Qualitätsziele in der Regel durchgehend erfüllt werden. Im Bereich Oberes Saanetal sind die Qualitätsziele des Schweizerischen Lebensmittelbuches meistens erfüllt. Nur der allgemein hohe Sulfatgehalt überschreitet regelmässig diese Anforderungen. Toleranzwerte werden jedoch nur an einigen Stellen überschritten. Diese Gebiete wurden durch diese Studie gut gekennzeichnet. Die Trinkwasserversorgung erfordert auch sogenannte Schutzzonen, welche die erwünschten Qualitätsziele sicherstellen werden. Das Pumpwerk Chäppeli besitzt solche Zonen.

Im heutigen Zustand der verschiedenen Bau- und Wohnzonen sowie Industriegebieten, bleiben noch viele Grundwassergebiete für eine Nutzung als Trinkwasser ohne Vorbehalt geeignet. In naher Zukunft, scheint eine neue Trinkwassernutzung nicht dringend zu sein. Interessenkonflikte werden unseres Erachtens nicht stattfinden, da noch genügend Platz für die Ausscheidung von Schutzzonen existiert. Die heutigen Anlagen der Wasserversorgung Saanen können den Wasserbedarf während der Wintersaison, wo die Bevölkerung stark zunimmt, sicherstellen.

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

In diesen Zonen kann das Grundwasser zuviel Sulfat enthalten und dementsprechend die erwünschten Qualitäts- und Toleranzwerte nicht erfüllen. Bereiche, die sich stromabwärts von stark besiedelten Gebieten oder Industriezonen befinden, werden ebenfalls als solche Zonen in der Karte eingetragen. Die Gefahr von Verschmutzungen durch menschliche Aktivitäten (Verkehr, Industrie) ist zu gross, um ein einwandfreies Grundwasservorkommen zu sichern.

## **8.4.2 Brauchwasser**

Die Brauchwassergewinnung erfordert im Gegensatz zum Trinkwasser weniger strenge Qualitätsziele. Es besteht aber die Gefahr, dass Leitungen und Geräte stark verkalken. Im Oberen Saanetal weist das Grundwasser hohe Härtegrade auf, die auf hohen Sulfat- und teilweise auf hohen Hydrogenkarbonatgehalt zurückzuführen sind. Die Verwendung von Grundwasser zur Wärmegewinnung und Kühlzwecken entsprechen den heutigen gängigen Vorstellungen. Der Bedarf an grösseren Anlagen wird sich vermutlich reduzieren, nachdem man in den letzten Jahren grosse Projekte ausgeführt hat (Eisbahn, grosse Einkaufszentren, grosse Hotels).

Eine intensivere Energiegewinnung aus dem Grundwasser lässt sich für die Zukunft voraussagen: Sie wird erfolgen durch die zahlenmässige Zunahme kleiner Wärmepumpenanlagen im ganzen Gebiet, ohne dass dadurch die Nutzungsmöglichkeiten ausgeschöpft würden. Bezüglich der Mengen und der Qualität des Grundwassers steht obigen Nutzungsmöglichkeiten nach unserer Meinung nichts im Weg. Grenzen der Nutzung stellen die Gesamthärte und der hohe Sulfatgehalt des Grundwassers dar.

Bei der starken Zunahme der Wärmenutzung aus dem Grundwasser müssen grossräumige Abkühlungs- und Erwärmungstendenzen berücksichtigt werden, die gewisse Gleichgewichte der Grundwasserchemie ändern können und damit dessen Qualität verschlechtern.

### ***Bereich für Brauchwassergewinnung geeignet***

In der Regel vermindern (in der Tat oder nur potentiell) dicht überbaute Gebiete (Bauzonen, Verkehr, Industrie, Abwasser, Salzeinsatz im Winter, usw.) die Grundwasserqualität, was eine Trinkwassergewinnung im Normalfall ausschliessen lässt. Die Bereiche für Brauchwassergewinnung wurden anhand der existierenden Bau- und Industriezonen in der Karte (Beilage 2) dargestellt.

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

Im Bereich kleinerer Durchlässigkeiten, wo sich eine Grundwassergewinnung weniger eignet, erwarten wir gewisse, mögliche Konflikte zwischen den Entnahmeanlagen. Dies ist hauptsächlich der Fall beim Dorfkern von Gstaad, der auf wenig durchlässigen Bachschutttablagerungen steht.

Auf jedem Fall soll eine gezielte Untersuchung den möglichen Grundwasserertrag bestimmen. In anderen Gebieten, wie Feutersoey, ist die vermutlich tiefe Lage des Grundwasserspiegels eine Nutzung hinderlich. Im allgemeinen sollten alle Schuttfächer als wenig durchlässig beurteilt werden.

## **8.5 Grundwasserschutz**

Wie schon erwähnt existiert im heutigen Zustand nur eine rechtsgültige Grundwasserschutzzone (Zone S) im ganzen Oberen Saanetal. Es handelt sich um die Schutzzone des Pumpwerks Chäppeli der Wasserversorgung Saanen. Gewässerschutzbereiche (A/A<sub>0</sub> und B) sind auf den Gewässerschutzkarten des Kantons Bern 1:25 000 verzeichnet: Blatt 1245 Château d'Oex, 1246 Zweisimmen, 1265 Les Mosses, 1266 Lenk, 1285 Les Diablerets, 1286 St-Léonard.

Auf diesen Karten entsprechen die Schutzbereiche A/A<sub>0</sub> der Talsohle und Teilen der Seitenhänge, aber auch den sehr empfindlichen Evaporitenvorkommen. Diese Bereiche wurden durch unsere Studie bestätigt.

Altlasten wurden im Laufe unserer Arbeit nicht gefunden. Ausgehend vom kantonalen Deponienkataster wurden die von uns ausgeschiedenen Trinkwasserzonen so abgegrenzt, dass sie nicht flussabwärts von Industriezonen zu liegen kommen, da anzunehmen ist, dass allfällige Verschmutzungen rasch zu geplanten Pumpwerken gelangen würden.

## 9 Literaturverzeichnis

- Ackermann, A. 1986.* Le Flysch de la nappe du Niesen. *Eclogae geol. Helv.* 79/3, 641-684.
- Atlas Géologique de la Suisse 1962.* Feuille 1266 Lenk. Commission Géologique Suisse.
- Atlas Géologique de la Suisse 1974.* Feuille 1265 Les Mosses. Commission Géologique Suisse.
- Atlas Géologique de la Suisse.* Feuille 1246 Zwiesimmen. Commission Géologique Suisse. Non publiée.
- Atlas hydrologique de la Suisse 1992.* Service Hydrologique et Géologique National.
- Badoux, H. und Lombard, A. 1962.* Notice explicative de la feuille 1266 Lenk. Atlas Géologique de la Suisse 1:25'000. Commission Géologique Suisse.
- Basabe, P. 1992.* Typologie des eaux souterraines de la nappe tectonique du Niesen. Thèse EPFL no 1073.
- Blau, R., Munchenberger, F., Trüeb, E., Werner, A. und Würsten, M. 1984.* Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental. *GWA* 63/5, 249-384.
- Clark, I. und Fritz, P. 1997.* Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers New-York.
- CSD 1971.* BE 173. Aktennotiz : Filterbrunnen für Hallenbad Gstaad.
- CSD 1975.* BE 765. ARA Saanen, Standort Dorfrütti. Bericht über die Baugrundverhältnisse.
- CSD 1991.* BE 2713. Kleine Umfahrung Gstaad. Bericht über die hydrogeologischen Untersuchungen.
- CSD 1998.* BE 5554. Neubau Migros Gstaad. Hydrogeologische Abklärungen für die Grundwassernutzung zu Kühlzwecken.
- Geotechnisches Institut 1998.* GI-Nr. 161.0294. Eisbahn Gstaad AG. Grundwassernutzung für Kühlzwecke. Zusammenfassender hydrogeologischer Bericht.
- Hantke, R. 1972.* Spätwürmeiszeitliche Gletscherstände in den Romanischen Voralpen (Westschweiz). *Eclogae geol. Helv.* 65/2, 279-291.
- Hölting, B. 1992.* Hydrogeologie. Enke Verlag, Stuttgart.
- Hürlimann, A., Besson, A. und Masson, H. 1996.* Stratigraphie et tectonique de la partie orientale de l'écaille de la Gummfluh. *Mémoires de Géologie de l'université de Lausanne* 28.
- Iorgulescu, I. 1997.* Analyse du comportement hydrologique par une approche intégrée à l'échelle du bassin versant. Application au bassin versant de la haute Mentue. Thèse EPFL no 1613.
- Jäckli, H. 1970.* Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. *Eclogae geol. Helv.* 63/2, 389-434.
- Kellerhals und Häfeli 1986.* BE 1064. Wasserversorgung Saanen. Schutzzonenuntersuchungen.
- Kissling, O. 1941.* Flugplatz Saanen Detailentwässerung. Nicht publiziert.
- Mandia, Y. 1991.* Typologie des aquifères évaporitiques du Trias dans le bassin lémanique du Rhône (Aples occidentales). Thèse EPFL no 948.

- Matthess, G. 1994.* Die Beschaffenheit des Grundwassers. 3. Auflage. Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart.
- Mauerhofer, D. 1978.* Hydrologische Untersuchungen im Saanenland. Dissertation Universität Bern.
- Mazor, E. 1997.* Chemical and isotopic groundwater hydrogeology. The applied approach. Marcel Dekker, Inc. New-York.
- Monachon, C. 1978.* Essai de reconstruction de la paléogéographie des stades glaciaires de la haute Sarine entre la crête des Hautes Alpes Calcaires et Gstaad. Mémoire de licence Université de Lausanne.
- Nussbaum, F. 1906.* Die eiszeitliche Vergletscherung des Saanegebietes. Dissertation Universität Bern.
- Parriaux, A. und Bensimon, M. 1990.* Some rules for the design and the management of observation networks for groundwater resources. Memoires of the 22<sup>nd</sup> congress of IAH, vol. XXII, Lausanne 1990.
- Parriaux, A. und Nicoud, G. 1993.* Les formations glaciaires et l'eau souterraine. Quaternaire 4, (2-3), 61-67.
- Pearson, F. J., Balderer, W., Loosli, H. H., Lehmann, B. E., Matter, A., Peters, Tj., Schmassmann, H. and Gautschi, A. 1991.* Applied isotope hydrogeology. A case study in northern Switzerland. NTB 88-01.
- Schmassmann, H. 1972. Künstliche Grundwasseranreicherung. GWA 52/5, 125-141.
- Weidmann, M., Homewood, P., Caron, C. und Baud, A. 1976.* Réhabilitation de la Zone submédiane" des préalpes. Eclogae geol. Helv. 69/2, 265-277.
- Wicht, J.-M. 1984.* Le Flysch de la nappe de la Simme dans les préalpes romandes. Thèse Université de Fribourg no 877.

### **Lois et Ordonnances**

Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991.

Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) du 28 octobre 1998.

# Hydrogeologie Oberes Saanetal

## Kernbohrung KB31

### Flugplatz Saanen

#### WEA Nr. 585/148.18

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Anhang Nr. 1

Bohrfirma: Hydrogé S.A., Delémont

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs: Flowmeter

Bohrmeister: Moreira Pedro

Bohrgerät

ausgeführt vom 12.4.1999 bis 30.4.1999

Koordinaten: 585.695/148.300 OK Terrain 1003.45 m ü. M. OK Rohr 1003.82 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Vaudan J., Bussard T.

1: 200

Profondeur (m)	Profil	Kote m.ü.M.	Limites (prof. m)	Lithologie	Geologische Deutung	Wasser	Piezometer
2		1001.75	1.7	Humus, dunkelbraun	Deckschicht, Boden	1.61	1003.82
		1001.35	2.1	Siltiger Kies, fein bis mittel, mit Steinen, dunkelgrau		8.6.99	OKT 1003.45
4		999.25	4.2	Leicht siltiger Kies, fein bis mittel, mit Steinen, braun-beige			Voll 2.0
6				Kies, fein bis mittel, teilweise siltig, beige			
8					Alluvialer Schotter		
10		993.75	9.7	Siltiger Kies, fein bis mittel, mit Sandlinsen, braun			
12							
14							
16		988.25	15.2	Leicht siltiger-sandiger Kies, mittel, braun-grau			Filter
18							
20		984.25	19.2	Leicht siltiger Sand, braun			
		983.45	20.0	Leicht siltiger Kies, mittel, braun			
22							
24		980.45	23.0	Leicht kiesiger Sand, mittel, grau- braun			
26					Delta Ablagerungen (topset und foreset)		
28		977.05	26.4	Leicht siltiger Kies, mittel, grau			26.0
		975.75	27.7				
30							
32							
34				Sand, fein bis mittel, teilweise geschichtet, mit Dropstones, grau			Voll
36							
38							
40		964.75	38.7				
42				Sandiger Silt, gut geschichtet, mit dropstones, grau	See Ablagerungen (bottom set)		
44							
46							
48		956.95	46.5				46.0
50				Siltiger Sand mit Kies, teilweise geschichtet, grau	Fluvio-glaziale Ablagerungen		Filter
52							
54		950.95	52.5	Kies, mittel, sauber, beige			
		949.45	54.0				Voll 54.0
56				Leicht toniger Silt mit Kies und Steine, festgelagert, beige-grau	Grundmoräne		

# Hydrogeologie Oberes Saanetal

## Kernbohrung KB31

### Flugplatz Saanen

### WEA Nr. 585/148.18

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Anhang Nr. 1

Bohrfirma: Hydrogéo S.A., Delémont

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs: Flowmeter

Bohrmeister: Moreira Pedro

Bohrgerät

ausgeführt vom 12.4.1999 bis 30.4.1999

Koordinaten: 585.695/148.300 OK Terrain 1003.45 m ü. M. OK Rohr 1003.82 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Vaudan J., Bussard T.

1: 200

Profondeur (m)	Profil	Kote m.ü.M.	Limites (prof. m)	Lithologie	Geologische Deutung	Wasser	Piezometer		
60		942.45	61.0	Leicht toniger Silt mit Kies und Steine, festgelagert, beige-grau	Grundmoräne				
62				Siltiger Kies, mittel, Kanten eckig, festgelagert, dunkelgrau-schwarz	Grundmoräne (Lodgement till)				
64		937.45	66.0	Kalkstein, ganz zertrümmert	Fels, "couches rouges"				
66				935.45				68.0	Kalkstein (Mergelkalk, rötlich, mit Foraminiferen)
68									
70	927.45	76.0							
72									
74									
76									

# Hydrogeologie Oberes Saanetal

## Kernbohrung KB32

### Grund bei Gstaad

#### WEA Nr. 587/143.6

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Anhang Nr. 2

Bohrfirma: Hydrogé S.A., Delémont

Situation:

Bohrverfahren: Rotationskernbohrung

Logs:

Bohrmeister: Moreira Pedro

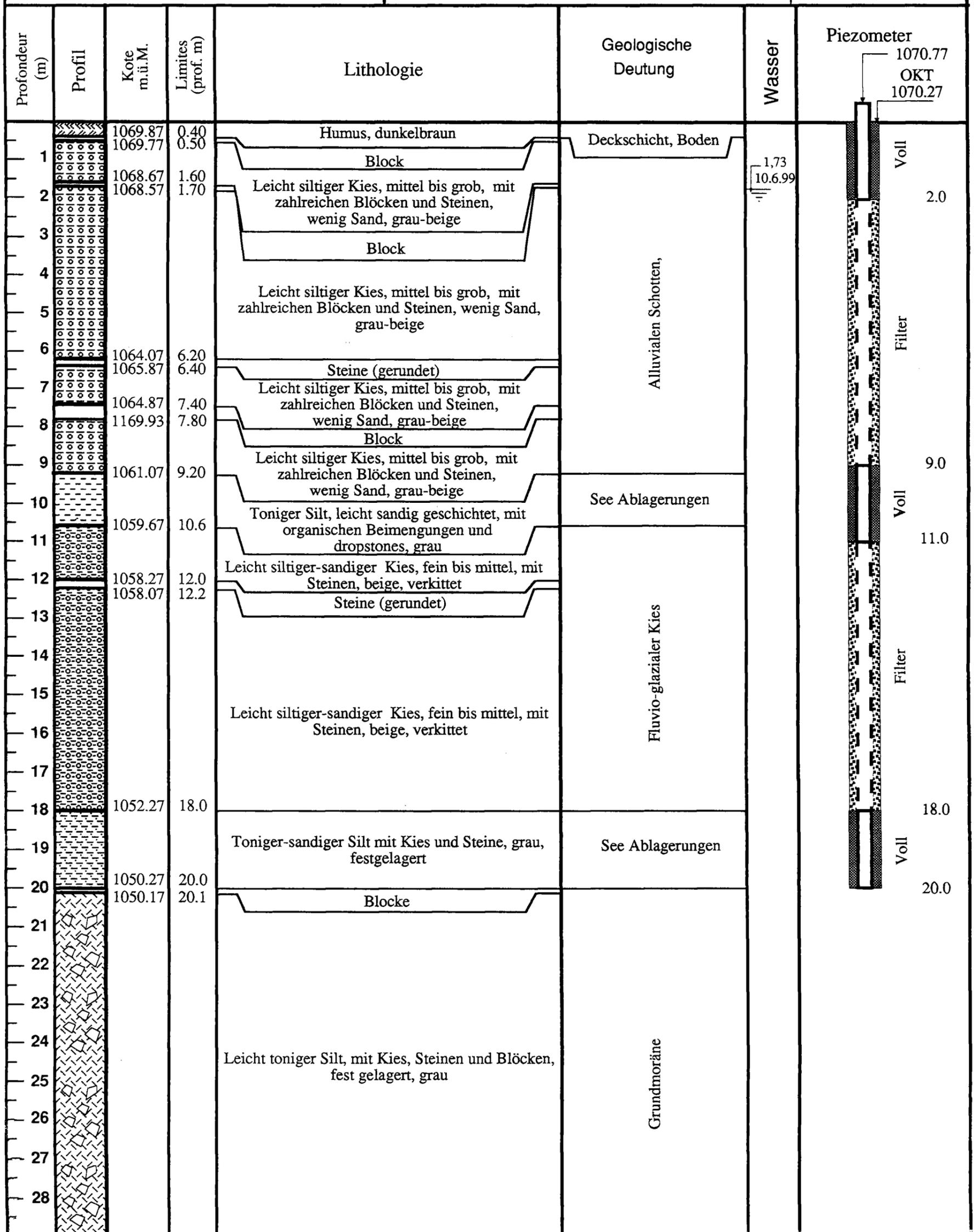
Bohrgerät

ausgeführt vom 30.4.1999 bis 10.5.1999

Koordinaten: 587.250/143.740 OK Terrain 1070.27 m ü. M. OK Rohr 1070.77 m ü. M.

Geol. Aufnahme: Vaudan J., Bussard T.

1: 100



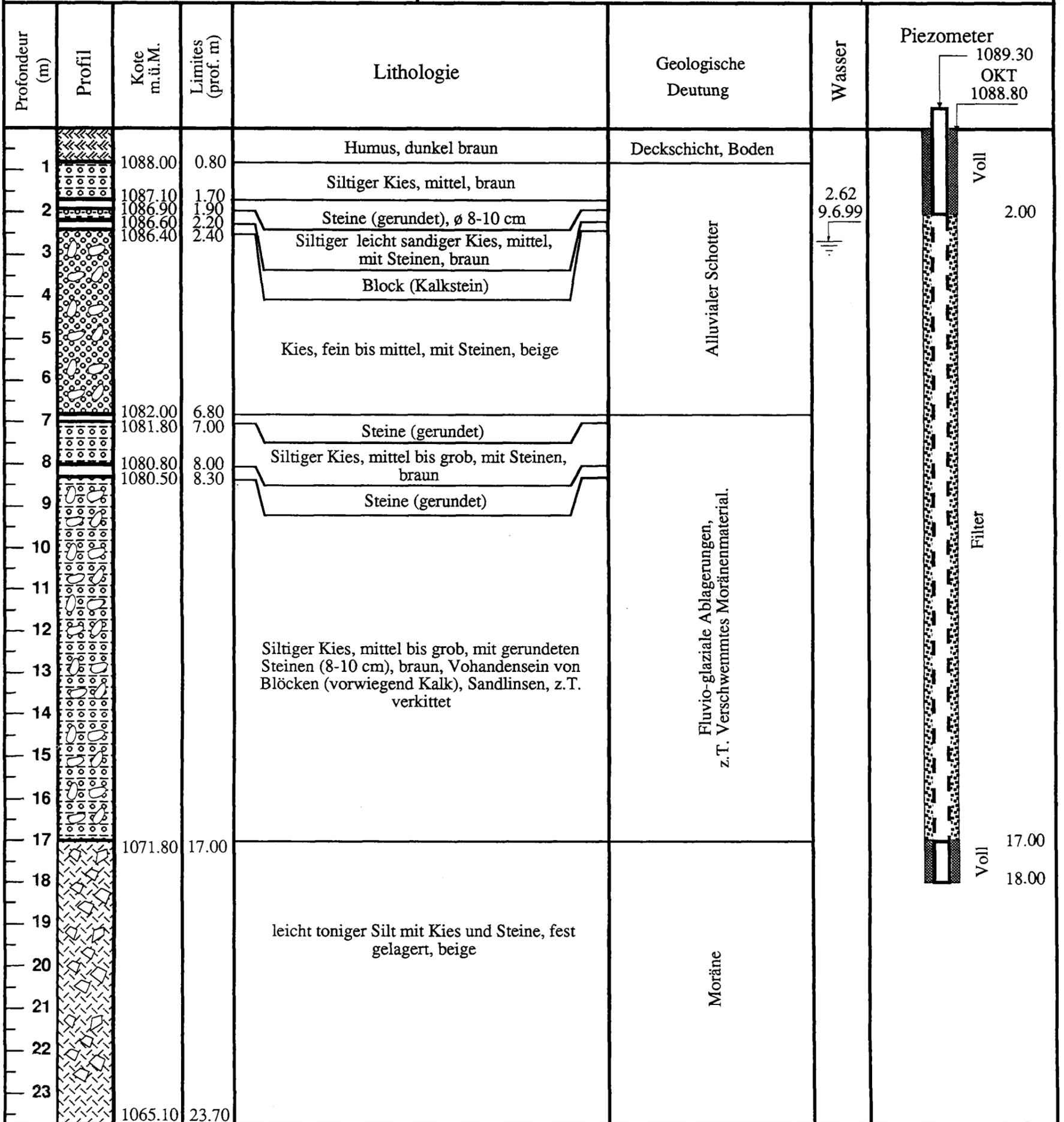
# Hydrogeologie Oberes Saanetal

## Kernbohrung KB33

### Gstaad Chlösterli

#### WEA Nr. 587/142.2

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern		Anhang Nr. 3
Bohrfirma: Hydrogé S.A., Delémont		Situation:
Bohrverfahren: Rotationskernbohrung		Logs: Flowmeter
Bohrmeister: Moreira Pedro	Bohrgerät:	
ausgeführt vom 10.5.1999		bis 19.5.1999
Koordinaten: 587.090/142.300 OK Terrain 1088.80 m ü. M. OK Rohr 1089.30 m ü. M.		
Geol. Aufnahme: Vaudan J., Bussard T.		1: 100



# Hydrogeologie Oberes Saanetal

## Kernbohrung KB34

### Innergsteig

#### WEA Nr. 587/136.7

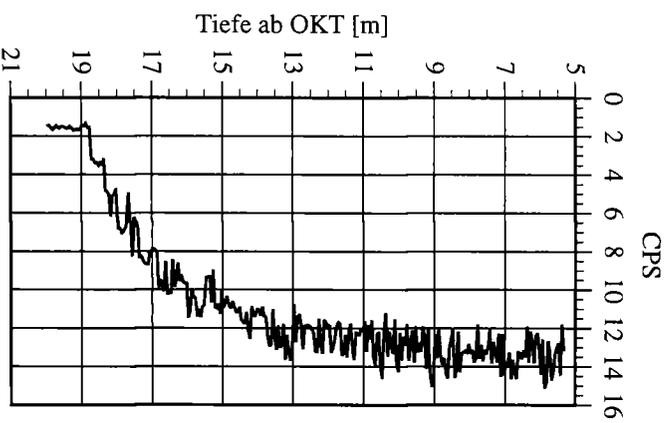
<b>Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern</b>	Anhang Nr. 4
<b>Bohrfirma:</b> Hdrogéo S.A., Delémont	Situation:
<b>Bohrverfahren:</b> Rotationskernbohrung	Logs: Flowmeter
<b>Bohrmeister:</b> Moreira Pedro	<b>Bohrgerät:</b> .
ausgeführt vom 20.5.1999 bis 25.5.1999	
Koordinaten: 587.085/136.810 OK Terrain 1179.23 m ü. M. OK Rohr 1179.73 m ü. M.	
<b>Geol. Aufnahme:</b> Vaudan J., Bussard T.	1: 100

Profondeur (m)	Profil	Kote m.ü.M.	Limites (prof. m)	Lithologie	Geologische Deutung	Wasser	Piezometer	
1		1179.03	0.20	Humus, dunkel braun	Deckschicht, Boden	0,71 9,6.99	1179,73 OKT 1179,23	
2							Voll 1.0	
3								
4								Filter
5								
6					Leicht siltiger sandiger Kies, mittel bis grob, mit Steinen (Ø 10 cm), grau-beige	Alluvialer Schotter Kiessand		
7								
8			1170.63	8.00				8.0
9			1170.93	8.30	Kies, sauber, mittel bis grob	See Ablagerungen		Voll
10			1169.93	9.30	Toniger Silt, grob geschichtet, mit organischen Beimengungen, ganz oben rot, anschliessend dunkelgrau	See Ablagerungen		10.0
11								
12					Kies sauber, mittel, grau	Alluvialer Schotter		Filter
13								
14			1165.33	13.90				14.0
15					Toniger Silt mit wenig Sand, geschichtet, mit organischen Beimengungen, dunkelgrau	See Ablagerungen		Voll
16								
17			1162.83	16.40				17.0
18								
19								
20					Siltiger Kies, fein, mit Sand, grau-beige	Fluvio - glazialer Kies		Filter
21								
22								
23								23.0
24			1155.23	24.00	Siltiger grob Sand, dunkel grau-rot			Voll
25			1154.33	24.90	Toniger Silt mit organischen Beimengungen, dunkelgrau			25.0
26			1153.33	25.90				
27			1151.73	27.50	Stark siltiger Kies, festgelagert, beige	Grundmoräne		

### Anhang 5 : Flowmeterlogs

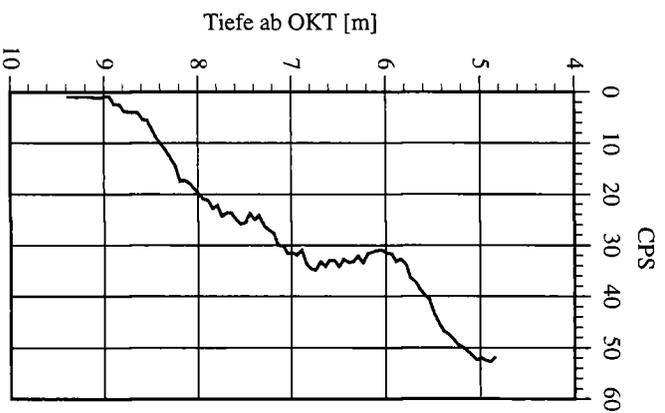
Bohrung KB31

Q=764 l/min  
WEA Nr. 585/148.18



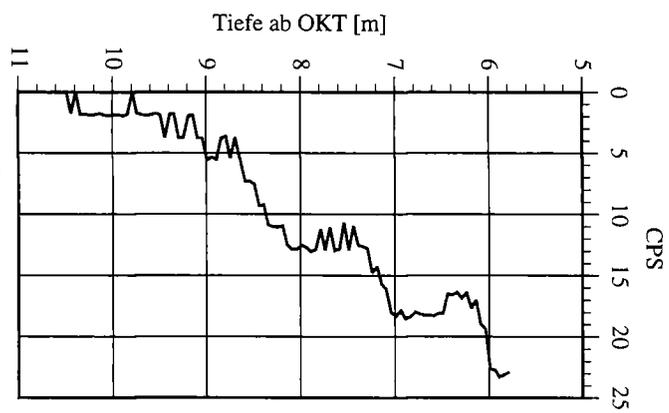
Bohrung KB32

Q=764 l/min  
WEA Nr. 587/143.6



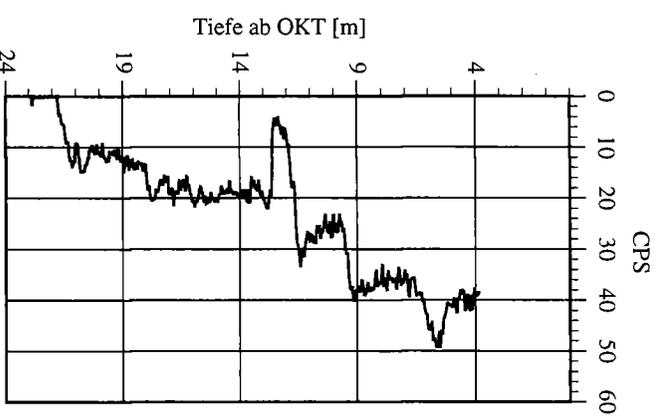
Bohrung KB33

Q=424 l/min  
WEA Nr. 587/142.2

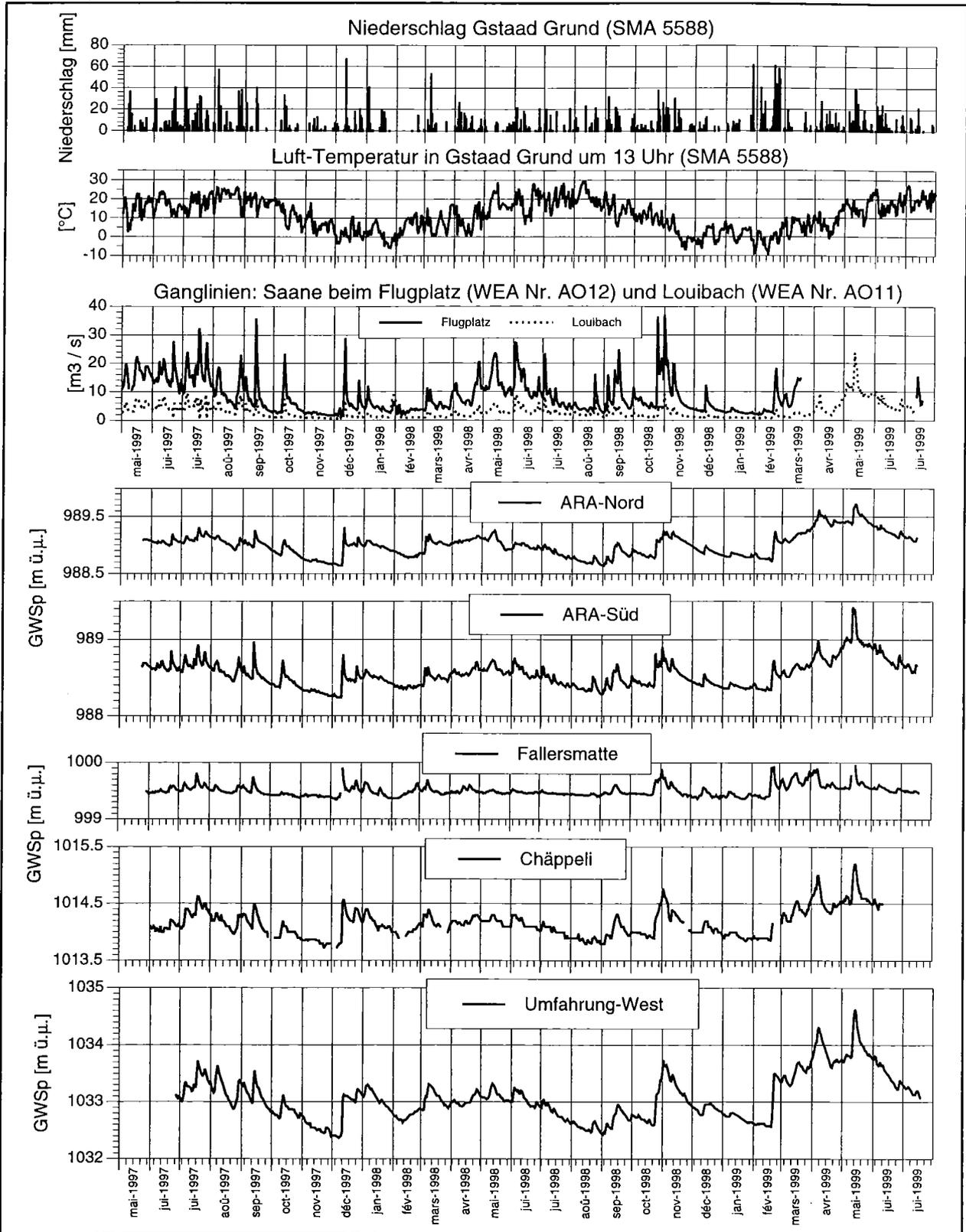


Bohrung KB34

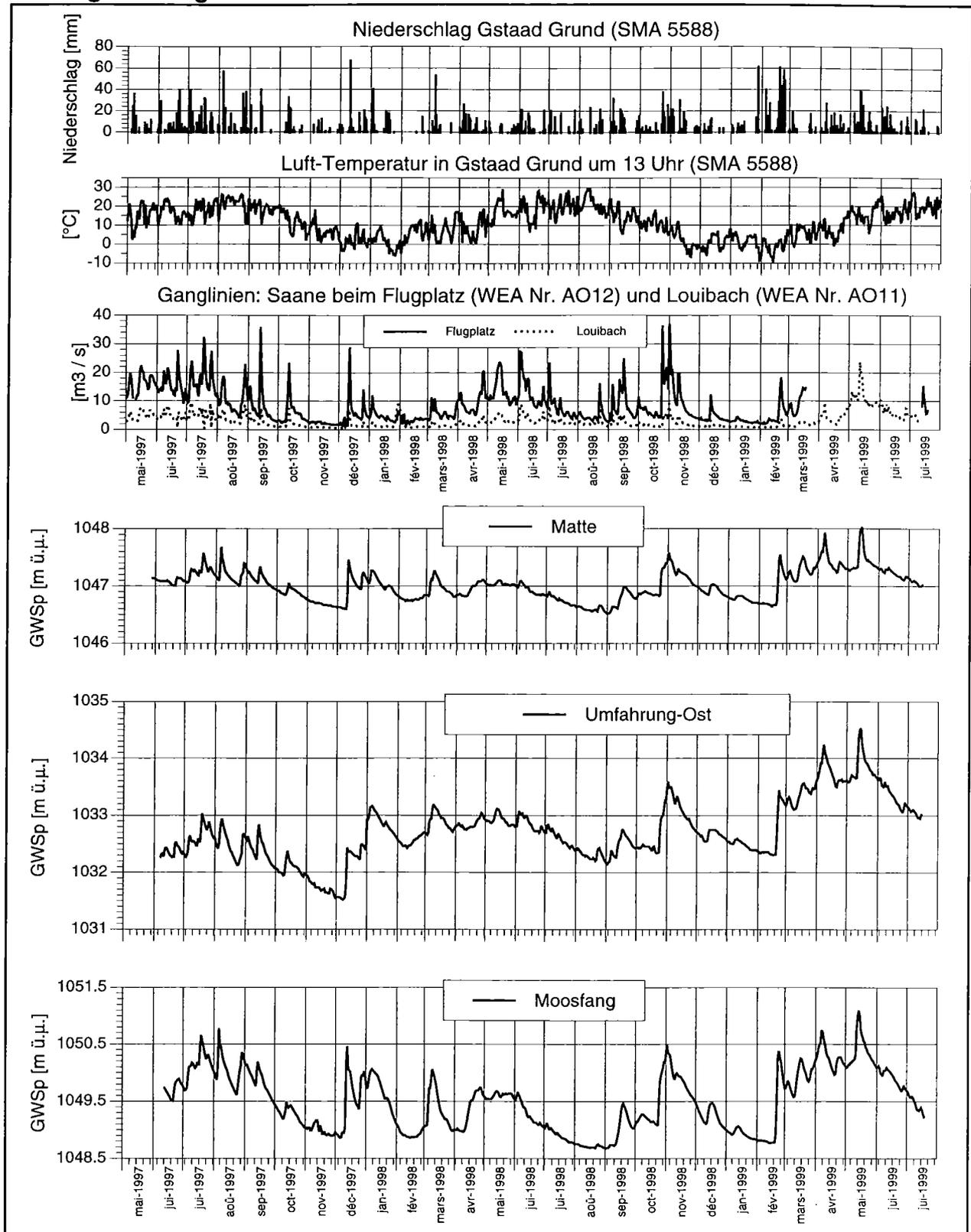
Q=955 l/min  
WEA Nr. 587/136.7



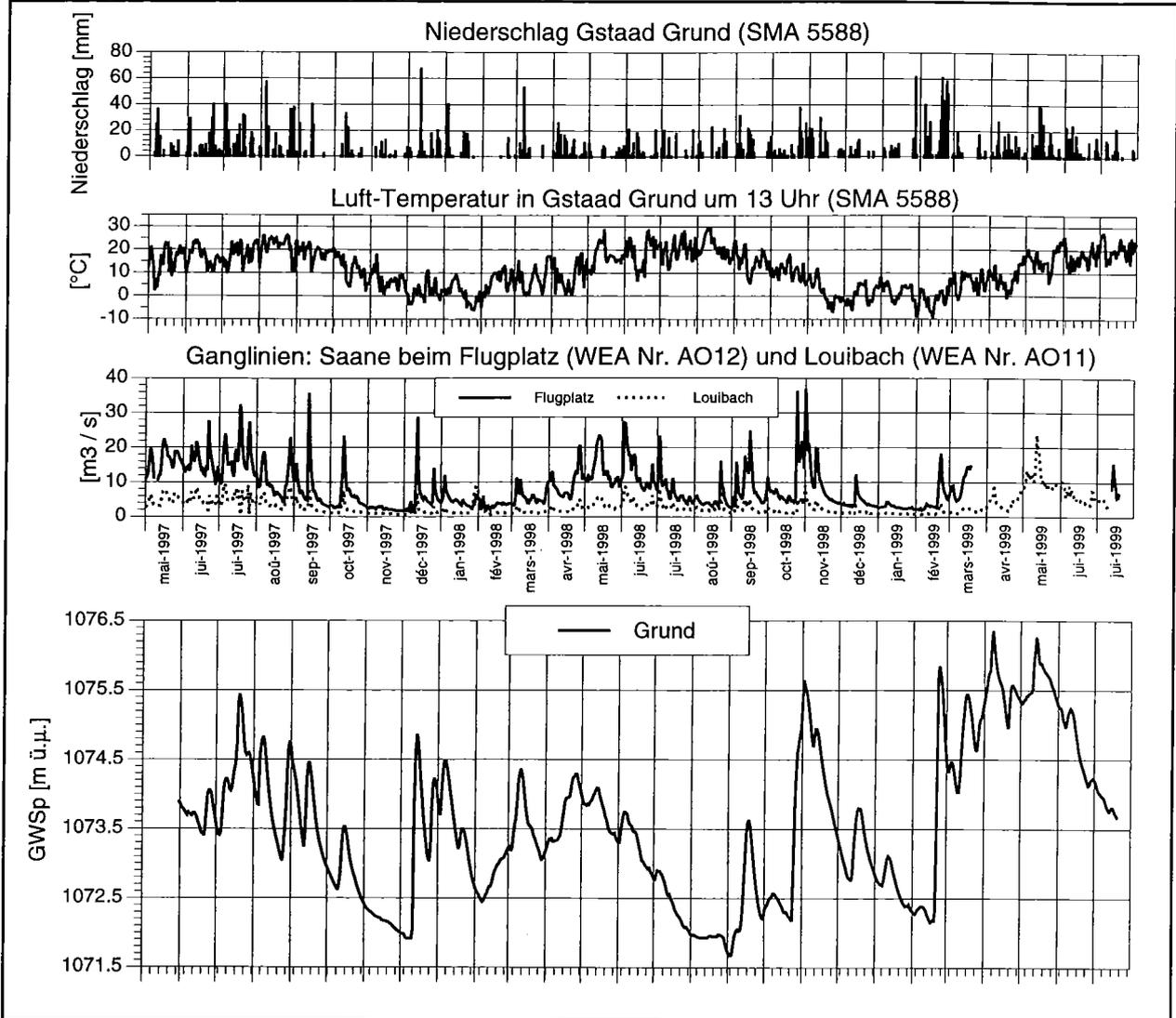
# Anhang 6 : Ganglinien Bereich Saanen - Gschwänd



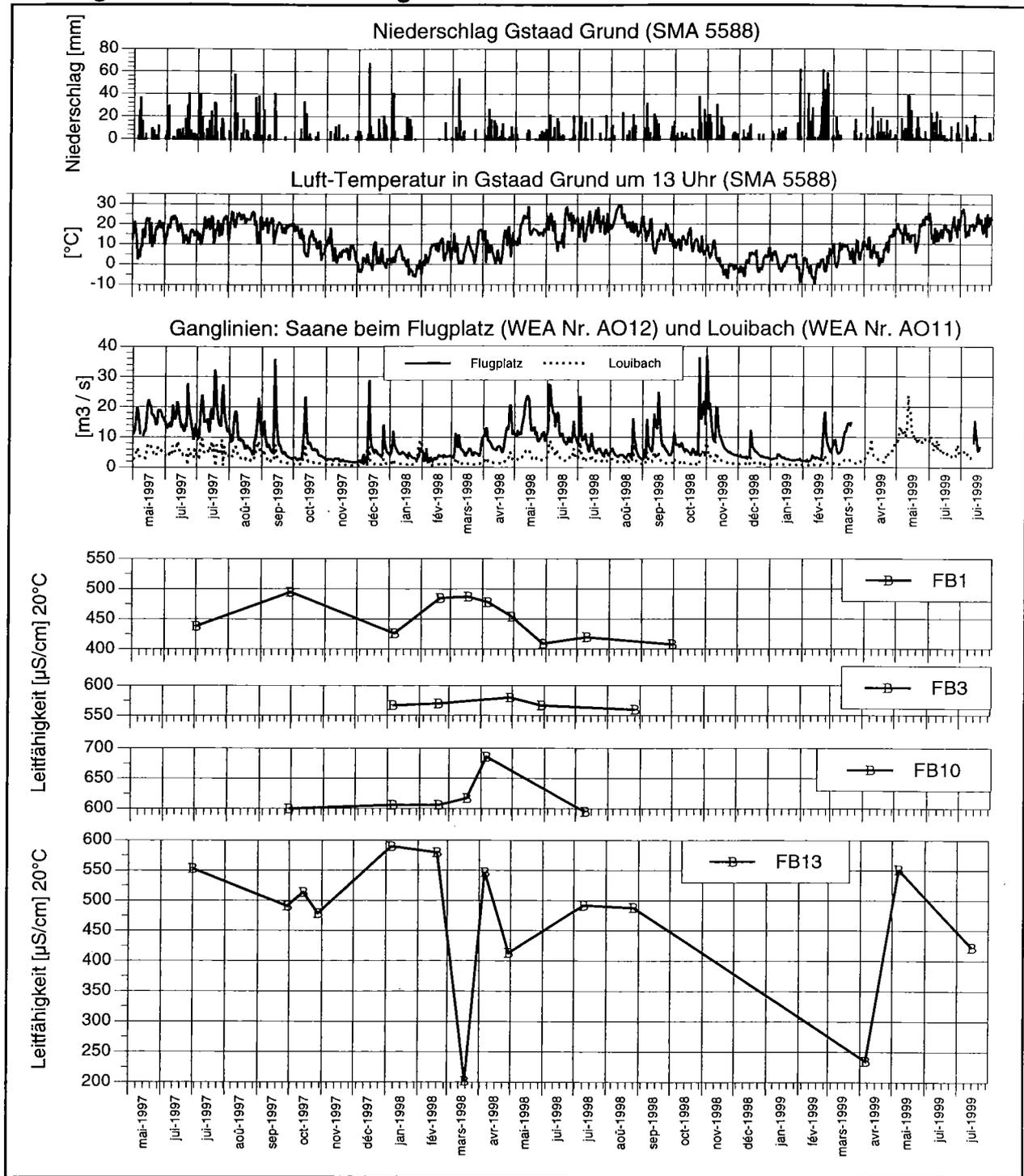
# Anhang 7 : Ganglinien Bereich Gschwänd - Gstaad Matte



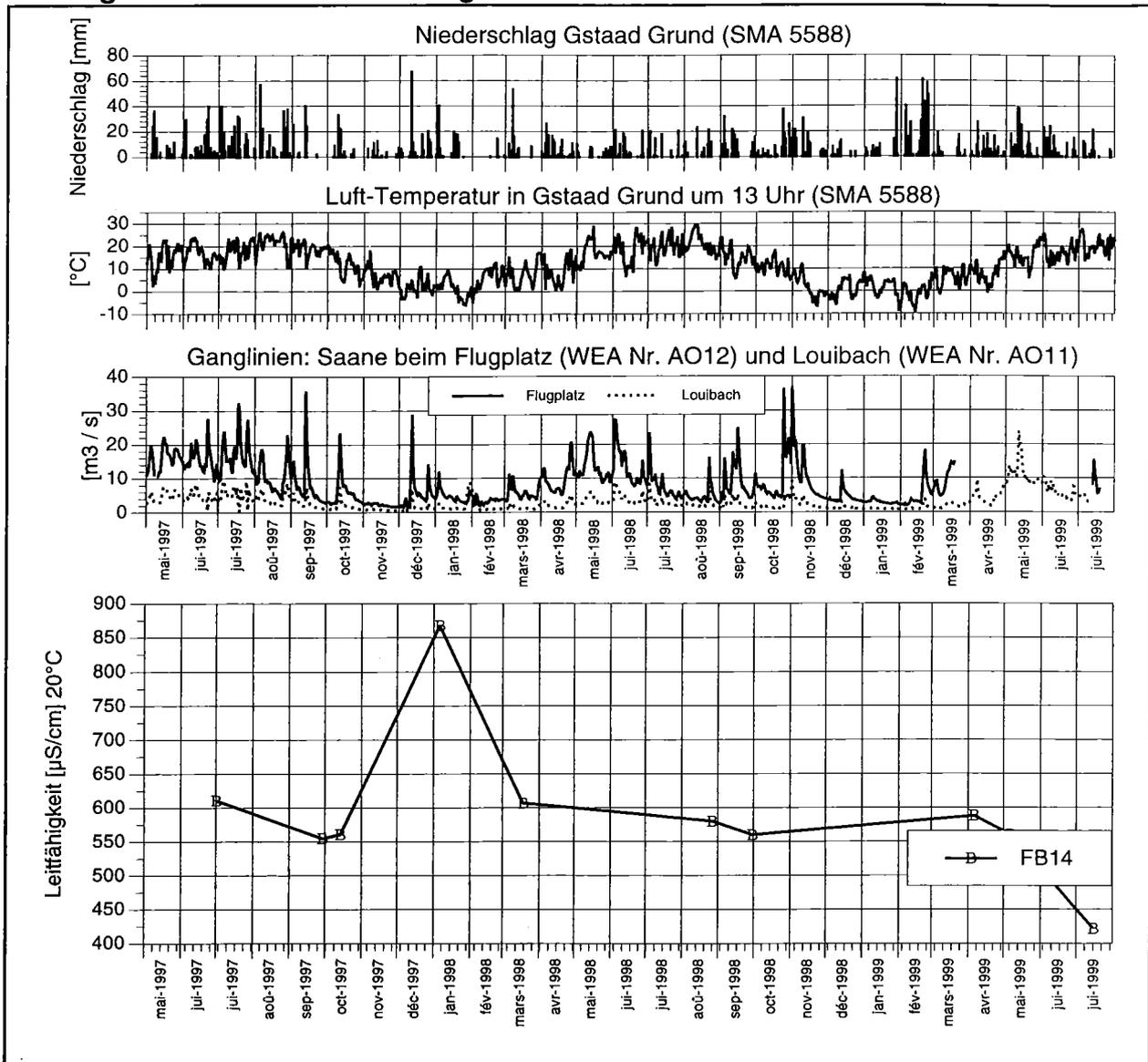
# Anhang 8 : Ganglinien Bereich Grund



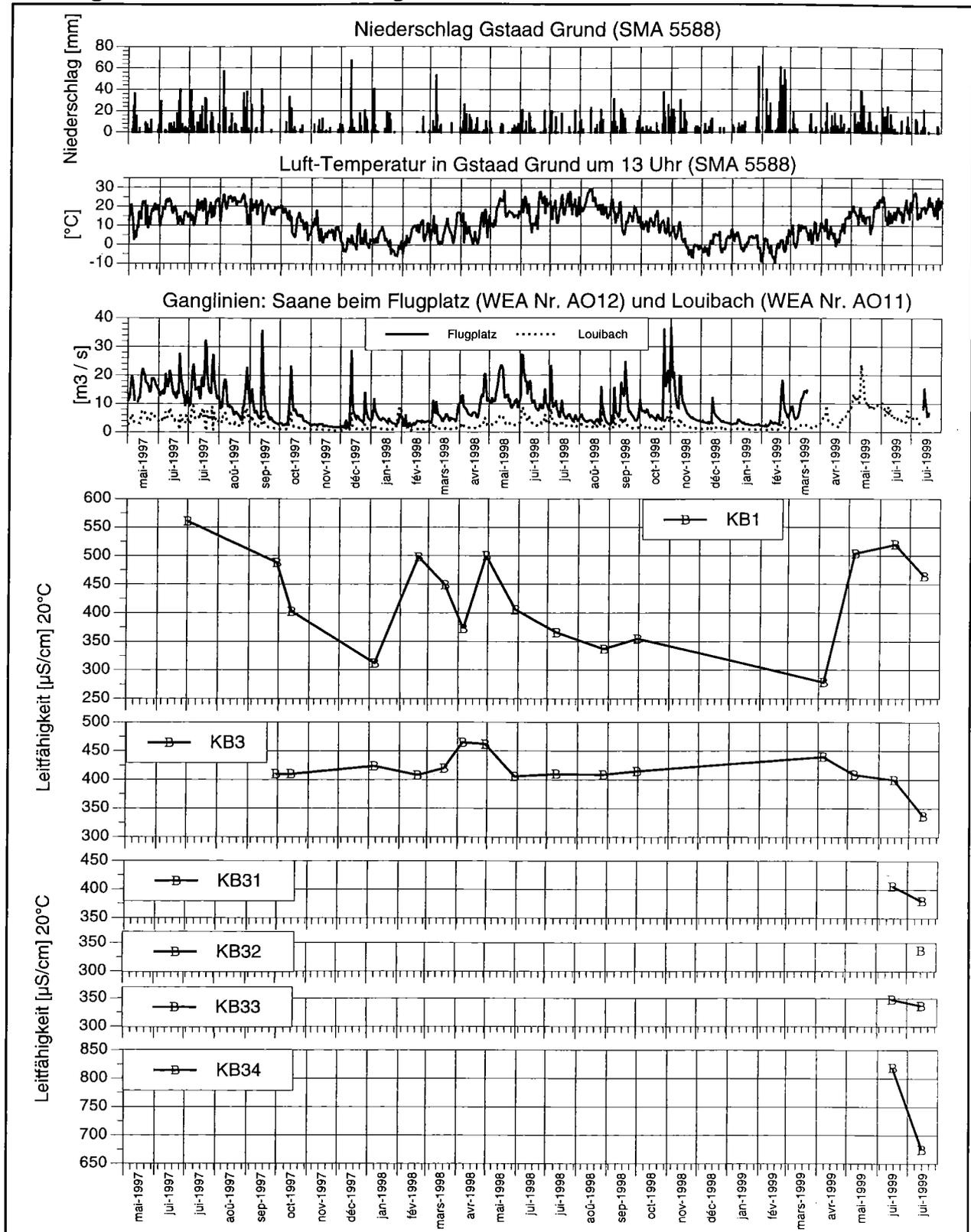
# Anhang 9 : Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 1



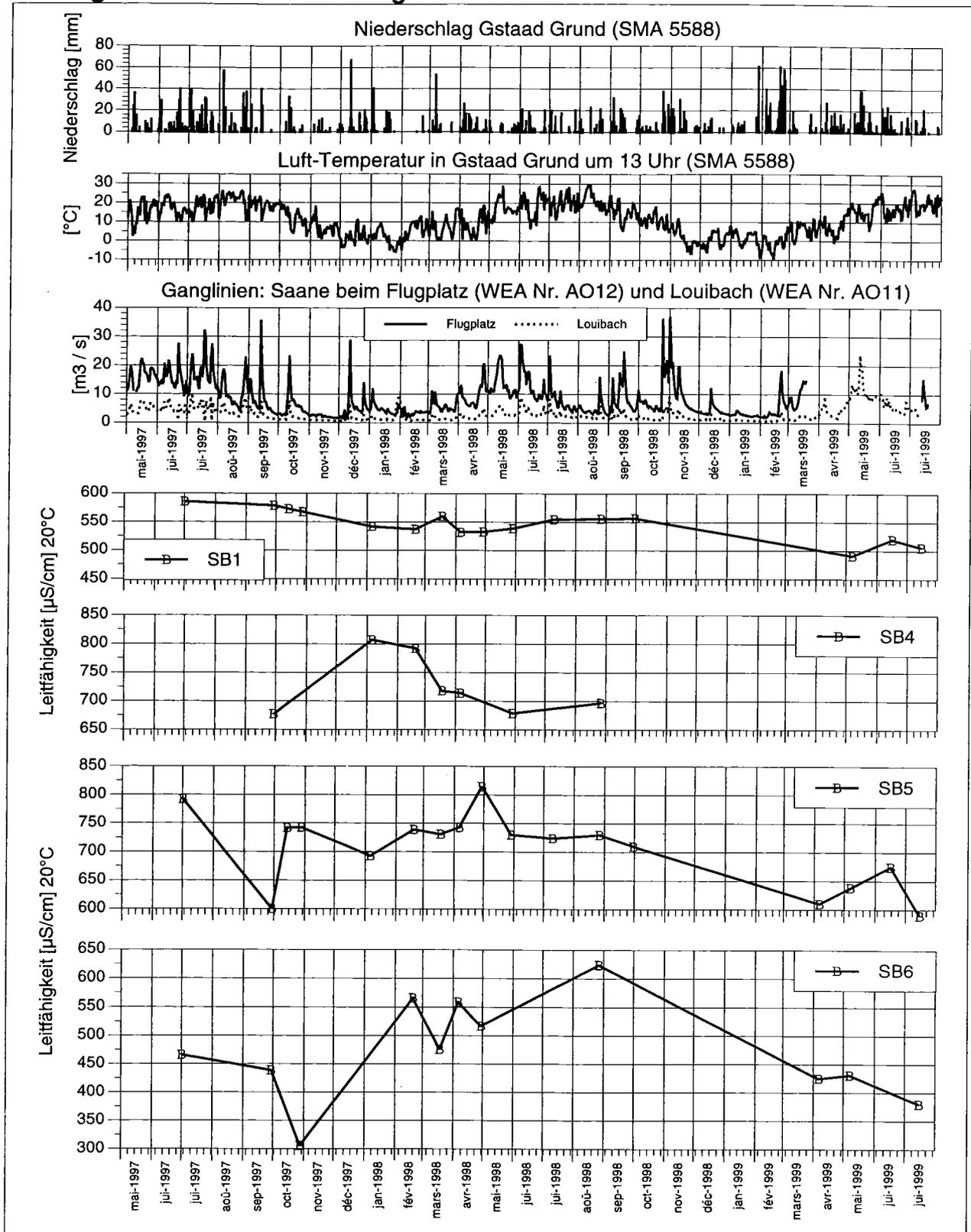
## Anhang 10 : Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 2



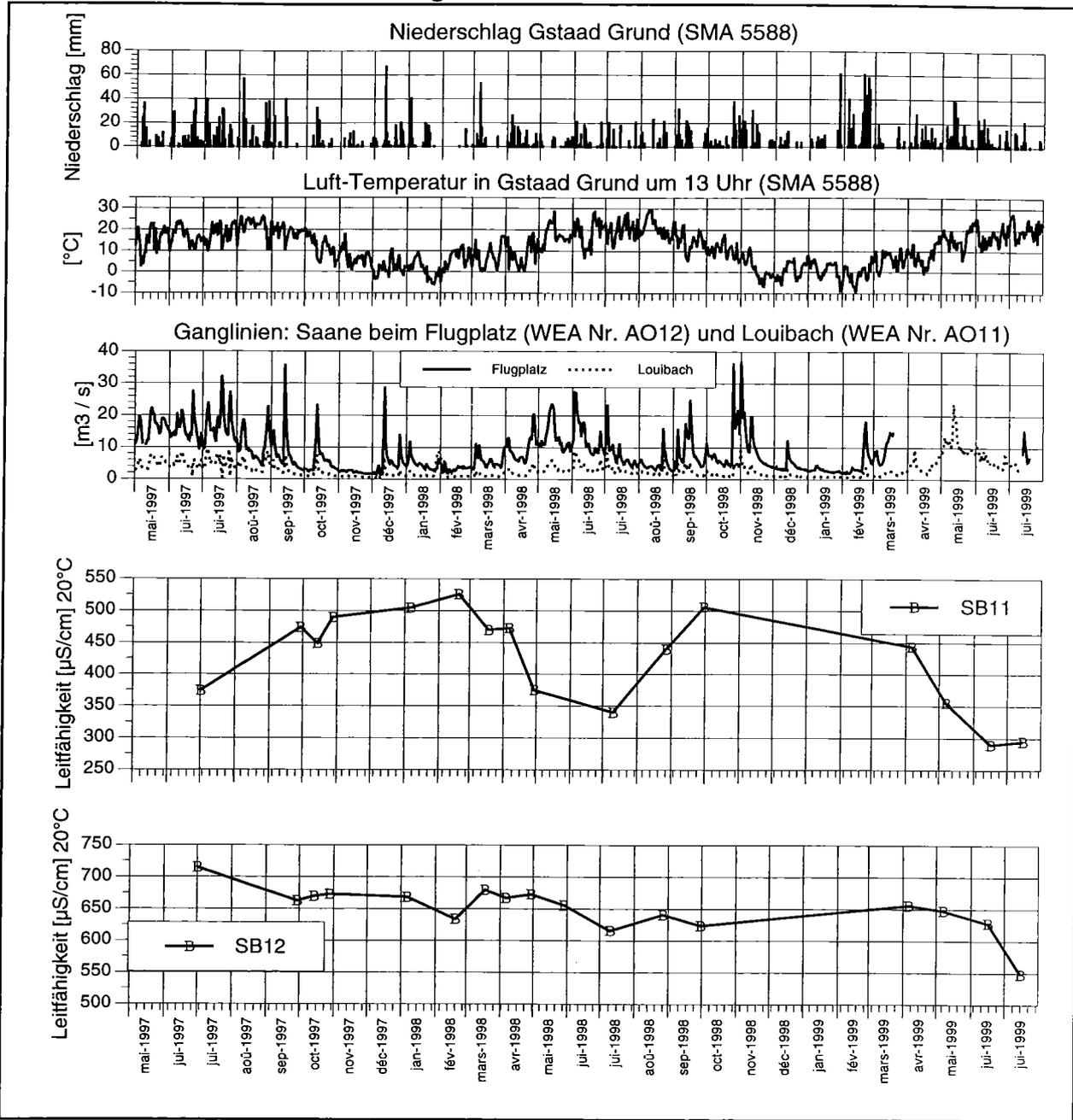
# Anhang 11 : Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 3



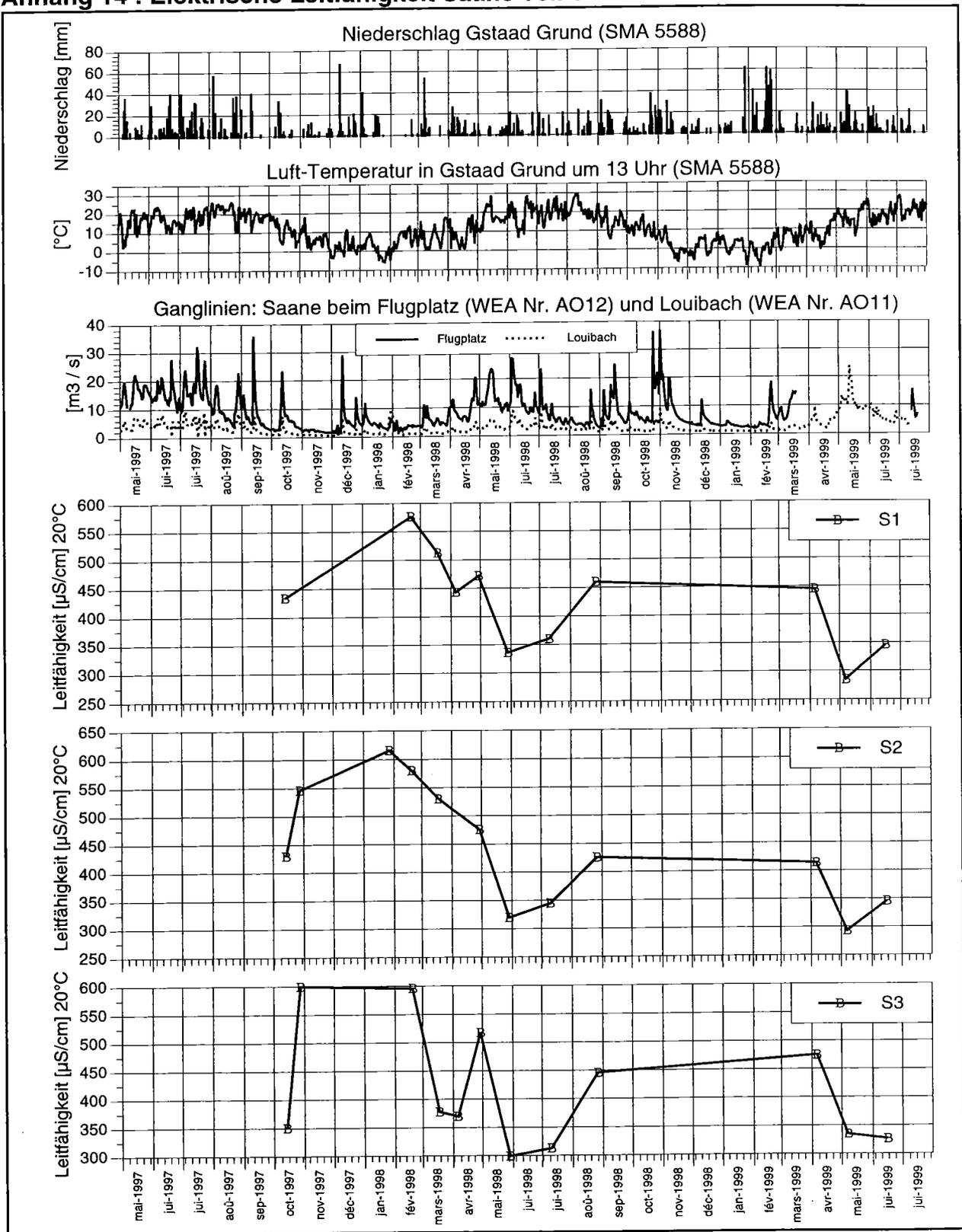
# Anhang 12 : Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 4



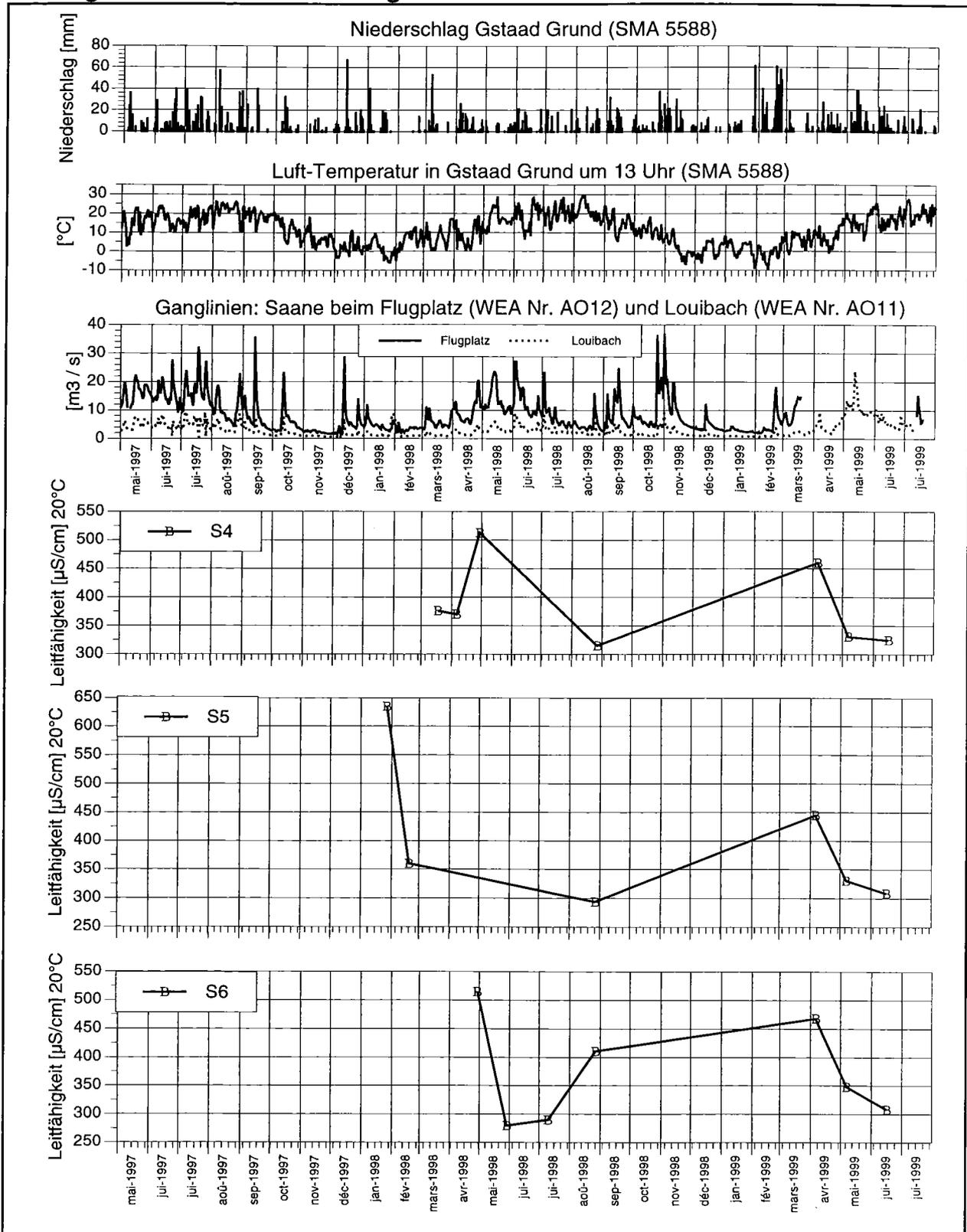
# Anhang 13 : Elektrische Leitfähigkeit Grundwasser Teil 5



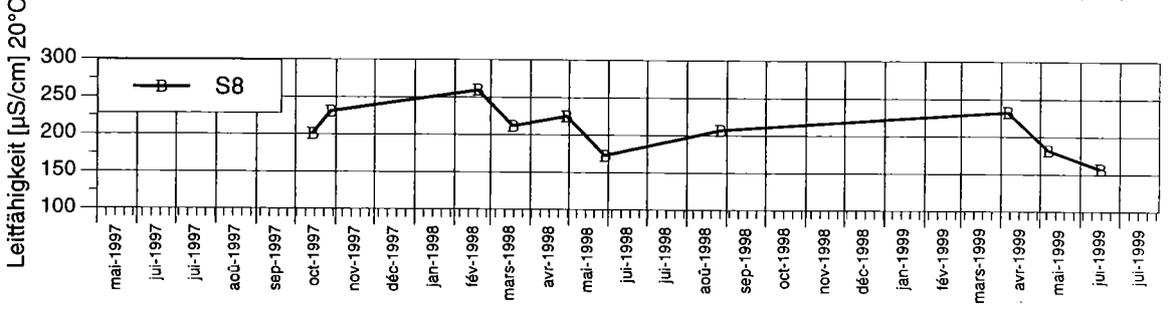
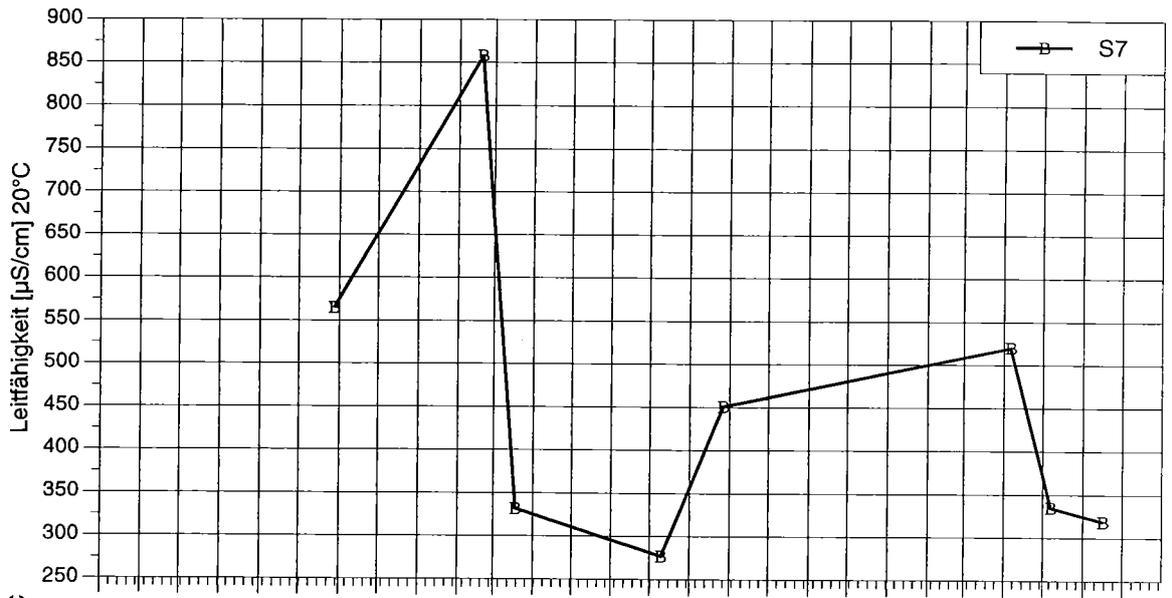
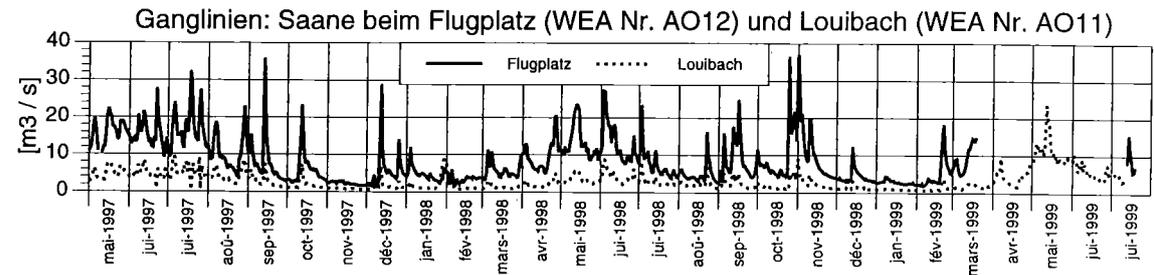
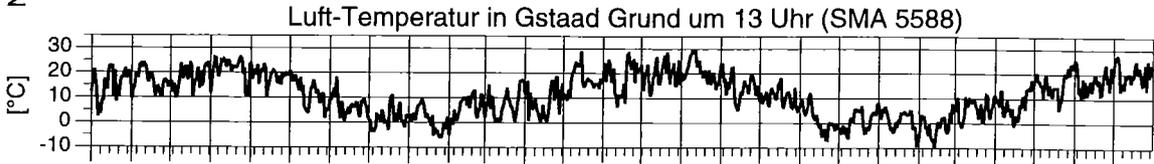
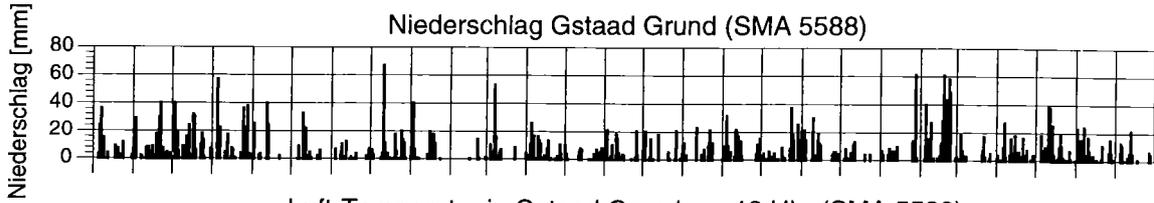
# Anhang 14 : Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 1



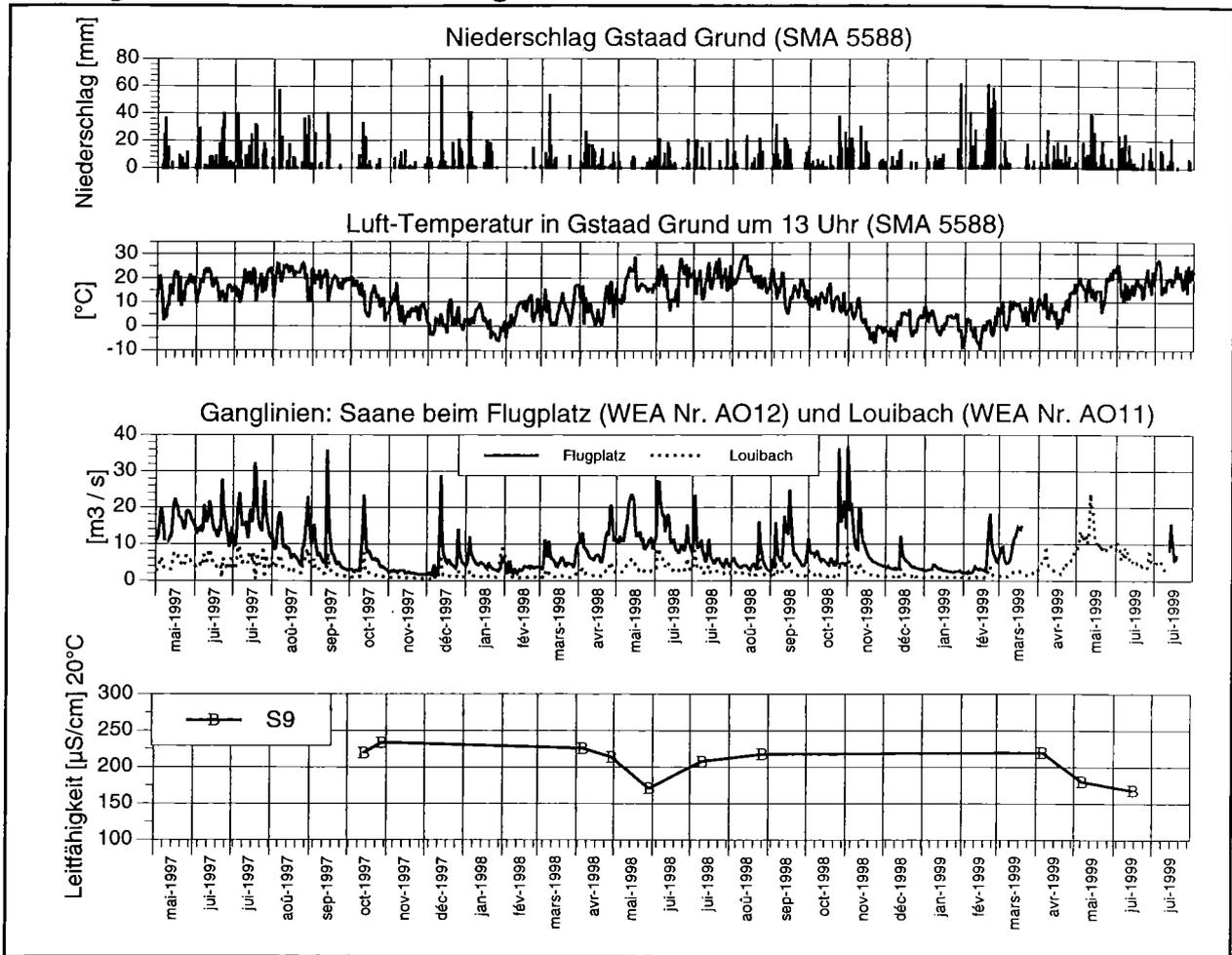
# Anhang 15 : Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 2



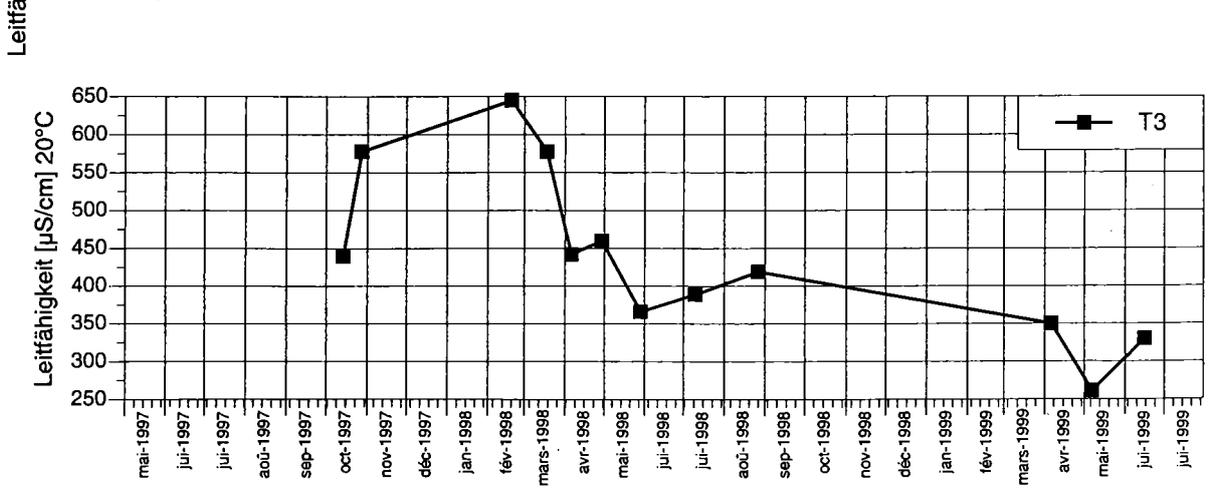
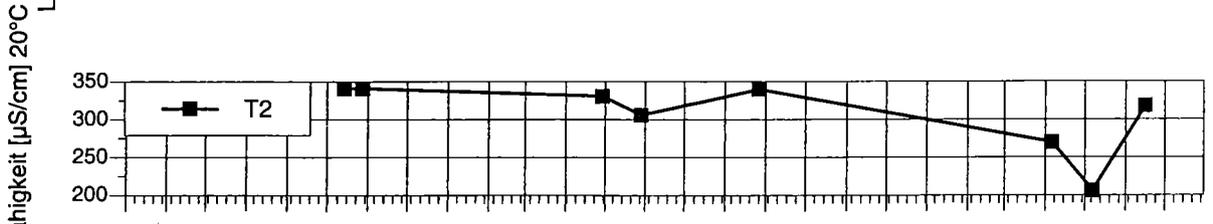
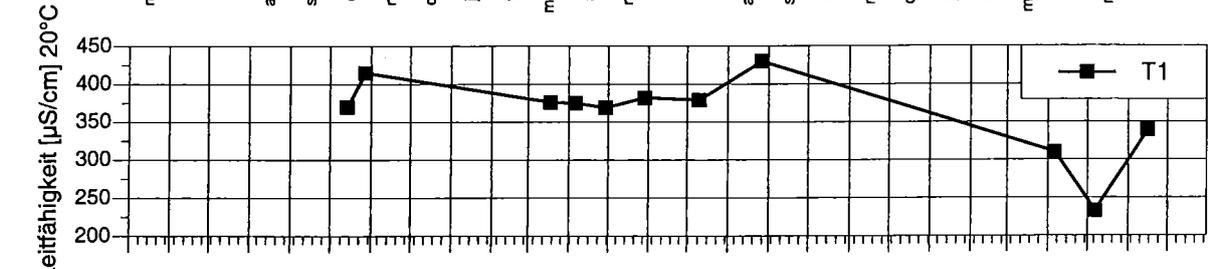
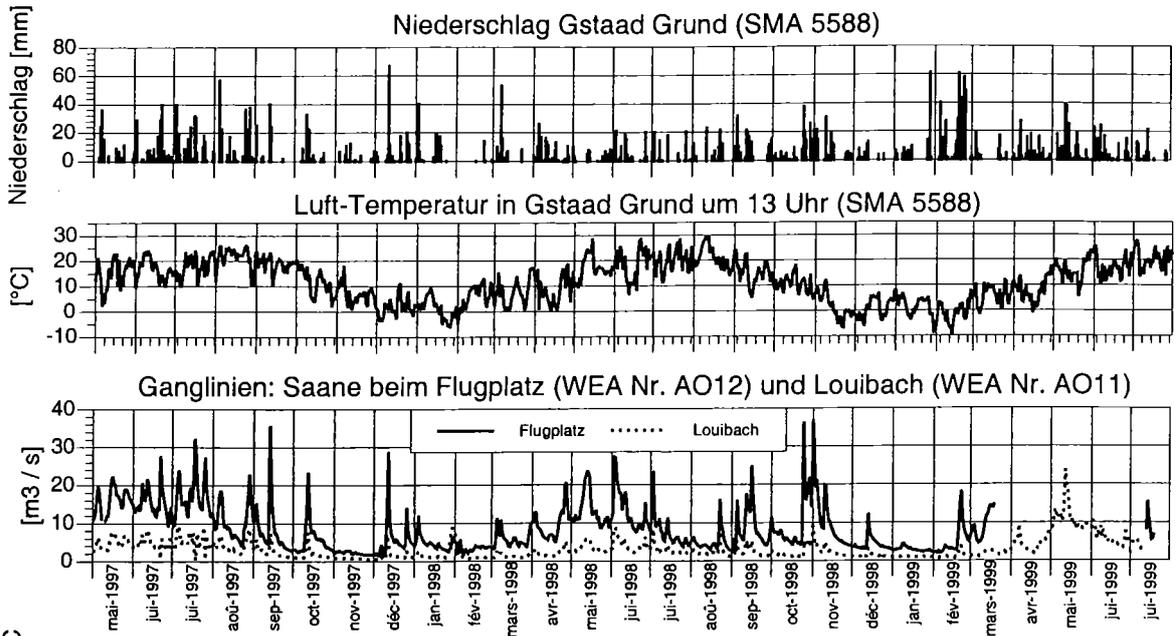
# Anhang 16 : Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 3



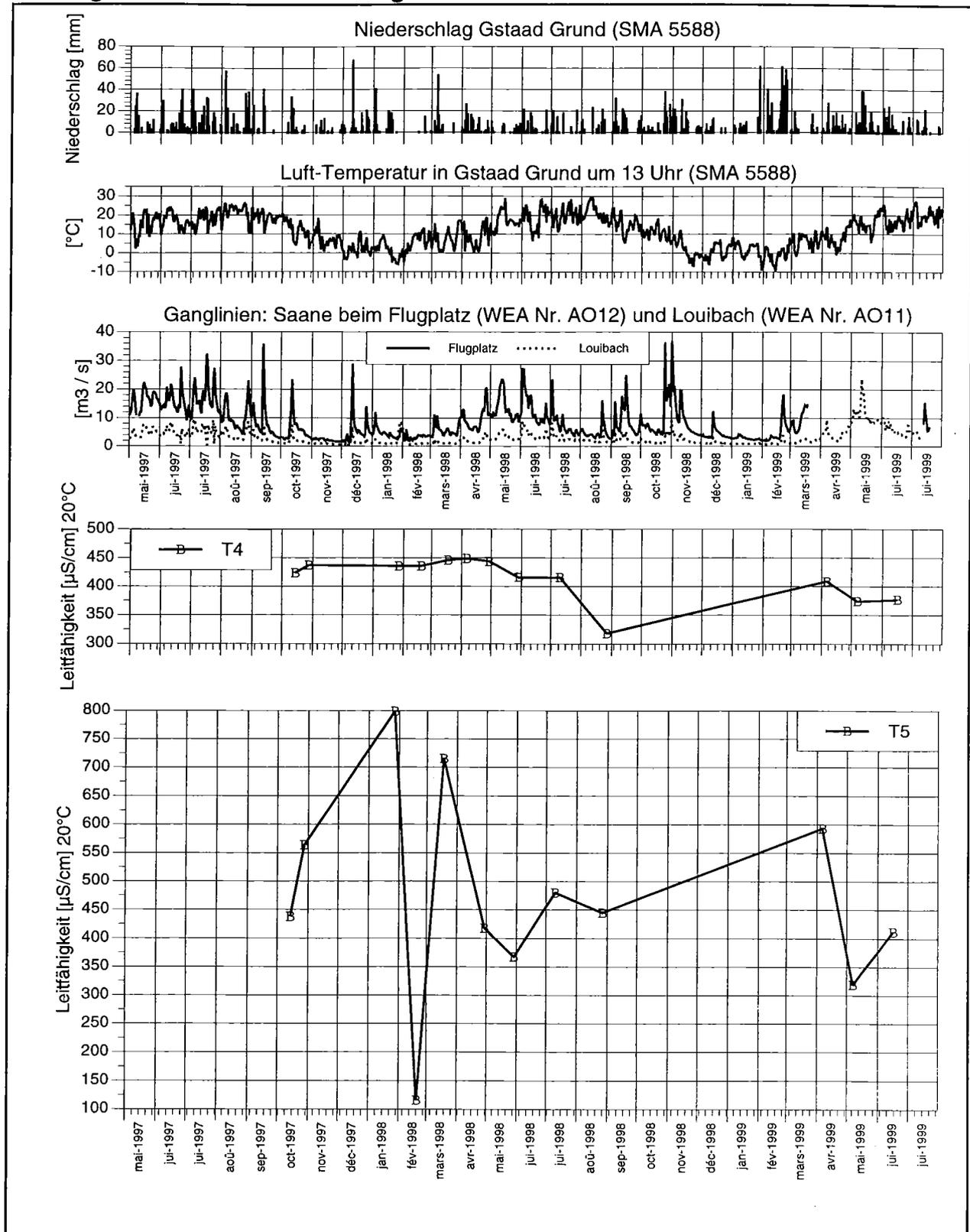
# Anhang 17 : Elektrische Leitfähigkeit Saane Teil 4



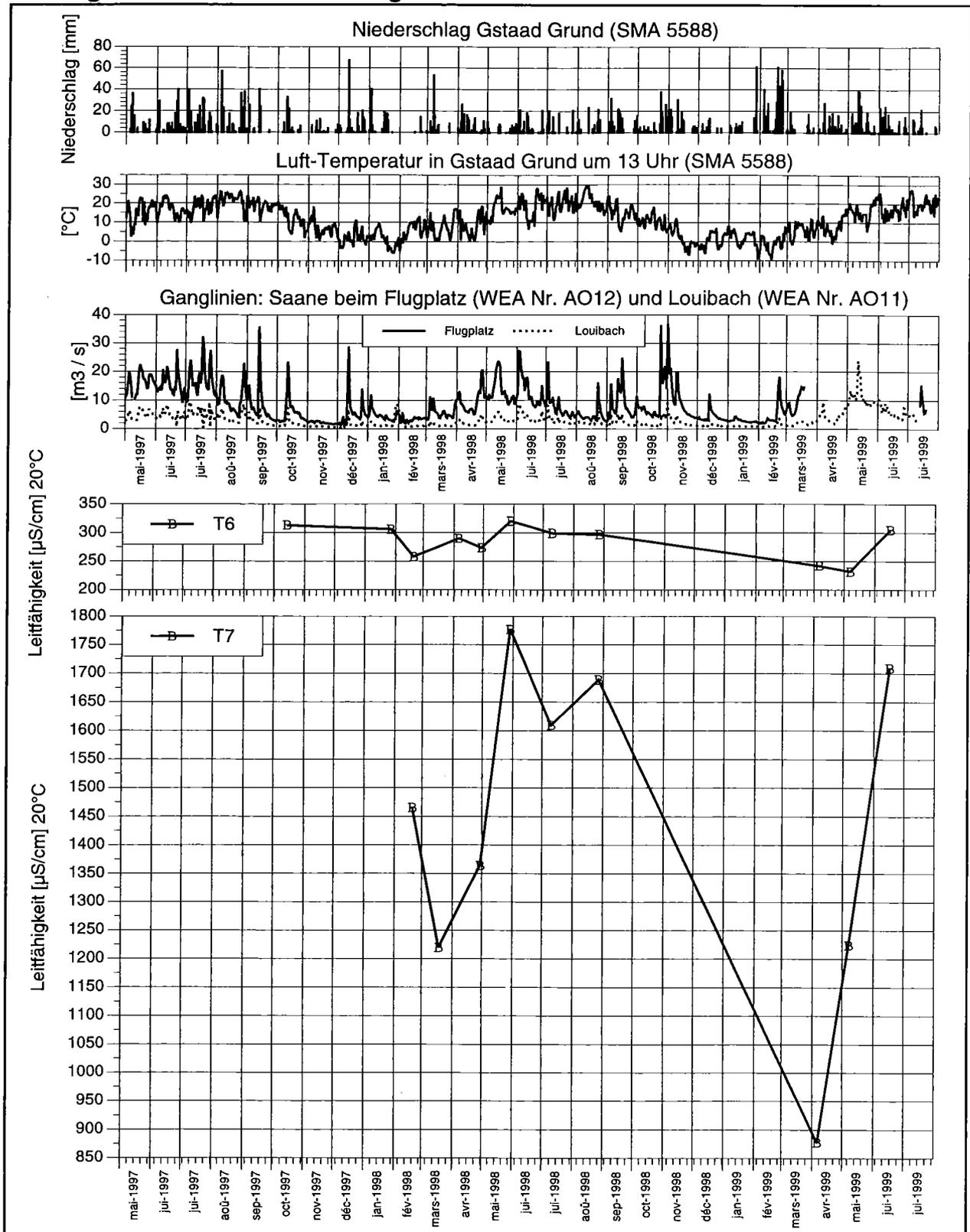
# Anhang 18 : Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 1



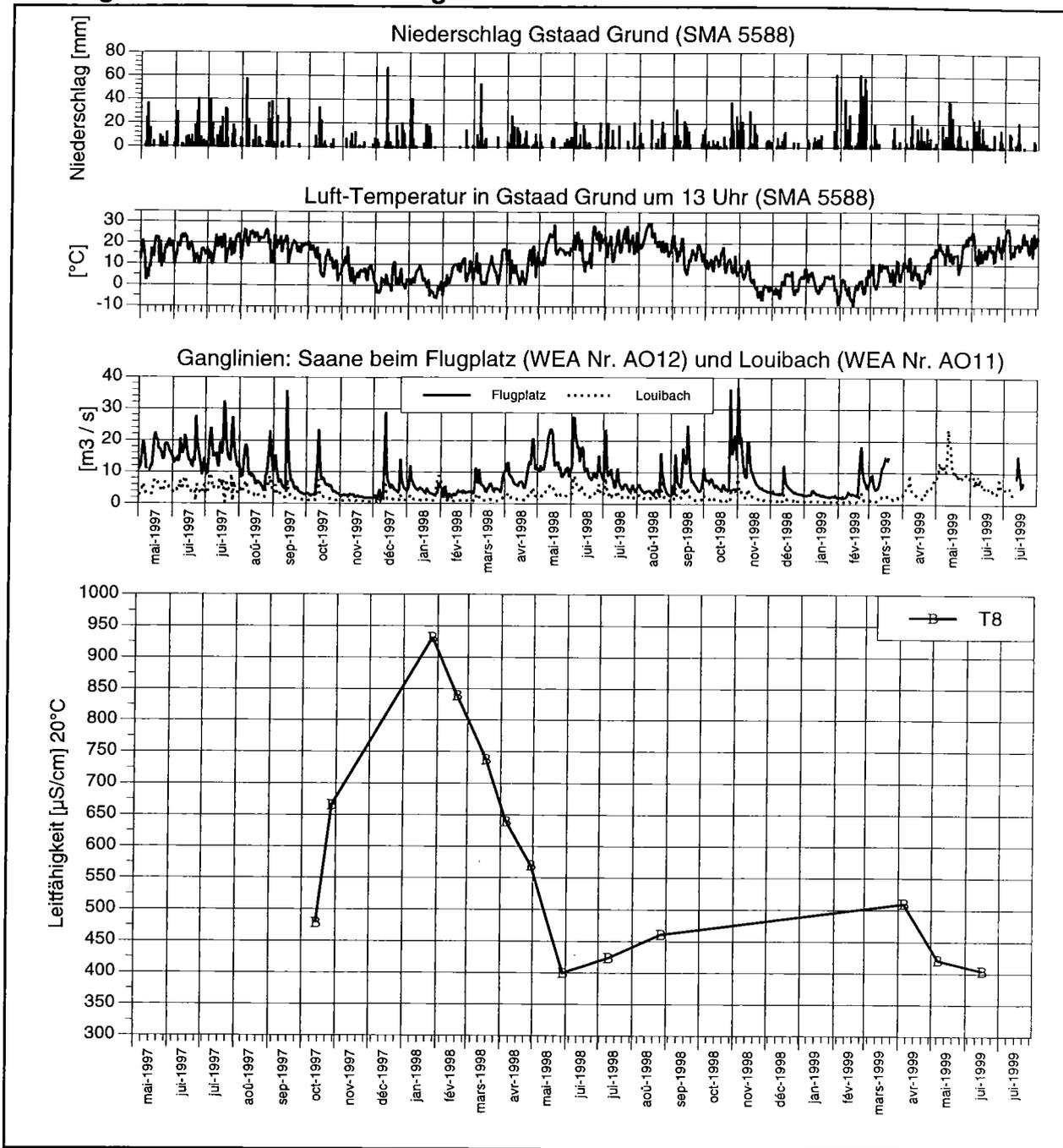
# Anhang 19 : Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 2



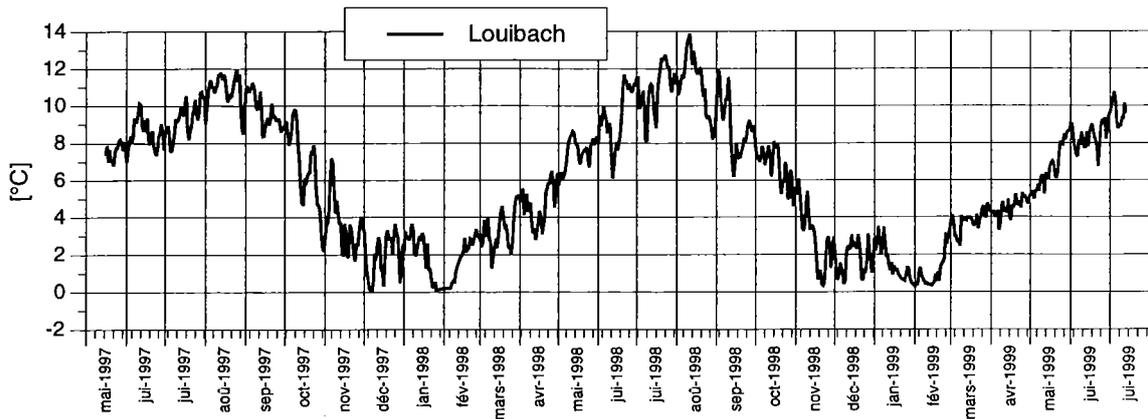
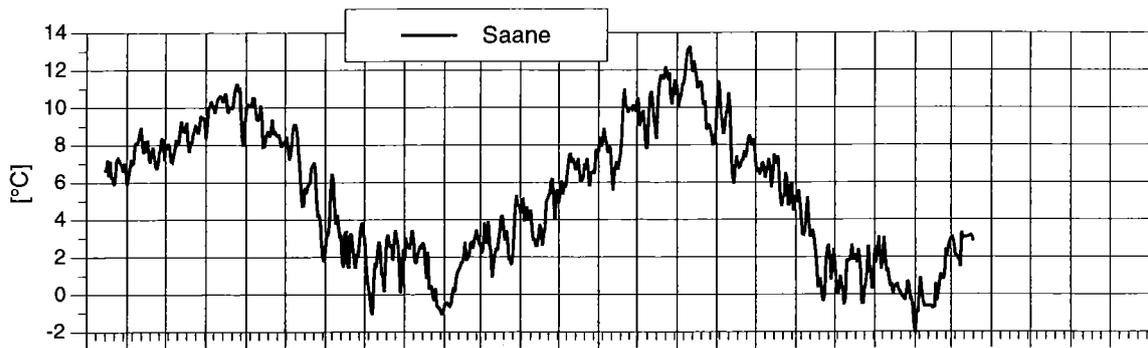
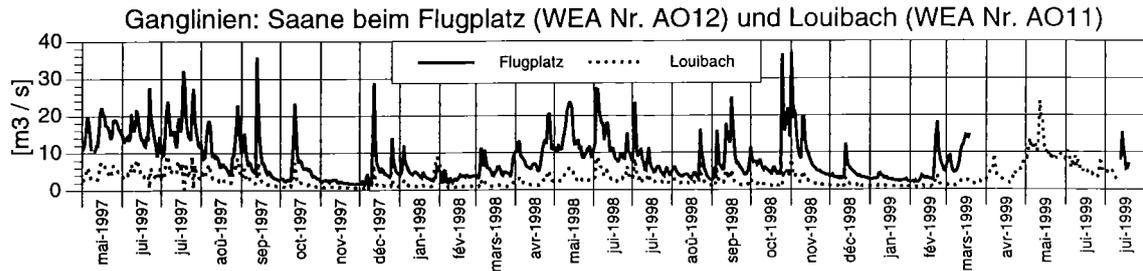
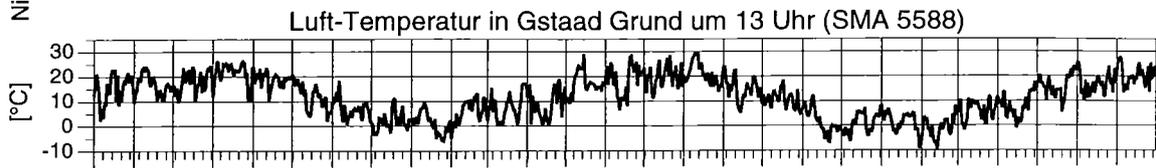
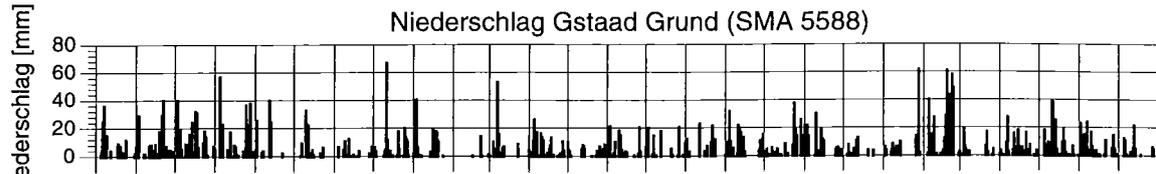
# Anhang 20 : Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 3



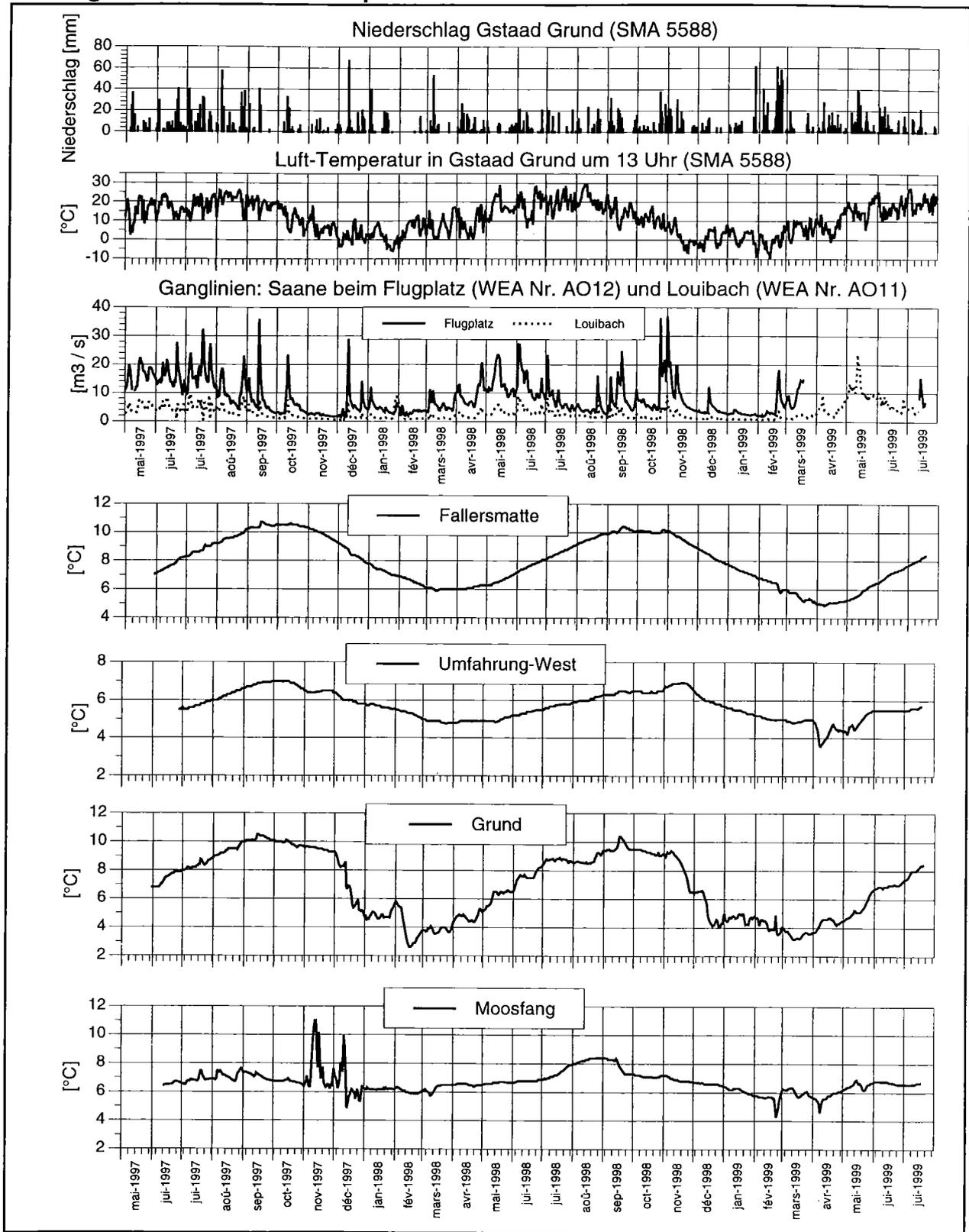
# Anhang 21 : Elektrische Leitfähigkeit Seitenbäche Teil 4



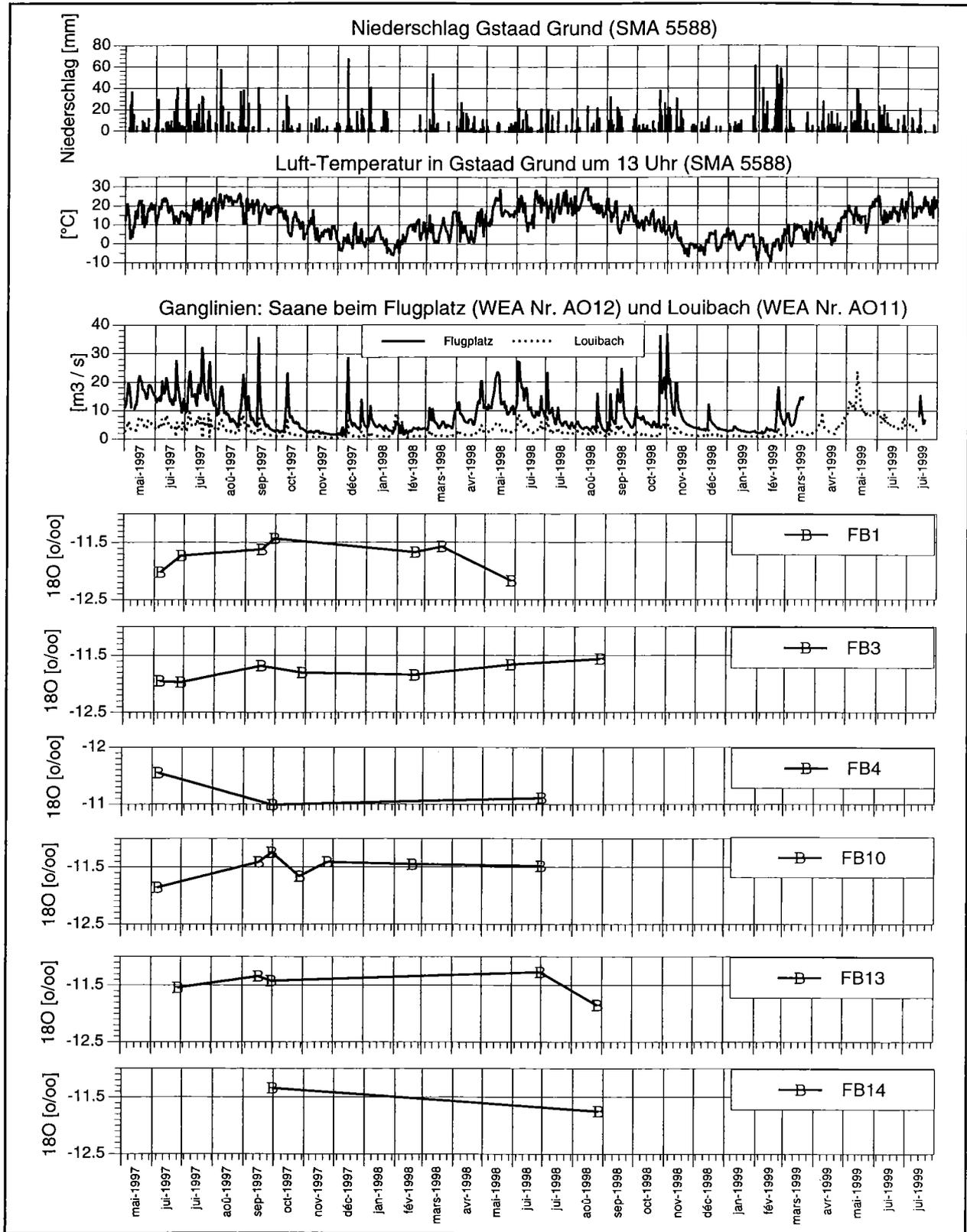
## Anhang 22 : Temperaturen Oberflächengewässer



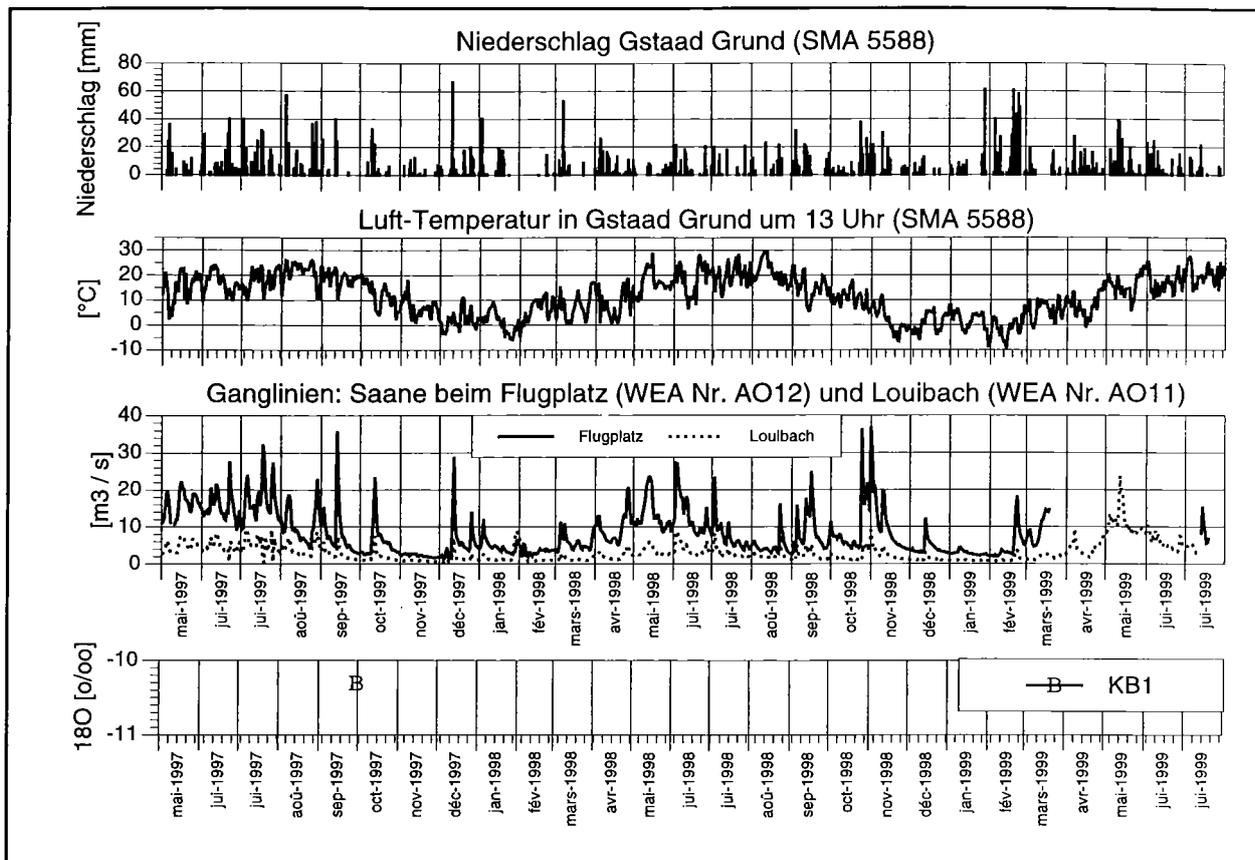
# Anhang 23 : Grundwassertemperaturen



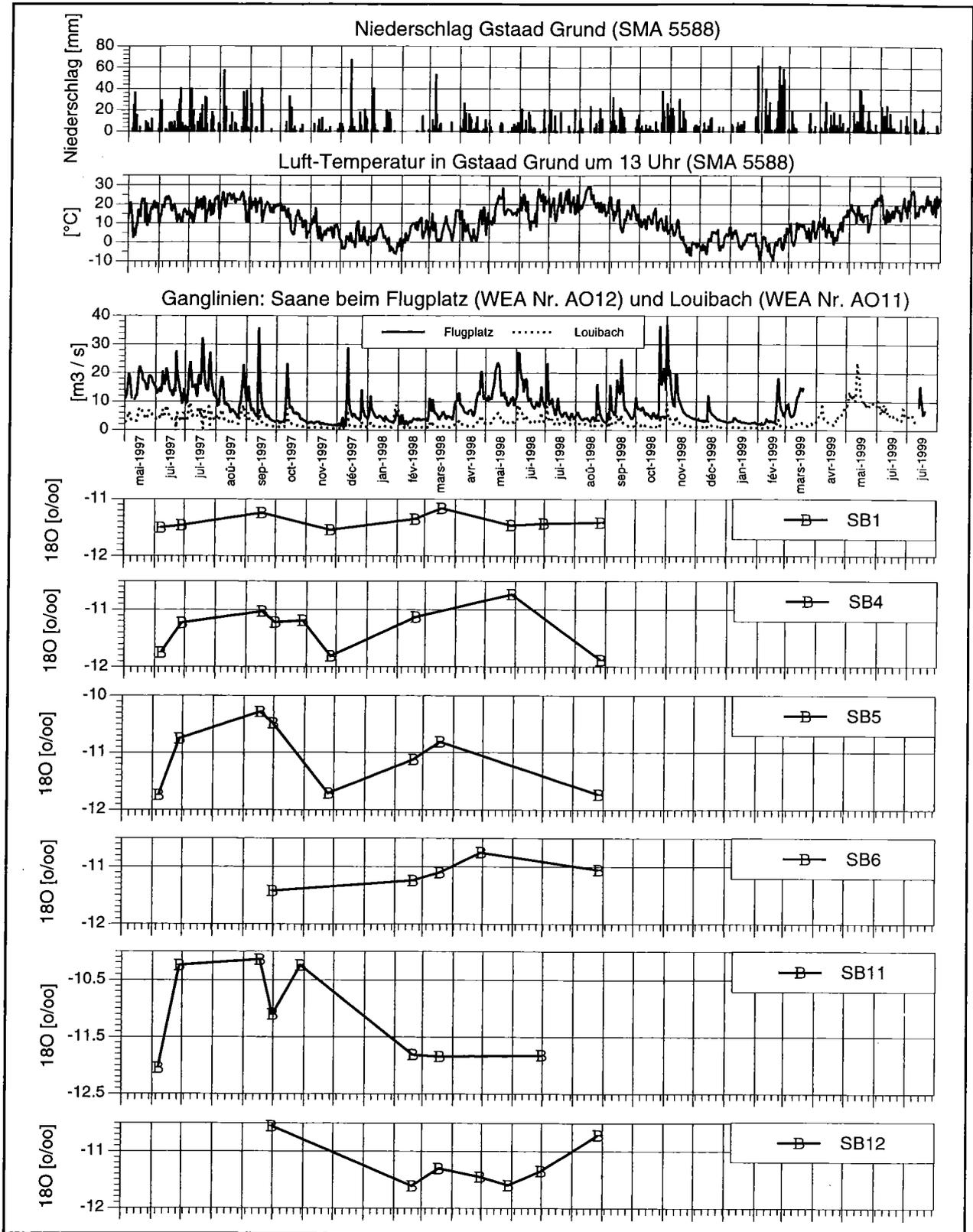
# Anhang 24 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Grundwasser Teil 1



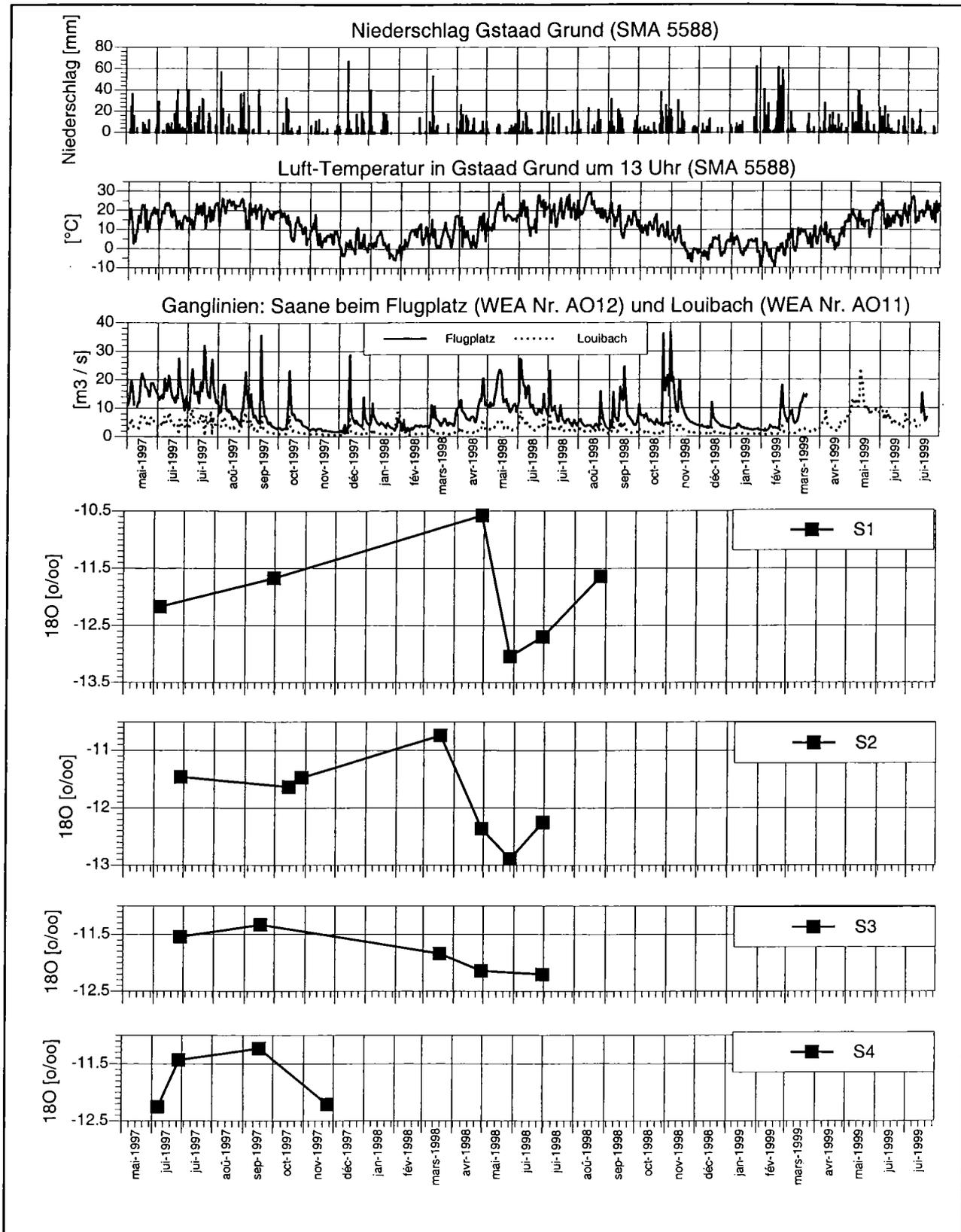
# Anhang 25 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Grundwasser Teil 2



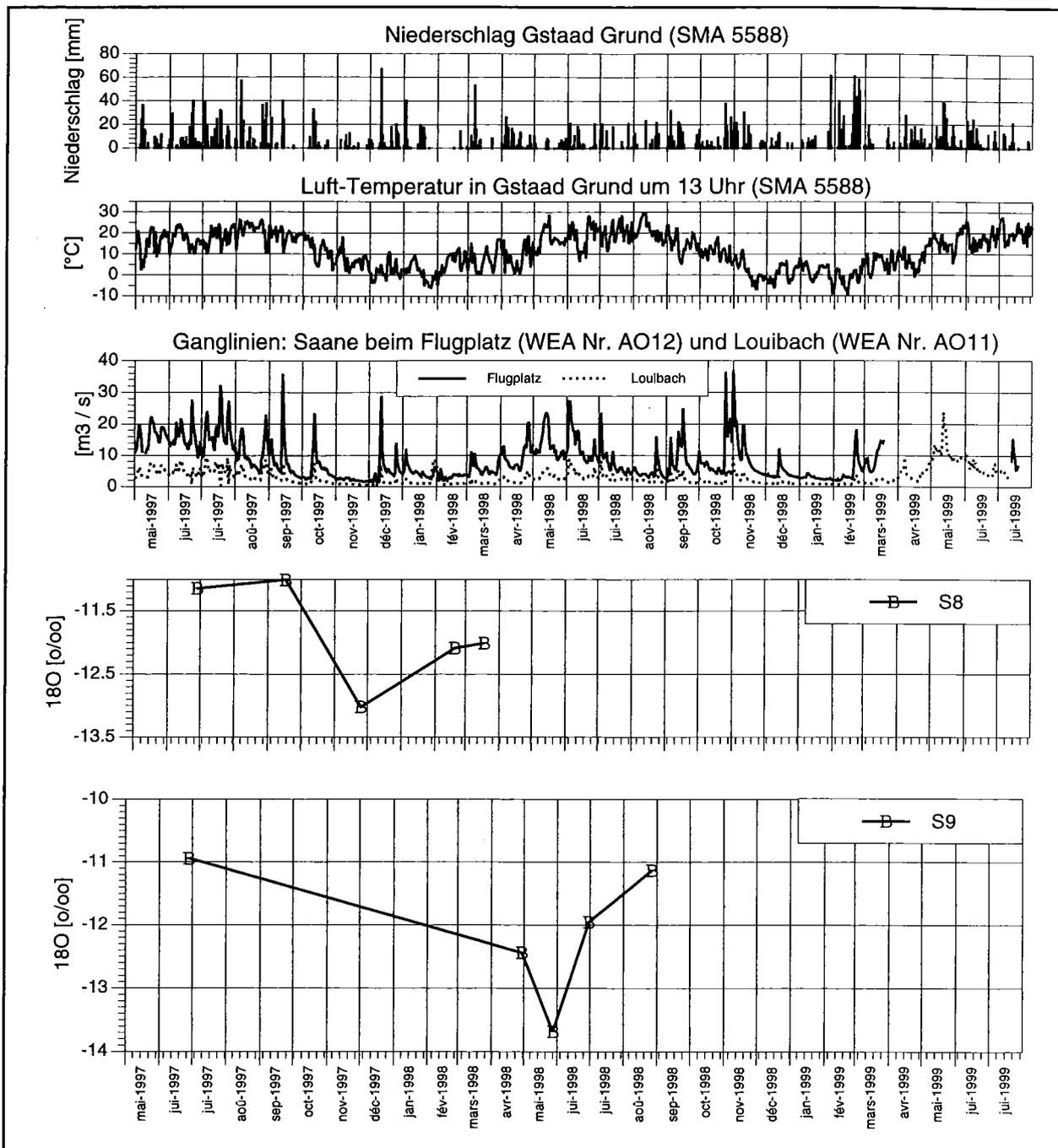
# Anhang 26 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Grundwasser Teil 3



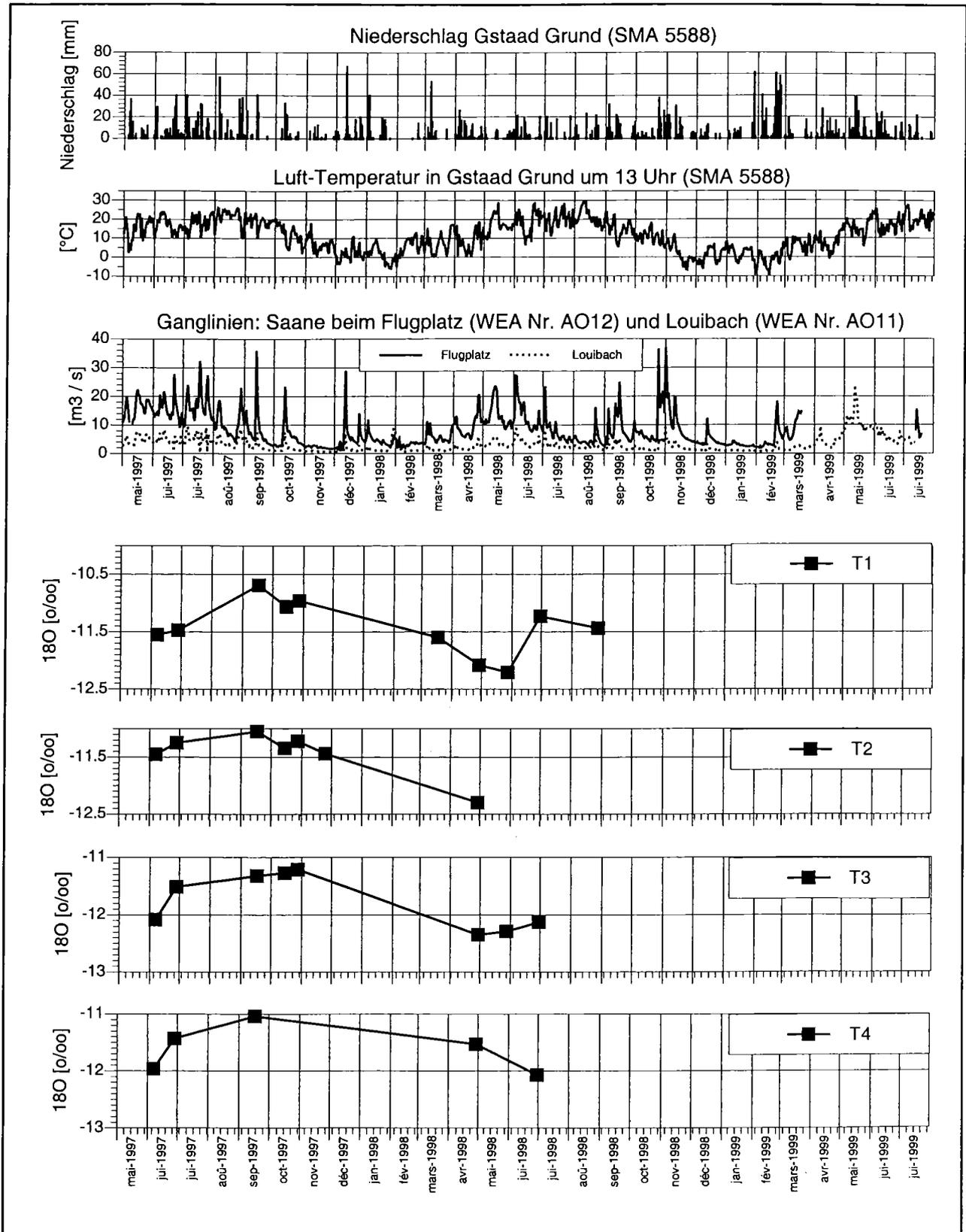
# Anhang 27 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Saane Teil 1



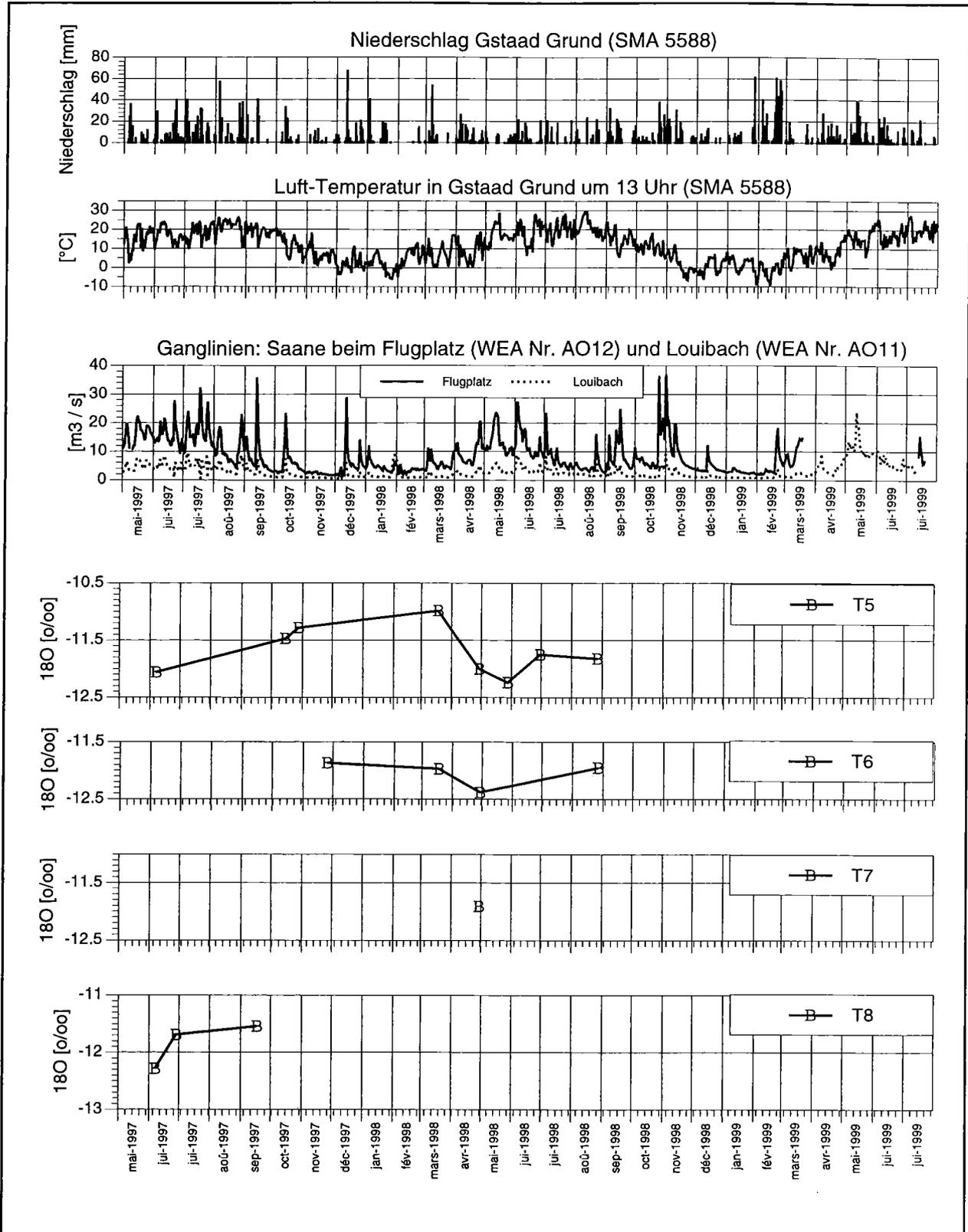
# Anhang 28 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Saane Teil 2



# Anhang 29 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Seitenbäche Teil 1



# Anhang 30 : Sauerstoff-Isotop $\delta^{18}\text{O}$ Seitenbäche Teil 2



# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Oberes Saanetal

Grundkarte 1 : 25 000

Geologische Profile L ~ 1 : 25 000 H ~ 1 : 2 500



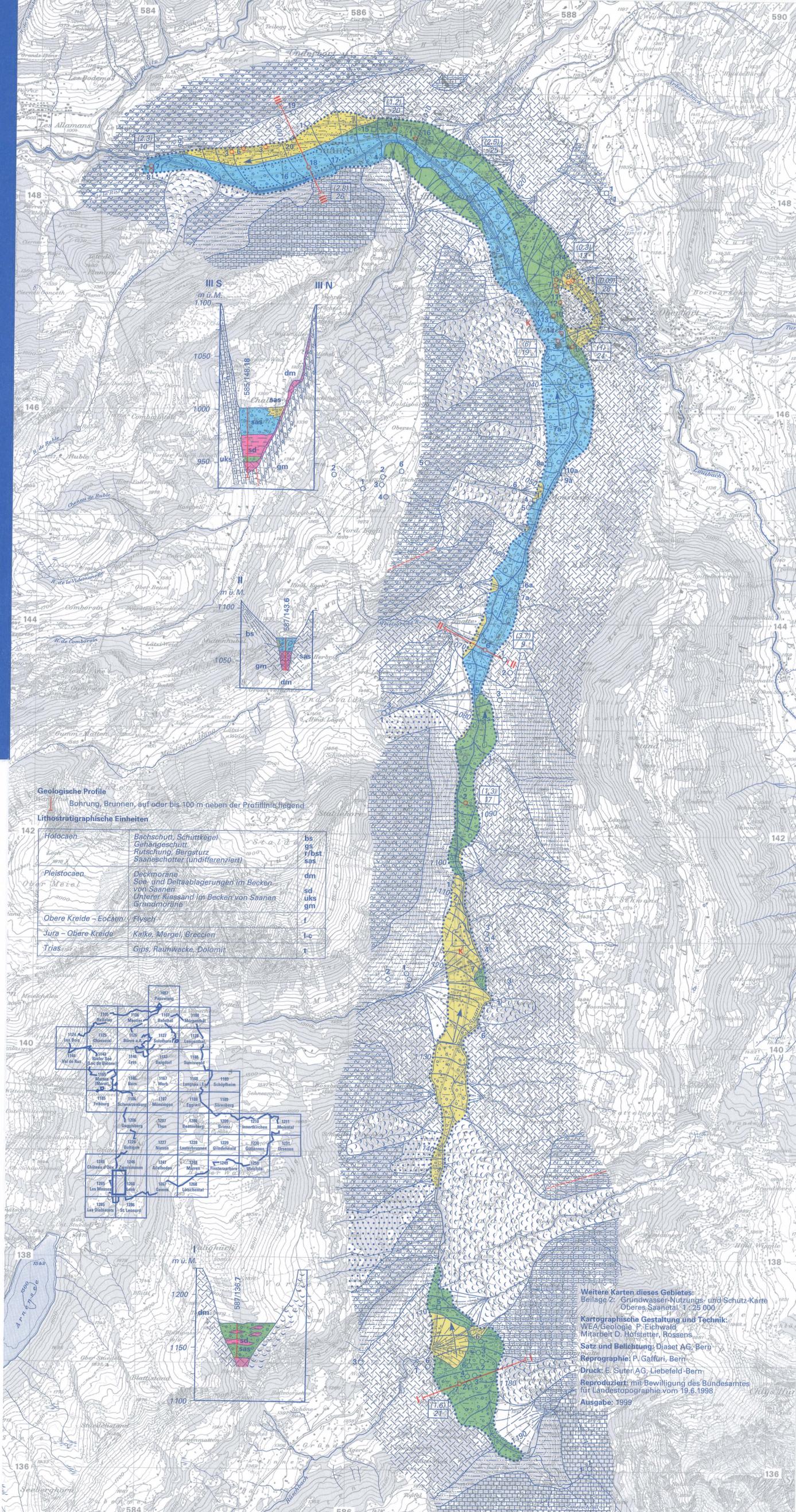
**WEA**

Leitung:

Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung:

GEOLEP, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne



**Allgemeine Angaben**

- ..... Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils der oberen Grundwasserleiter
- ..... Seitliche Begrenzung des tieferen Grundwasserleiters westlich Saanen
- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer eines künstlichen Aufschlusses resp. Sondierung innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskoordinatensystems, vgl. Grundlegendatei (GLD) WEA/Geologie
- a Anlage aufgelassen
- Grundwasser-Fließrichtung
- I— Lage eines geologischen Profils

**Isotypen des Grundwasserspiegels vom 13. 5. 1998**  
(relativer Hochwasserstand)

— 2 m Grundwasserspiegel-Isotyp mit Kote in m ü. M.

**Künstliche Aufschlüsse, Sondierungen<sup>1)</sup>**

- Vertikalfilterbrunnen
- Schachtbrunnen
- Versickerungsbrunnen
- Bohrung
- K Kiesgrube

**Ausbildung der Deckschichten, Geologie der Lockergesteine**

- |  |                       |  |   |
|--|-----------------------|--|---|
|  | Künstliche Ablagerung |  | Kiessand, stark sandiger Kies, z.T. siltig                  |
|  | Bachschuttkegel       |  | Saaneschotter, leicht sandiger Kies mit Geröll, z.T. siltig |
|  | Gehängeschutt         |  | Siltiger bis sauberer Sand                                  |
|  | Bergsturz             |  | Seesedimente, Silt und siltiger Feinsand                    |
|  | Rutschung             |  | Kies, verkittet   |
|  | Moräne                |  | Geländekante (Erosionsrinne)                                |

**Festgesteine der Talränder (tektonische Einheit, typische Gesteine)**

- |  |                                    |  |  |
|--|------------------------------------|--|--|
|  | Simmen-Decke (Flysch)              |  | Niesen-Decke (Flysch, Gips)              |
|  | Breccien-Decke (Breccien, Flysch)  |  | Ultrahelvetische Decken (Gips, Schiefer) |
|  | Klippen-Decke (Kalke, Mergel)      |  | Wildhorn-Decke (Kalke)                   |
|  | Zone Submédiane (Gips, Rauhwaeken) |  |  |

- Grenze zwischen verschiedenartigen Deckschichten und Festgesteinen
- - - - - Tektonische Grenze (Überschiebung)

**Wichtige Quellen am Talrand**

- Quelle gefasst
- + Quelle ungefasst

**Durchlässigkeitsbereiche in Lockergesteinen**

Durchlässigkeit:

- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | - Gross, $k > 2 \cdot 10^{-3}$ m/s                    |  | - Klein, $k = 2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ m/s |
|  | - Mittel, $k = 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s |  | - Sehr klein, $k < 1 \cdot 10^{-5}$ m/s              |

----- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

**Hydrogeologische Kennziffern**

- |  |   |
|--|---|
|  | Durchlässigkeit $k$ , in $10^{-3}$ m/s, bestimmt aus Kleinpumpversuch   |
|  | Mächtigkeit des wassergesättigten, grobkörnigen Grundwasserleiters in m |

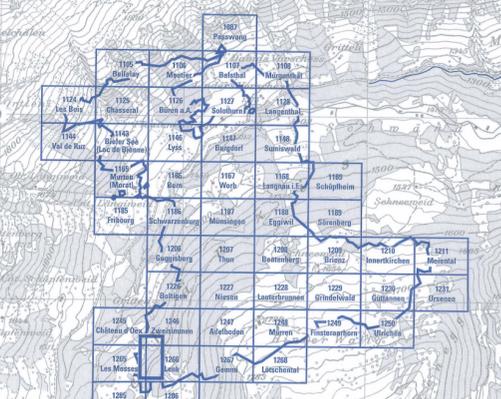
<sup>1)</sup> Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle künstlichen Aufschlüsse wiedergegeben werden

**Geologische Profile**

Bohrung, Brunnen, auf oder bis 100 m neben der Profilinie liegend

**Lithostratigraphische Einheiten**

Holozän	Bachschutt, Schuttkegel, Gehängeschutt, Rutschung, Bergsturz, Saaneschotter (undifferenziert)	bs, f, bst, sas
Pleistozän	Deckmoräne, See- und Deltaablagerungen im Becken von Saanen, Unterer Kiessand im Becken von Saanen, Grundmoräne	dm, sd, uks, gm
Obere Kreide - Eocän	Flysch	f
Jura - Obere Kreide	Kalke, Mergel, Breccien	l-c
Trias	Gips, Rauhwaeken, Dolomii	t



Weitere Karten dieses Gebietes:  
Beilage 2: Grundwasser-Nutzungs- und Schutz-Karte Oberes Saanetal 1 : 25 000  
Kartographische Gestaltung und Technik:  
WEA/Geologie, P. Eichwald  
Mitarbeiter D. Hofstetter, Rossens  
Satz und Belichtung: Diasset AG, Bern  
Reprographie: P. Gaiffuri, Bern  
Druck: E. Suter AG, Liebefeld, Bern  
Reproduziert, mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie, vom 19. 6. 1998  
Ausgabe: 1999

# Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern

## Grundwasser- Nutzungs- und Schutz-Karte Oberes Saanetal

1 : 25 000



**WEA**

Leitung:  
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
Bearbeitung:  
GEOLEP, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne

### Allgemeine Angaben

- ..... Seitliche Begrenzung des wassergesättigten, grobkörnigen Teils der oberen Grundwasserleiter
- ..... Seitliche Begrenzung des tieferen Grundwasserleiters westlich Saanen
- Kantonsgrenze
- Gemeindegrenze
- 10 m Grundwasserspiegel-Isopychse vom 13. 5. 1998 mit Kote in m ü. M. (relativer Hochwasserstand)
- Grundwasser-Fließrichtung

### Wichtige Fassungen der Trink- und Brauchwasserversorgung

- Quelle gefasst
- Filterbrunnen
- ▽ Versickerungsbrunnen
- S Grund- oder Quellwasserfassung mit rechtsgültiger Schutzzone (Zone S)

### Konzessionierte Entnahmemengen und Quellschüttungen 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:** für private und öffentliche Trink- und Notwasserversorgung sowie Löschwasser
- **Brauchwasser:** für industriellen, gewerblichen und anderen Gebrauch; Kühlwasser; Wärmepumpen; landwirtschaftliche Bewässerungen; für den Gebrauch in Fischzuchtanstalten; diverses wie Schwimmbäder, Biotope und dergleichen

### Mögliche, künftige Grundwasser-Nutzungen (unter Berücksichtigung der rechtsgültigen Zonenpläne der Gemeinden)

- Bereich für **Trinkwassergewinnung** geeignet (hinsichtlich Grundwassermenge und -qualität)
- Bereich für **Trinkwassergewinnung mit Vorbehalt** geeignet (Wasserqualität unter anderem möglicherweise infolge erhöhtem Sulfatgehalt beeinträchtigt)
- Tieferliegendes Grundwasser
- Bereich für **Brauchwassergewinnung** geeignet (verminderte Wasserqualität und/oder Einschränkungen durch dicht überbaute Gebiete)
- Bereich für **Brauchwassergewinnung mit Vorbehalt** geeignet (vor allem Ergiebigkeit beschränkt)

### Grund- und Quellwasser-Schutz

- Rechtsgültige Grund- oder Quellwasser-Schutzzone (Zone S)

