

# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologie Emmental

### Teil I: Oberes Emmental

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: petraqua, Münsingen/Bern

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
(WEA)

# **Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern**

## **Hydrogeologie Emmental**

### **Teil I: Oberes Emmental**

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: petraqua, Münsingen/Bern

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



**Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
(WEA)**

Herausgeber :  
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)  
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt  
Schrift Beilagen: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern  
Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern  
Ausgabe 1975

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

	Seite
<u>EINFUEHRUNG</u> (Dr. R.V. Blau)	
1. AUFGABE	1
2. KREDITE	1
3. GEBIETSABGRENZUNG	1
4. ZIELSETZUNG	2
5. BEARBEITER	3
6. VERWENDETE UNTERLAGEN	3
<u>I. HYDROGEOLOGIE DES OBEREN EMMENTALS</u>	
1. GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE (N. Huonder, dipl. Geol. ETH, Büro petraqua, Münsingen)	4
1.1. Uebersicht	4
1.2. Zeitliche Abfolge der geologischen Vorgänge	4
1.3. Durchgeführte Untersuchungen	7
1.3.1. Seismische und geoelektrische Sondierungen	7
1.3.2. Bohrungen	13
1.3.3. Bohrlochmessungen	18
1.3.3.1. Gamma-Log	18
1.3.3.2. Neutron-Gamma-Log	18
1.3.3.3. Temperatur-Messungen	19
1.4. Geologische Querprofile	19
1.4.1. Profil I : Eischachen	19
1.4.2. Profil II : Ramseischachen unterhalb Aeschau	20
1.4.3. Profil III: Schüpbachsachen	21
1.4.4. Profil IV : Ried NE Schüpbach	21
1.4.5. Profil V : Emmenmatt	21
1.4.6. Profil VI : Lauperswil-Neumühle-Aebnit	22
1.4.7. Profil VII: Zollbrück	23
1.4.8. Profil VIII: Rüderswilschachen-Unterdorf	23
1.4.9. Profil IX : Terrasse von Rüderswil-Fännersmüli	25

1.4.10.	Profil X : Ramsei	25
1.4.11.	Profil XI : Farbschachen-Bleiche	25
1.5.	Folgerungen aus den geologischen Untersuchungen	27
1.5.1.	Molasse	27
1.5.2.	Rinnensysteme	27
1.5.3.	Talfüllungen	28
1.5.4.	Terrassen	29
1.6.	Folgerungen aus den hydrogeologischen Untersuchungen	30
1.6.1.	Grundwasserleiter des Haupttales	30
1.6.2.	Terrassen	31
2.	HYDROCHEMIE - BAKTERIOLOGIE (N. Huonder, dipl. Geol. ETH, Büro petraqua, Münsingen)	34
2.1.	Allgemeines	34
2.2.	Darstellung der Analysenresultate	36
2.3.	Darstellung der hydrochemisch wirksamen Faktoren	36
2.4.	Beurteilung der Analyseergebnisse	37
2.4.1.	Chemisch-hygienische Resultate	37
2.4.1.1.	Turbidität	37
2.4.1.2.	Verschmutzungsindikatoren	37
2.4.1.3.	Sauerstoffsättigung	40
2.4.2.	Resultate der chemisch-technischen Analysen	41
2.4.2.1.	Eisen und Mangan	41
2.4.2.2.	Härtebestimmungen	41
2.4.3.	Bakteriologische Untersuchungen	43
3.	HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	44
3.1.	Allgemeines	44
3.2.	Das Untersuchungsgebiet	44
3.3.	Untersuchungen vor September 1968	45
3.3.1.	Niederschlag	45
3.3.2.	Oberflächengewässer	45
3.3.2.1.	Korrektion der Emme und der Ilfis	45
3.3.2.2.	Abflussmengen-Messstation	47
3.3.3.	Grundwasser	48
3.3.3.1.	Grundwasserstände vor 1900	48
3.3.3.2.	Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern	48
3.4.	Messstellennetz	50
3.4.1.	Aufbau	50
3.4.2.	Niederschlag	51
3.4.3.	Oberflächengewässer	51

3.4.3.1.	Wasserstands-Abstichpunkte	51
3.4.3.2.	Abflussmengen-Messstellen	51
3.4.3.3.	Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel)	53
3.4.4.	Grundwasser	53
3.4.4.1.	Beobachtungspunkte	53
3.4.4.2.	Schreibpegel	54
3.5.	Messungen	55
3.5.1.	Niederschlag	55
3.5.2.	Oberflächengewässer	55
3.5.2.1.	Wasserstands-Abstichpunkte	55
3.5.2.2.	Abflussmengen-Messstellen	56
3.5.2.3.	Abflussmengen-Messstationen	57
3.5.3.	Grundwasser	58
3.5.3.1.	Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen	58
3.5.3.2.	Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen	59
3.5.3.3.	Schreibpegel	59
3.6.	Auswertungen	60
3.6.1.	Niederschlag	60
3.6.2.	Oberflächengewässer	61
3.6.2.1.	Wasserstands-Abstichpunkte	61
3.6.2.2.	Abflussmengen-Messstellen	62
3.6.2.3.	Abflussmengen-Messstationen	65
3.6.3.	Grundwasser	67
3.6.3.1.	Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen	67
3.6.3.2.	Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen	67
3.6.3.3.	Schreibpegel	71
3.6.4.	Beziehungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser	76
3.6.4.1.	Begriff der Infiltration und der Exfiltration	76
3.6.4.2.	Infiltration und Exfiltration im Emmental-Grundwasserleiter	76
3.6.4.3.	Infiltration der Ilfis und der Grüene	82
3.6.4.4.	Grundwasseraustritte im Talboden	83
3.6.4.5.	Grundwasserspiegelgefälle	84
3.6.5.	Unterirdische randliche Zuflüsse	85
4.	GRUNDWASSERHYDRAULIK (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	86
4.1.	Definition und Begriffe	86
4.1.1.	Hydrologische Kennziffern HK	86
4.1.2.	Durchlässigkeitsbeiwert k	86
4.1.3.	Nutzbare Porosität p	87
4.1.4.	Klein- und Grosspumpversuche KPV, GPV	87
4.1.5.	Markierversuche MV	87
4.2.	Theoretische Grundlagen zur Auswertung der Pumpversuche	88
4.2.1.	Allgemeines	88
4.2.2.	Punkt-k-Wert (k.)	88
4.2.3.	Profil-k-Wert kP	90

4.2.4.	Gebiets-k-Wert kG	91
4.2.5.	Nutzbare Porosität	94
4.2.6.	Superposition instationärer Strömungsverhältnisse	95
4.3.	Durchgeführte Untersuchungen	95
4.3.1.	Uebersicht	95
4.3.2.	Kleinpumpversuche	96
4.3.2.1.	Kleinpumpversuche in den Rotationskernbohrungen	96
4.3.2.2.	Kleinpumpversuche in bestehenden Grundwasserfassungen	99
4.3.3.	Grosspumpversuche	100
4.3.3.1.	GPV Trubschachen	100
4.3.3.2.	GPV Zollbrück	101
4.3.3.3.	GPV Rüderswil	101
4.3.3.4.	GPV Lützelflüh	102
4.3.3.5.	Computerauswertung der GPV Zollbrück und Rüderswil	103
4.3.4.	Markierversuche	106
4.3.4.1.	Uebersicht über die Markierversuche	106
4.3.4.2.	Markierversuch SCHARDT	107
4.3.4.3.	Resultate der Markierversuche	108
4.4.	Zusammenstellung der Resultate	109
4.4.1.	Resultattabellen	109
4.4.2.	Diskussion der Resultate	110
4.4.2.1.	Punkt-k-Werte	110
4.4.2.2.	Profil-k-Werte	111
4.4.2.3.	Gebiets-k-Werte	111
4.4.2.4.	Mittlere nutzbare Porosität	111
4.4.2.5.	Mittlere theoretische Sickergeschwindigkeit und mittlere Abstandsgeschwindigkeit	111
5.	GRUNDWASSERBILANZIERUNG (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	112
5.1.	Allgemeines und Begriffe	112
5.2.	Bilanzierungsgleichungen	113
5.2.1.	Allgemeine instationäre Bilanzierungsgleichungen	113
5.2.1.1.	Das Kraftgleichgewichtsgesetz der gesättigten Filterströmung (Darcy-Gesetz)	114
5.2.1.2.	Das Massenerhaltungsgesetz	115
5.2.2.	Die stationäre Bilanzierungsgleichung	117
5.3.	Bilanzierungskennziffern BK	117
5.4.	Grundwasserbilanzierung Oberes Emmental	118
5.4.1.	Bilanzierungskörper	118
5.4.2.	Erweiterte stationäre Bilanzierungsgleichung	120
5.4.3.	Berechnung der Bilanzierungskennziffern, stationär	120
5.4.3.1.	Durchflussmengen Q <sub>0</sub> , Q <sub>U</sub>	120
5.4.3.2.	Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen Q <sub>IR</sub>	123

5.4.3.3.	Infiltrationsmengen aus Niederschlag auf den Grundwasserleiter QIM	124
5.4.3.4.	Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmengen QXOM	125
5.4.3.5.	Grundwassernutzung QN	125
5.4.3.6.	Differenz zwischen den Infiltrations- und Exfiltrationsmengen aus den resp. in die Oberflächengewässer (QIO+QXO)	127
5.4.3.7.	Stationäre Bilanzierung	127
5.4.3.8.	Genauigkeit der Durchflussmengen QO, QU im Grundwasserleiter unter der Emme	130
5.4.4.	Modifizierte instationäre Bilanzierungsgleichung	131
5.4.5.	Berechnung der Bilanzierungskennziffern, instationär	131
5.4.6.	Natürlicher Grundwasserzuwachs	133
6.	SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE (A. Werner, dipl. Ing. ETH u. Dr. R.V. Blau)	
6.1.	Die Grundwassernutzung heute	134
6.2.	Totales Grundwasserangebot QT	134
6.3.	Nutzbares Grundwasserangebot QDN	135
6.4.	Ausblick	136
7.	ZUSAMMENFASSUNG	137
	LITERATURVERZEICHNIS	145

## BEILAGENVERZEICHNIS

### HYDROGEOLOGISCHE KARTEN OBERES EMMENTAL 1: 25000

- Beilage I, 1 Blockbilder
- Beilage I, 2 Isohypsen des Grundwasser-Spiegels  
Isohypsen des Grundwasser-Stauers
- Beilage I, 3 Mächtigkeit der Grundwasserleiter
- Beilage I, 4 Hydrochemie
- Beilage I, 5 Hydrographie
- Beilage I, 6 Bilanzierungs-Grundlagen

## EINFUEHRUNG

Dr. R. V. Blau, Kant. Wasser und Energiewirtschaftsamt

### 1. AUFGABE

Die Nutzung der Grundwasser-Vorkommen stellt ein Hoheitsrecht des Staates dar. Er hat dafür zu sorgen, dass das nur beschränkt vermehrbare Gut

- mengen- und gütemässig ausreichend geschützt wird, ohne mit unnötigen baulichen und betrieblichen Schutzmassnahmen oder mit Beschränkungen in der anderweitigen Nutzung des Landes unsere Wirtschaft zu belasten;
- optimal genutzt wird, damit eine preisgünstige, sich aus Sicherheitsgründen auf verschiedene Träger, in erster Linie aber auf das Grundwasser abstützende Trink- und Brauchwasserversorgung auch künftig aufrechterhalten werden kann.

Dies bedingt umfassendere Kenntnisse einerseits der Grundwasserleiter andererseits des nutzbaren Grundwasserdargebotes d.h. jener Wassermenge, die maximal in einem Vorkommen verfügbar ist. 1971 ist deshalb mit dem das bernische Wassernutzungsgesetz von 1950/1964 ergänzenden Artikel 127a der Staat beauftragt worden, die Grundlagen für die wirtschaftliche Verwendung und den Schutz des Grundwassers zu ermitteln.

### 2. KREDITE

Im Hinblick auf diese Aufgabe hat der Grosse Rat 1969 und 1974 Krediten in der Gesamthöhe von Fr. 1'850'656.- für eine erste Phase entsprechender Untersuchungen im Emmental zugestimmt. Da es sich bald gezeigt hat, dass im untern Emmental die Verhältnisse bedeutend komplexer sind, als wir das erwartet hatten, ist beschlossen worden, hier die Untersuchungen in einer 2. Phase weiterzuführen. Auch dafür hat das Parlament 1975 einen Kredit von Fr. 1'230'923.- bewilligt. Dem Parlament, der Direktion für Verkehr, Energie- und Wasserwirtschaft (Direktor: Herr Regierungsrat H. Huber) und unserem Amt (Oberingenieur: Herr dipl. Ing. R. Merki) danken wir für ihr Verständnis und ihre Unterstützung.

Der Bund subventionierte die Arbeiten mit 30 % (bis Ende 1972) und 35 % (ab Januar 1973). Den Mitarbeitern des Eidg. Amtes für Umweltschutz, insbesondere den Herren Direktoren dipl. Ing. F. Baldinger und Dr. R. Pedroli, sowie den Dres. H.U. Schweizer und C.R. Niggli danken wir für ihre stete Hilfe.

### 3. GEBIETSABGRENZUNG

Das Emmental ist in drei Abschnitte unterteilt worden. Das obere Emmental reicht hinunter bis in die Gegend des Farbschachens südlich von Lützelflüh. Es bildet dieses Gebiet auch die Grenze zwischen den Dissertationsarealen von T. Bloch und O. Weber (vgl. 4.). Im Süden sind Untersuchungen durchgeführt worden bis in den Bereich südlich des Zusammenflusses von Ilfis und Emme. Da an den Oberläufen der

beiden Flüsse ausreichende Kenntnisse im Hinblick auf die bestehenden und zu erwartenden Nutzungen des Grundwassers bereits vorliegen, ist auf weitere Abklärungen verzichtet worden.

Das mittlere Emmental reicht von Lützelflüh bis zum Felsriegel von Burgdorf, das untere Emmental bis zur Kantonsgrenze.

#### 4. ZIELSETZUNG

In eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Schottern des Taluntergrundes der Emme und der ihn begleitenden seitlichen Terrassen finden sich bedeutende Grundwasservorkommen. Sie werden heute genutzt für viele Trinkwasserversorgungen (z.B. des 19 Gemeinden umfassenden Verbandes Vennersmühle, der Stadt Burgdorf) und in zahlreichen Industriefassungen (z.B. Butterzentrale Burgdorf, Papierfabriken Utzenstorf und Biberist), verfügen aber auch über Reserven für die künftige regionale und überregionale Trink- und Brauchwasserversorgung.

Die früher beim Bau von Fassungen, bei Tiefbauten und dergleichen gewonnenen Kenntnisse des Untergrundes zeigen, dass er stellenweise sehr heterogen aufgebaut ist. Morphologie und Oberflächengeologie des heutigen Tales spiegeln nur teilweise die verschiedenen Entstehungsphasen. Um die gestellte Aufgabe erfüllen zu können, sind weitgehende Kenntnisse über räumliche Anordnung, Aufbau, Durchlässigkeit, Speichervermögen und Speisung der Grundwasserleiter, über den Aufbau der sie bedeckenden Schichten sowie über das Grundwasserspiegel-Verhalten in Raum und Zeit notwendig.

Mit Feldbeobachtungen, Bohrungen, geophysikalischen Sondierungen, Pumpversuchen, Markierungen sowie Abfluss- und Spiegelmessungen müssen die Grundlagen ermittelt werden,

- a) für ein Konzept des mengen- und gütemässigen Schutzes;
- b) zum Berechnen einer stationären Grundwasser-Bilanz;
- c) für den Aufbau eines allenfalls notwendigen analogen oder digitalen Simulationsmodelles, um die instationäre, d.h. von Raum und Zeit abhängige Grundwasser-Bilanz zu bestimmen;
- d) die zusammen mit Erhebungen über die land- und forstwirtschaftlichen Bedürfnisse, die nötigen Vorflutverhältnisse, die Anforderungen von Fischerei und Naturschutz sowie einer Aufnahme der bestehenden Rechte (z.B. Quellrechte an Grundwasseraustritten) für das Bestimmen des nutzbaren Grundwasser-Dargebotes dienen.

Es ist klar, dass die Untersuchungen nicht überall gleich weit getrieben werden müssen. Die Ziele c) und d) sind nur dort anzustreben, wo entweder der Wasserbedarf die Höhe des Dargebotes erreicht oder wo sich Kollisionen mit den anderen erwähnten Nutzungsinteressen abzeichnen. Im oberen und mittleren Emmental (vgl. Abschnitt 3) ist es heute nicht nötig, sie zu erreichen. Im unteren Emmental, wo die Verhältnisse im Untergrund bedeutend schwieriger zu erfassen sind, reichten die Resultate der 1. Untersuchungsphase nicht aus, um ein genügend gesichertes Dargebot zu berechnen. Die noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen werden vermutlich zeigen, dass wir hier über eine instationäre

Grundwasser-Bilanz verfügen müssen, um das Vorkommen sicher bewirtschaften zu können.

Wir haben beschlossen, möglichst rasch die Resultate der 1. Untersuchungsphase für das obere und mittlere Emmental als Teil I und Teil II einer Hydrogeologie des Emmentales zu veröffentlichen, weil sie einen bedeutend verbesserten Ueberblick über die Grundwasserverhältnisse vermitteln und weil die wichtigsten Grundlagen einem weiteren Kreis von interessierten Aemtern und Privaten zur Verfügung gestellt werden sollen. Hingegen rechtfertigt es sich nicht, den Teil III, das untere Emmental, heute zu veröffentlichen. Die in der ersten Phase gewonnenen Erkenntnisse sind heute zum grossen Teil überholt. Er wird deshalb nach Abschluss der 2. Untersuchungsphase 1979 erscheinen. Die bisher gewonnenen Resultate können selbstverständlich jederzeit bei uns eingesehen werden.

## 5. BEARBEITER

Mit der Klärung der geologischen Fragen ist Herr Dr. C.R. Niggli beauftragt worden. Nachdem dieser 1973 eine Stellung im Bundesamt für Umweltschutz angetreten hat, sind die Arbeiten für die 1. Phase durch das Büro petraqua, Münsingen/Bern, (Dr. W. Rehse, dipl.Geol. ETH N. Huonder) weitergeführt worden. In der 2. Phase haben wir die geologische Bearbeitung selber übernommen.

Den hydraulischen Teil der Aufgabe behandelte das Ingenieur- und Studienbüro A. Werner, Burgdorf (Mitarbeiter: P. Hufschmid, F. Muchenberger, F. Krebs, F. Lüthi).

Dank dem Entgegenkommen von Herrn Prof. F. Gygax war eine Zusammenarbeit mit Doktoranden des geographischen Institutes möglich. Die Herren Dr. T. Bloch im unteren und Dr. O. Weber im oberen Emmental berücksichtigten im Rahmen ihrer Dissertationsarbeiten (vgl. Literaturverzeichnis) unsere Wünsche und stellten die erarbeiteten Resultate in verdankenswerter Weise zur Verfügung.

## 6. VERWENDETE UNTERLAGEN

Gestützt auf Art. 127a des bernischen Wassernutzungsgesetzes in der Fassung von 1971 sind bei kantonalen und kommunalen Verwaltungen, Regionalplanungsstellen, Ingenieurbüros, Bohrfirmen usw. die früher gewonnenen Erkenntnisse über den Aufbau des Untergrundes und das Verhalten des Grundwassers gesammelt worden. Im allgemeinen waren alle Angefragten bereit, den beauftragten Büros oder unserer Dokumentationsstelle die gewünschten Unterlagen zu liefern. Wir danken für diese Hilfe.

Die Zahl der verwendeten Dokumente ist derart gross, dass es nicht möglich ist, sie einzeln hier aufzuführen. Auf einige wichtige Angaben wird im Text hingewiesen; im allgemeinen müssen wir aber auf die "Geologische Dokumentationsstelle des Kantons Bern" verweisen, die vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt geführt wird.

## TEIL I

# HYDROGEOLOGIE DES OBEREN EMMENTALS

## 1. GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

N. Huonder, dipl. Geol. ETH, Büro petraqua, Münsingen

### 1.1. Uebersicht

Es werden im Bereich der heutigen Talböden und der tieferen Terrassen (vor allem Terrassensystem T1; die höher liegenden Systeme T2 und T3 werden nur kurz gestreift) nur die Ablagerungen behandelt, die als Grundwasserleiter nutzbar sind.

Die Haupttäler sind vorwiegend mit fluviatilen Schottern, das heisst Kies-Sand-Ablagerungen mit wechselndem Feinkornanteil aufgefüllt. Als Grundwasserstauer wirken die kaum durchlässigen Molassesedimente: Sandsteine und Nagelfluh. Oertlich sind zwischen den fluviatilen Schottern und dem Molassefels geringmächtige Grundmoränenreste (siltig-sandiger Kies mit Geschieben) eingeschaltet.

Im Bereich der Terrassen ist die Variation der Ablagerungen grösser. Hier wechseln seitlich fluviatile mit fluvioglazialen Sedimenten ab. Dieser Wechsel ist durch die verschiedenen eiszeitlichen Akkumulations- und Erosionsphasen bedingt.

Die Oberfläche des untersten Terrassensystems T1 liegt rund 20 - 30 m über der Emme. Es lässt sich (vgl. Beilage I, 2) von Bämbrunnen im Süden über Furen, Lauperswil, Zollbrück-Ranflüh, Rüderswil bis Waldhaus im Norden verfolgen.

Das Terrassensystem T2 ist weniger tief eingeschnitten. Es liegt rund 50 - 60 m über dem heutigen Flussniveau mit den Terrassen von Ilfisstullen westlich Langnau, Ober-Frittenbach, Brammerboden, Hälischwand östlich Schüpbach, Blasen, Längenbachboden und Aebnit beim unteren Frittenbachgraben.

### 1.2. Zeitliche Abfolge der geologischen Vorgänge

Die Untersuchungen hatten zum Ziel, die hydrogeologischen Verhältnisse des Untergrundes näher zu erkunden. Die Tiefensondierungen wurden daher so angesetzt, dass vor allem der Hauptgrundwasserleiter erfasst wird. Die nachfolgende Aus-



Quartär	Pleistocaen	Risseiszeit	<p>Die Talfurchen werden anschliessend mit sogenannten Rinnenschottern wieder aufgefüllt. Diese werden im Haupttal beinah gesamthaft und in den Terrassen teilweise wieder ausgeräumt. Ueberbleibsel dieser Schotter wurden nach NIGGLI &amp; WERNER (1972, Beil. 7) in der Terrasse von Lauperswil gefunden, ev. auch bei Moos / Fännersmüli. (vgl. GERBER 1941: 14; 1950: 52)</p>	
	Riss-Würm-Zwischeneiszeit		<p>Der Rhonegletscher überdeckt das Emmental und lagert Moränen ab (GERBER 1941: 14).</p>	Rissmoränen q <sup>3</sup> sm
	Aeltere Würmeiszeit		<p>Der Rhonegletscher zieht sich zurück; das See- und Verlandungsbecken von Signau-Moos wird freigegeben. Es bildet sich ein reichverzweigtes Flusssystem aus. Viel Rissmoränenmaterial wird abgetragen. Lokal bleiben in der tiefsten Erosionsrinne (bis zu 8 m Mächtigkeit) und in Terrassen Moränenrelikte erhalten.</p> <p>Unterhalb Eggiwil bis Burgdorf ist das Emmental eisfrei. Der Rhonegletscher verbarrikiert bei Burgdorf den Talausgang (GERBER 1941: 14). Im eisfreien Abschnitt und in den Seitentäler findet eine gewaltige Akkumulation von Stauschottern und Stauletten bis auf Höhe der Terrassen T2 statt. Welchen Ausweg die gestauten Wasser der Emme finden, ist nach GERBER (1950: 64) nicht abgeklärt, vermutlich bildet sich die Rinne östlich des Burgdorfer Schlossfelsens, die sich Richtung Wynigen fortsetzt. Beim Transport der Schotter findet in den Terrassen auch eine teilweise Umlagerung von Rissmoränenmaterial statt. In das Staubecken oberhalb Burgdorf wird zusätzlich noch fluviograziales Material vom Südrand des Rhonegletschers her deponiert.</p>	<p>Stauschotter q<sup>4</sup>st</p> <p>Stauletten q<sup>4</sup>1</p>

Quartär	Pleistocaen	Jüngere Würmeiszeit	<p>Nach dem zeitweiligen Rückzug des oszillierenden Rhonegletschers werden die vorhandenen Ablagerungen teilweise wieder erodiert. Relikte der Stauschotter und Staulletten bleiben vorwiegend in Terrassen erhalten. Das Terrassensystem T2 wird herausmodelliert</p> <p>Da die Schotterablagerungen des heutigen Haupttales der Emme und evtl. auch der jüngeren Rinnenfüllungen des Terrassensystems T1 im wesentlichen nicht als Stauschotter gedeutet werden, muss für das obere Emmental gegen Ende der Würmeiszeit und für die frühere nacheiszeitliche Periode eine weitere Sedimentationsphase angenommen werden.</p> <p>Die Emme vertieft anschliessend ihr Bett um weitere 20 bis 30 m auf das Niveau des heutigen Talbodens und formt das Terrassensystem T1. Sie fliesst zwischen Schlossfelsen und Girisberg bei Burgdorf ab.</p>	<p>jüngere Würmschotter q<sup>4</sup>js</p>
	Holocaen		Nacheiszeit	<p>In den Talebenen werden in geringem Umfang Schotter abgelagert.</p>

### 1.3. Durchgeführte Untersuchungen

#### 1.3.1. Seismische und geoelektrische Sondierungen

In den Jahren 1970-73 wurden im oberen Emmental im Auftrag des WEA in mehreren Kampagnen geophysikalische Tiefensondierungen von der Terrainoberfläche aus durchgeführt. Die im Rahmen der siedlungswasserwirtschaftlichen Planung angeregten Untersuchungen sollten Aufschluss über den komplexen hydrogeologischen Aufbau des Untergrundes geben. Ergänzend wurden auch die geophysikalischen Sondierungen ausgewertet, die im Auftrag von Dritten zur Baugrunduntersuchung oder Kiesprospektion eingesetzt worden waren. Nachstehend sind die einzelnen Untersuchungsprogramme aufgeführt:

Ordnungsnummer Geol. Dok. WEA <sup>2)</sup>	Datum	Auftraggeber	Ausführung	Untersuchungs- zweck	Methode	Profil- länge
621.204/22	1968	WV Vennersmühle	Geotest AG. Bern	Brunnenbau	Refraktionsseismik 17 geoelektrische Tiefensondierungen	800 m
622.202/22 623.203/9	1968	Baudirektion des Kts. Bern Kreis IV	Geotest AG. Bern	Strassenbau, Umfahrung Zollbrück	Reflexionsseismik	530 m
622.197/24	1969	Baudirektion des Kts. Bern Kreis IV	Geotest AG. Bern	Strassenbau, Umfahrung Signau	Reflexionsseismik	600 m
624.202/6 622.201/30 622.202/38-41 622.203/14 623.203/5-8 619.205/21	1970	WEA	Geotest AG. Bern	Erkundung des Grundwasser- leiters: Raum Emmenmatt bis Farbschachen	Refraktionsseismik 60 geoelektrische Tiefensondierungen	5'000 m
622.196/34 623.197/5 623.198/1 622.198/10 623.199/10 624.199/20 625.198/7	1971	WEA	Dr. A. Schneider Bern	Erkundung des Grundwasser- leiters: Raum Eischachen, so- wie Schüpbach- schachen bis Emmenmatt	Refraktionsseismik 46 geoelektrische Tiefensondierungen	5'100 m
620.204/7 621.203/10-11 620.204/38-41	1973	WEA	WEA und petraqua Münsingen/ Bern	Erkundung der Rüderswiler Rinne	12 geoelektrische Tiefensondierungen Horizontalkartierung	

Resultate der Messungen

Ilfistal

Ordnungsnummer	Profilrichtung	Lokalität	Geophysikalische Methode <sup>2)</sup>		Sedimentmächtigkeit <sup>4)</sup> (m)	zugeordnete Sedimente (z.T. Lagerung)
			Geoelektrik ( $\Omega m$ )	Seismik ( $ms^{-1}$ )		
625.198/7	SSW-NNE	Eischachen E	2'000	400-800	2-11	Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig (lokal stark siltige Partien) Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber, im GW Sandstein Nagelfluh
			(250-300)	(250-300)	5-42	
			200-500	1'900-2'200	n.b. <sup>5)</sup>	
			30-90	2'800-3'100	n.b.	
		Brammerboden		300-600	8-13	Sand mit/und Kies, siltig Nagelfluh
				3'500	n.b.	
624.199/20	SSW-NNE	Bämbrunnen		250-300	3-5	Silt, sandig Sandstein
				2'900-3'160	n.b.	
		Eischachen	1'300-2'400		3-5	Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig, im GW Sandstein Nagelfluh
			300-400	1'900-2'200	0-44	
60-100	2'600-3'200	n.b.				
	3'300-4'000	n.b.				

<sup>2)</sup>Vgl. Beilage I, 2, auf der die Sondierungen, soweit es der Raum zuliess, eingetragen sind.

<sup>3)</sup>Die Zuordnung der seismischen Frontgeschwindigkeiten und der geoelektrischen Widerstandswerte zu bestimmten Ablagerungen und Gesteinen stützt sich auf spezielle geologische Beobachtungen und allgemeine Erfahrungswerte. Die Interpretation wurde vorwiegend aufgrund der Profile aus den Schlüsselbohrungen vorgenommen.

<sup>4)</sup>Mächtigkeit der Ablagerungen; angegeben sind annähernd Minimum und Maximum.

<sup>5)</sup>Nicht bestimmt.

## Emmental

Ordnungsnummer	Profilrichtung	Lokalität	Geophysikalische Methode Geoelektrik (cm)	Methode Seismik (ms <sup>-1</sup> )	Sedimentmächtigkeit (m)	zugeordnete Sedimente (z.T. Lagerung)	
622.196/34	SW-NE	Mutten	400		0-5	Sand m. Kies u. Steinen, stark siltig	
			2'900-3'000		n.b.	Nagelfluh u. Sandstein	
		Gadenacher	400		2-3	Sand m. Kies u. Steinen, stark siltig	
			600-1'000		2-10	Kies m. Sand u. Steinen, siltig	
			3'000		n.b.	Nagelfluh u. Sandstein	
		Schachen SE Schüpbach	1'000		2,5-3	Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber	
			1'900-2'100		0-30	Kies m. Sand u. Steinen, sauber bis siltig, im GW	
			2'500-2'600		n.b.	Sandstein	
			3'700-4'500		n.b.	Nagelfluh	
622.197/24	S-N	Terrasse von Hälischwand: Hübeli bis Huttibuech	250-300		2	Silt u. Sand m. Kies u. Steinen, locker gelagert	
			500-900		3-5	Kiessand, siltig, locker gelagert	
			1'000		0-6	vorwiegend Sand?, unverfestigt	
			1'200-1'700		0-5	vorwiegend Kies, teilweise verfestigt	
			1'900-2'300		0-7	vorwiegend Kies, verkittet	
			2'500		n.b.	Sandstein	
623.197/5	NW-SE	Terrasse von Hälischwand: Huttibuech- Furenholz	250-400		5	Silt u. Sand m. Kies u. Steinen	
			3'000-4'000		n.b.	Nagelfluh	
		Furenholz- Hälischwand	560		2-10	Kiessand, siltig	
			600-1'050		0-38	Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber	
			3'600		n.b.	Nagelfluh	
		Hälischwand	500-1'600		2-10	Kies u. Sand m. Steinen, siltig bis sauber	
			70-80		8-10	Ton u. Silt m. Sand	
			100-200		0-30	Silt u. Sand m. Kies u. Steinen, tonig	
			500-700		n.b.	Nagelfluh	
623.198/1	SW-NE	Terrasse von Hälischwand: N Huttibuech	1'000		5	Kies u. Sand m. Steinen, siltig	
			3'000		n.b.	Nagelfluh u. Sandstein	
622.198/10	NW-SE	Ried NE Schüpbach	1'200-1'500		2-3	Kies u. Sand m. Steinen, sauber	
			200-300		0-20	Sand m. Kies u. Steinen, siltig, im GW	
			300-400	2'000-2'100		0-40	Kies u. Sand m. Steinen, siltig bis sauber, im GW
			30-140	2'600		n.b.	Sandstein
			170-300	3'500-4'000		n.b.	Nagelfluh
623.199/10	WNW-ESE	Furen SW Emmenmatt	500-600		2-6	Sand m. Kies u. Steinen, siltig	
			900-1'200		10-16	Kies u. Sand m. Steinen, siltig	
			3'300-3'700		n.b.	Nagelfluh	
		W Terrassen- rand	300		5	Silt u. Sand m. Kies	
				3'700		n.b.	Nagelfluh
			Bänbrunnen bis Emme (Talboden)	1'500-1'600		2	Kies m. Steinen u. Sand, sauber
			320-420	1'800-2'200		0-44	Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber, im GW
			100-140	2'600-2'900		n.b.	Sandstein
				3'350		n.b.	Nagelfluh

Ordnungsnummer	Profilrichtung	Lokalität	Geophysikalische Methode	Geoelektrik (Ωm)	Seismik (ms <sup>-1</sup> )	Sedimentmächtigkeit (m)	zugeordnete Sedimente (z.T. Lagerung)
623.199/10 (Fortsetzung)	WNW-ESE	Bäbrunnen bis Emme		300 3'600 2'800		5 15-25 .80	Sand m. Kies u. Steinen, siltig Nagelfluh Sandstein
622.201/30	WSW-ENE	Terrasse von Lauperswil	120-210 (150?) 235-250 60	300-600 1'000-1'600 3'200-3'700 2'500-3'000		0-10 10-15 14-19 n.b.	Sand u. Silt m. Kies Kies m. Sand u. Silt, sauber bis siltig Sandstein, hart oder Nagelfluh Sandstein u. Mergel
		Terrassenfuss Lauperswil	850 70	1'000-1'200 3'000		0-7 n.b.	Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber Sandstein u. Mergel?
		Talebene-Neumühle	840-1'800 (160?) 60-70	300-400 1'500-2'200 3'000		3-9 0-38 n.b.	Sand, Kies u. Steine siltig Kies und/oder Steine m. Sand, siltig bis sauber Sandstein u. Mergel?
624.202/6	W-E/ SE-NW	Terrasse von Aebnit	95-170 440-1'200 90-120 450-800 65-140			1-4 3-12 1,5-4 5-9,5 n.b.	siltig-tonige Deckschicht Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber Silt u. Ton, sandig-kiesig Kies u. Sand m. Steinen, stark bis leicht siltig Sandstein?
622.202/40	SSE-NNW	Chalchmatt	500-700 80-150 350-500 80			5-6 3-8 4-8 n.b.	Kies m. Sand u. Steinen Silt u. Ton, kiesig, sandig, steinig, im GW Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig bis sauber, im GW Sandstein u. Mergel?
622.202/39	SW-NE	Chalchmatt	700-1'200 90-160 380-680 50-60	1'600-2'200 2'500-3'000		3-31 5-12 7-45 n.b.	Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber Sand u. Silt m. Kies u. Steinen Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber Sandstein und Mergel?
623.202/22	NE-SW	Terrasse ob Zöllbrück		250-400 500-1'500 3'000-3'400		2-3 2-13 n.b.	Sand u. Kies u. Steine, siltig Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber von unterschiedlicher Lagerungsdichte Sandstein
623.203/7	NNE-SSW	Terrasse ob Zöllbrück		200-300 500-1'500 3'000-3'700		2-3 1-15 n.b.	Sand u. Kies u. Steine, siltig Kies m. Sand u. Steinen, siltig bis sauber von unterschiedlicher Lagerungsdichte Sandstein
623.203/7	NNE-SSW	Riedmatten ob Zöllbrück	500-1'000 100-180 320-480 50-60	200-1'000 1'500 3'000		7-10 6-20 10-30 n.b.	Kies m. Sand u. Steinen, siltig Sand u. Silt m. Kies u. Steinen Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig Sandstein
623.203/6	WSW-ENE	Riedmatten ob Zöllbrück	75 100-550 60			1-6 15-37 n.b.	Ton, Silt und Sand mit Kies Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig Sandstein
623.203/5	NW-SE	Unterdorf bei Ranflüh bis Riedmatten	140-400 60 50-60			4-12 n.b.	Sand m. Silt u. Kies und Steinen siltige Zwischenlage in Deckschicht Sandstein

Ordnungsnummer	Profilrichtung	Lokalität	Geophysikalische Methode		Sedimentmächtigkeit (m)	zugeordnete Sedimente (z.T. Lagerung)	
			Geoelektrik (Ωm)	Seismik (ms <sup>-1</sup> )			
622.203/14	SW-NE	Schachen bei Rüderswil	1'000-12'000	1'000	3-6	Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig Sand u. Silt m. Kies, im GW Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber, im GW	
			150-160		5-13		
			600	1'800-2'100	5-16		
				70	2'400-2'800	n.b.	Kies u. Sand m. Steinen, relativ sauber, im GW Sandstein
		Schachen bis Ranflüh	600-1'200	600-1'000	5-9	Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig Sand u. Silt m. Kies u. Steinen, im GW Kies mit/und Sand u. Steinen, relativ sauber, im GW	
			160-260	1'000-1'900	3		
	600			6-21	Kies u. Sand m. Steinen, siltig, im GW Sandstein		
	380-400	1'900-2'200	0-40	n.b.	Sand m. Silt u. Kies u. Steinen Kies m. Sand u. Steinen, siltig Sandstein und Nagelfluh ?		
	50-100	2'500-3'200	n.b.				
	Terrasse oberhalb Ranflüh	230	300-600	4-8	n.b.	Sandstein und Nagelfluh ?	
		40-50	1'000-2'000	4-10			
621.203/10	Einzelsondierung	Terrasse von Rüderswil	95		2,5	Silt u. Sand m. Kies u. Steinen Kies m. Sand u. Steinen, siltig Sandstein und Mergel	
			350		52		
			95		n.b.		
621.203/11	Einzelsondierung	Terrasse von Rüderswil	230		2	Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies m. Sand u. Steinen, stark siltig Kies m. Sand u. Steinen, relativ sauber Sandstein	
			150		2		
			800		50		
			100		n.b.		
620.204/39	N-S	Terrasse von Rüderswil	220-540		1-1,5	Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies m. Sand u. Steinen, leicht siltig Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies u. Steine m. Sand, sauber Sandstein und Mergel	
			880-1'200		1,5-26		
			250		0-6,5		
			2'000-2'200		0-15		
			75-90		n.b.		
620.204/7	N-S	Terrasse von Rüderswil	300-680		3-3,5	Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies m. Sand u. Steinen, sauber Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies m. Sand u. Steinen, siltig b. sauber Sandstein und Mergel	
			2'000-2'200		5-9		
			250-300		5,5-8,5		
			1'000-1'200	900-1'100	18-20		
			~40	2'600	n.b.		
621.204/22	N-S	Moos unterhalb Terrasse von Rüderswil	50		1-3	Ton u. Silt u. Sand Kies u. Steine m. Sand, relativ sauber örtlich siltreiche Zwischenlagen Sandstein hart Sandstein und Mergel	
			400-830	1'700-2'200	7-37		
			(90-180)		n.b.		
			50-80	3'200-3'300	n.b.		
620.204/38	SW-NE	Toggelbrunnen	120-160		1	Sand u. Silt m. Kies u. Steinen Kies m. Sand u. Steinen, siltig Kies u. Steine m. Sand, relativ sauber Kies m. Sand u. Steinen, siltig Mergel und Sandstein	
			360-750		1-5		
			1'200-2'250		3		
			400-750		0-6,5		
			60-200		n.b.		
619.205/21	SSW-NNE	Farbschachen	500-800	300-1'000	3-8	Kies u. Steine m. Sand, siltig örtliche siltige Zwischenlagen in Deckschicht Sand m. Kies u. Steinen, siltig Kies m. Sand u. Steinen, siltig Sandstein	
			(60)		(5)		
			90-170 (?)		6-8		
			240-430 (?)	1'600-2'100	6-30		
			55-70	2'400-3'000	n.b.		

### 1.3.2. Bohrungen (vgl. Beilagen I, 2 und 3)

Im Zeitraum von 1921 bis 1973 wurden im Untersuchungsgebiet 26 Bohrungen abgeteuft. 7 davon sind Brunnenbohrungen, 3 wurden zur Abklärung der Baugrundverhältnisse eingesetzt, 2 sollten abbauwürdige Kiesvorkommen aufzeigen und 14 dienten der siedlungswasserwirtschaftlichen Planung. Die Bohrprofile sind im Zuge der Grundlagenerhebungen gesammelt worden (vgl. Geologische Dokumentation WEA).

Die im Auftrag des WEA ausgeführten 8 Kernbohrungen liegen im Bereich der geophysikalischen Profilachsen. Sie sollten die mittels seismischer und geoelektrischer Untersuchungen von der Terrainoberfläche aus aufgespürten Rinnen bestätigen und eine Eichung der seismischen Frontgeschwindigkeiten und elektrischen Widerstandswerte hinsichtlich Schichtmächtigkeit und Schichtaufbau ermöglichen. In diesen Bohrungen wurden, soweit sie den Grundwasserspiegel erreichten, Punkt- und Profil-k-Werte bestimmt (siehe Abschnitt 3). Zum Teil liegen auch Korngrössenanalysen vor. In den verrohrten Bohrungen 621.204/25 und 26 sowie 623.201/41 wurden zudem geophysikalische Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Bohrlochgeophysik und die Korngrössenanalysen sind in der Beilage I, 3 dargestellt (siehe auch Abschnitt 1.3.3.).

#### Bohrung Ilfistal

Ordnungsnummer Geol. Dok. WEA	Lokalität	Sondierung	Bohrtiefe	Sedimente	OK Terrain	OK Fels
624.199/28	Weichel matt  A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli	Kernbohrung	-0.95 -3.00 -4.80 -15.10 -21.10 -22.30 -23.40 -24.30 -33.60 -34.50 -44.75 -45.10 ab 45.10	Humus, nach unten zu siltig Sand mit wenig bis viel Kies und grobe Gerölle siltiger Kies mit Sand Kies mit/und Sand, sauber bis schwach siltig, an der Basis stark siltig sauberer Kies mit/und Sand, vereinzelte grobe Gerölle siltig-sandiger Kies sauberer Kies mit viel Sand siltig verkitteter Kies mit Sand Kies mit Sand, sauber bis schwach siltig, an der Basis grobe Gerölle sauberer Kies und Grobsand stark siltiger Kies mit Sand mit stark tonig-siltigen (verkitteten) Zwischenlagen, grobe Gesteine Kiessand Sandstein ?	647.97	602.87 ?
624.199/13	Eischachen Hüsumatt  A: ARA Langnau	Kernbohrung	-0.60 -10.00	Humus Kies mit Sand und vielen Steinen ‡ 25cm	~650.20	
624.199/14	Eischachen Hüsumatt  A: ARA Langnau	Kernbohrung	-0.60 -1.00 -3.20 -12.00	Humus Sand mit Steinen Steine mit Kies Kies mit viel Steinen	~650.20	
624.199/15	Eischachen Hüsumatt A: ARA Langnau	Kernbohrung	-0.50 -0.90 -7.00	Humus siltiger Feinsand Kies mit viel Steinen	~650.00	

Bohrungen Emmental

Ordnungs- nummer Geol. Dok. WEA	Lokalität	Sondierung	Bohr- tiefe	Sedimente	OK Terrain	OK Fels
624.195/6	Ramsei-Aeschau A: WV Stadt Bern G: P. Arbenz	Brunnenbau	-0.30 -4.20 -23.00 -23.63	Humus siltiger Kiessand mit grösseren Steinen siltig-sandiger Kies Nagelfluh und Sandstein	691.49	668.49
624.195/8	Ramsei-Aeschau A: WV Stadt Bern G: P. Arbenz	Kernbohrung	-0.30 -1.00 -4.50 -29.92 -30.50	Humus toniger Silt und Sand siltiger Kies, Sand mit grösseren Steinen siltig-sandiger Kies Nagelfluh und Sandstein	690.34	660.42
624.195/10	Ramsei-Aeschau A: WV Stadt Bern G: P. Arbenz	Kernbohrung	-0.30 -1.50 -1.85 -4.35 -4.75 -7.25 -15.45 -27.10 ab 27.10	Humus toniger Silt und Sand sandiger Grobkies Kiessand mit Steinen sandige Zwischenlage Kiessand mit Steinen kiesiger Sand mit vereinzelt Steinen Kiessand Molasse	~690.55	663.45
623.195/2	Ramsei-Aeschau A: WV Stadt Bern G: P. Arbenz	Kernbohrung	-0.30 -1.00 -3.85 -3.95 -27.05 -28.30	Humus toniger Silt und Sand stark siltiger Kies Moorgrund siltig-sandiger Kies Nagelfluh und Sandstein	688.75	661.70
624.195/9	Ramsei-Aeschau A: WV Stadt Bern G: P. Arbenz	Kernbohrung	-0.20 -0.75 -1.25 ~7.00 -12.65 -14.83	Humus toniger Silt und Sand Moorgrund siltiger Kies und Sand mit grösseren Steinen siltig-sandiger Kies Nagelfluh und Sandstein	685.63	672.98
622.197/1	SE Schüpbach A: Baudirektion des Kts. Bern, (Kreis IV) B: Fehlmann AG, Bern G: CSD, Liebefeld/Bern	Kernbohrung	-1.00 -2.00 -4.60 -5.70 -8.65 -10.80 -12.00	Humus siltig-sandiger Grobkies mit Steinen Kies und Steine z.T. leicht sandig siltiger Kies und/oder Sand, Steinzwischenlage sauberer z.T. leicht sandiger Kies mit viel Steinen Kiessand, sauber bis leicht siltig, vereinzelt Steine Schutt, Kies und Grobsand, an der Basis leicht siltig	670.75	
623.197/4	Schüpbach-Schachen A: WV Signau G: verm. C. Sprecher	vermutlich Spülbohrung	-0.40 -2.70 ? -23.10	Humus kiesiger Silt und Feinsand mit Steinen Grobkies mit Sand und grossen Steinen	672.85	
622.197/3	SE Schüpbach A: Baudirektion des Kts. Bern, (Kreis IV) B: Fehlmann AG, Bern G: CSD, Liebefeld/Bern	Kernbohrung	-0.80 -1.35 -2.20 -2.80 -3.80 -4.20 -6.00 -6.50	Humus, siltig, sandig, leicht kiesig Silt und Feinsand Kiessand, einzelne Steine, stark siltig Grobkies, sauber Kiessand, leicht siltig bis siltig, einzelne Steine Silt und Sand, kiesig Grobkies und Steine (teils überwiegend), leicht sandig Kiessand, einzelne Steine, sauber	668.14	
622.197/4	SE Schüpbach A: Baudirektion des Kts. Bern, (Kreis IV)	Kernbohrung	-0.50 -0.75 -1.65 -4.25	Humus Steine Feinsand und/mit Silt, kiesig, einzelne Steine Kiessand, leicht siltig bis siltig, vereinzelt Steine	667.63	

Ordnungsnummer	Lokalität	Sondierung	Bohrtiefe	Sedimente	OK Terrain	OK Fels
622.197/4 (Fortsetzung)	SE Schüpbach B: Fehlmann AG, Bern G: CSD, Liebefeld/Bern	Kernbohrung	-4.80	Grobkies und Steine, sauber		
			-5.30	Kiessand, sauber		
			-8.00	Grobkies und einzelne Steine, z.T. sandig und siltig		
			-8.30	Grobsand, sauber, leicht kiesig		
			-9.40	Sand und Silt		
			-10.00	Kiessand, einzelne Steine, leicht siltig		
623.201/41	Lauperswil Freudenhof A: WEA B: Grund- & Tiefbau AG, Bern G: petraqa, Münsingen/Bern	Kernbohrung	-0.15	Humus	634.18	587.88
			-2.00	Sand, leicht siltig bis siltig, leicht kiesig bis kiesig		
			-6.00	Grobkies und Steine, siltig, sandig		
			-9.20	Kies, reichlich sandig, leicht siltig		
			-29.60	Kies, vorwiegend grob mit reichlich bis viel Sand (teilweise überwiegend), vereinzelte Steine, wechselnd sauber und siltig		
			-32.00	Sand mit viel Kies und kleinen Steinen, siltig		
			-44.00	Kies mit reichlich bis viel Sand und vereinzelt Steinen, wechselnd sauber bis siltig		
			-46.30	Kies (vorwiegend grob) mit/und Steine, sandig, leicht siltig bis siltig		
			-47.60	Mergelsandstein, zerfallen, mit eingelagerten eckigen Kieskomponenten		
			-53.00	sandige Mergel und Mergelsandstein		
			623.201/21	Neumühle A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli		
-0.95	Sand, siltig					
-3.90	Kies und Sand mit Steinen					
-19.30	Kies mit/und Sand, wechselnd sauber bis sehr stark siltig					
-21.40	Kies mit wenig bis viel Sand und Steinen					
-34.50	Kies und Sand, sauber bis schwach siltig, zwischen 22.80 und 24.05 stark siltig					
-38.50	Kies, mässig sandig, stark siltig					
-41.25	Kies und/mit Sand und Steinen, sauber bis schwach siltig					
-46.70	Kies mit Sand, wechselnd sauber bis stark siltig					
-54.40	Kies siltig mit nach unten zunehmendem Anteil an eckigen Komponenten					
-56.30	Sandstein					
622.201/5	Lauperswil Terrasse A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli	Kernbohrung	-0.20	Humus	~646.60	~624.20
			-7.15	Feinsand und Silt mit zum Teil eckigen Komponenten		
			-7.80	Kies und Sand, schwach siltig		
			-11.05	Feinsand und Silt, wenig Kies (viel von 9.60-10.00m)		
			-18.00	Kies und Sand, sauber, vereinzelte Gerölle, Siltlinse bei 11.70m		
			-18.75	Silt und Sand		
			-20.55	Quarzite		
			-21.60	Silt und Sand, wenig Kies und Steine		
			-22.40	Feinsand mit Kies		
			-23.90	Sandstein		
			623.201/1	Lauperswil rechts der Emme A: WV Zollbrück B: A.G.G. Bern G: H.C. Ryser ?		
-3.60	Kies mit Steinen, sandig					
-5.40	Grobkies, sandig-siltig					
-7.20	Feinkies mit Grobsand					
-15.00	Kies mit/und Sand mit Steinen					
-16.75	Kies vorwiegend grob, unten fein, sandig, sauber, gegen unten siltig					
-18.00	Sand mit Grobkies					
622.203/15	Ranflüh Bahnwärterhaus A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli	Kernbohrung	-0.35	Humus mit Kies und Geröllen	613.51	564.91
			-3.35	Sand mit/und Kies, sauber, lagenweise siltig, lagenweise steinig		
			-6.10	Kies und Steine, leicht sandig und siltig		
			-27.30	Kies mit Sand (teils überwiegend) und Steine, sauber bis leicht siltig		
			-33.25	Kies mit Sand, leicht bis stark siltig		
			-47.75	Kies mit/und Sand und groben Geröllen (örtlich fehlend), sauber bis schwach siltig, gegen unten zunehmend siltiger		

Ordnungsnummer	Lokalität	Sondierung	Bohrtiefe	Sedimente	OK Terrain	OK Fels
622.203/15 (Fortsetzung)	Ranflüh Bahnwärterhaus	Kernbohrung	-48.60 -49.10	Silt und Feinsand, kiesig, steinig Molassesandstein		
621.204/25	Terrasse von Rüderswil  A: WEA B: Grund- & Tiefbau AG, Bern G: petraqa, Münsingen/ Bern	Kernbohrung	-0.20 -0.55 -1.55 -2.80 -4.00 -5.20 -25.20  -30.00 -39.50 -40.60 -41.50	Humus Kies und Steine, sandig, siltig Feinsand, siltig, leicht kiesig Silt, sandig, leicht kiesig Grobkies und Steine, sandig, mässig siltig Silt leicht sandig, kiesig und steinig Steine und Kies (vorwiegend grob), wechselnd sandig, wechselnd siltig, zum Teil stark sil- tige Zwischenlagen Silt, sandig (teils überwiegend) kiesig und steinig Kies und Steine, sandig, leicht siltig bis siltig Ton und Silt, leicht kiesig Mergel, teils sandig	634.93	594.33
621.204/26	Terrasse von Rüderswil  A: WV Vennersmühle Gemeindeverband Lyssach B: Grund- & Tiefbau AG, Bern G: petraqa, Münsingen/ Bern	Kernbohrung	-0.15 -0.30 -1.10 -2.00 -24.00 -26.00 -27.10 -28.00 -31.50 -34.00	Humus Kies, sandig, siltig Silt, sandig, kiesig, steinig Kies und Steine, sandig, siltig Steine und/mit Kies, wenig bis stark sandig, leicht bis mässig (örtlich stark) siltig Silt, sandig, leicht kiesig und steinig Grobkies und Steine, sandig, mässig siltig Silt, sandig, leicht kiesig und steinig Kies, stark sandig, siltig, einzelne Steine, an der Basis etwas aufgearbeitete Molasse Mergel und Sandstein	631.61	600.11
620.204/13	Terrasse von Rüderswil  A: WV Vennersmühle Gemeindeverband Lyssach B: Grund- & Tiefbau AG, Bern G: petraqa, Münsingen/ Bern	Kernbohrung	-0.40 -2.00 -19.00 -24.00 -25.40 -27.20 -28.00 -33.10 -33.75 -35.50	Humus, sandig, leicht kiesig Feinsand, siltig, kiesig Kies mit/und Steine (teils überwiegend), sandig, leicht bis mässig siltig Silt, sandig, wechselnd kiesig und steinig Steine ausgewaschen Kies mit Steinen, sandig, siltig Silt, sandig, wenig Kies u. Steine Kies und/mit Steinen, sauber bis mässig siltig aufgearbeitete Molasse mit wenig Kies u. Steinen Sandstein und Mergel	625.09	591.34
621.204/9	Terrasse von Rüderswil  A: E. Schwitter, Hoch- & Tiefbau, Trubschachen B: A.G.G. Bern G: R.F. Rutsch	Kernbohrung	-0.70 -3.10 -10.70 -12.50 -26.50 -30.50	Humus, sandig, siltig mit wenig Kies Kies, sandig, siltig, humos Kies mit Sand u. Steinen, sauber Kies mit Sand u. Steinen (Nagelfluh), siltig Kies mit/und Sand, stark siltig, einzelner Nagelfluheinschluss Kies mit Sand u. Steinen, sauber	625.04	
621.204/8	Terrasse von Rüderswil  A: E. Schwitter, Hoch- & Tiefbau, Trubschachen B: A.G.G. Bern G: R.F. Rutsch	Kernbohrung	-1.00 -2.00 -12.00 -21.80 -22.30 -25.00	Silt und Ton Kiessand, sauber Kies, sandig, mässig bis stark siltig sandiger Kies, wechselnd schwach bis stark siltig verkitteter Kies u. Steine, daneben wenig Kies u. Sand Kies mit Sand und Steinen	619.18	
621.204/11	Rauflischachen  A: Direktion Eidg.Bauten B: A.G.G. Bern	Art ?	-0.90 -1.20 -1.70 -17.80 -25.00	Humus, feinsandig Kies mit Sand Feinsand und Lehm Kies mit Sand Sand mit wenig bis mässig Kies	606.21	

Ordnungsnummer	Lokalität	Sondierung	Bohrtiefe	Sedimente	OK Terrain	OK Fels
621.204/15 und 621.204/32	Moos unterhalb Terrasse von Rüderswil  A: WV Vennersmühle Gemeindeverband Lyssach B: Grund- & Tiefbau AG, Bern G: R.F. Rutsch (15) petraqua, Münsingen/ Bern (32)	Kernbohrung	-0.30 -7.70  -12.90 -36.00	Humus Grobkies u. Steine, mässig bis stark sandig, stellenweise leicht siltig Grobkies, sehr schwach bis mässig sandig Grobkies u. vereinzelte Steine, wenig bis mässig Sand	599.86 resp. 599.36	~563.86
620.205/6	Ramsei  A: Obstweingenossenschaft Ramsei G: Unterlagen WEA	Brunnenbau	-0.40 -1.90 -13.30	Humus Sand, siltig Grobkies, sauber	~599.00	
619.205/22	Farbschachen N  A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli	Kernbohrung	-0.85 -4.75 -8.00 -19.80 -29.85 -46.30 -48.00	Humus, beige Kies und Sand, sauber, einzelne Gerölle Kies und Sand, schwach siltig, einzelne Gerölle Kies und Sand, sauber, Einschaltung von fein- sandigen und schwach siltigen Lagen Kies und/mit Sand, schwach bis stark siltig, einzelne Gerölle, dm-mächtige Siltzwischen- lagen Kies und/mit Sand, schwach bis stark siltig, von 40.00-40.85 Zwischenlage aus Grobkies und groben Geröllen Sandstein	590.19	543.84
619.205/23	Farbschachen S  A: WEA B: Dicht AG, Bern G: C.R. Niggli	Kernbohrung	-0.55 -2.00 -2.35 -27.55 ? -33.55 -36.00 -46.20 -48.40 -49.40	Walderde Sand, lagenweise siltig Grobkies, sauber Kies mit Sand, wechselnd sauber bis schwach siltig mit vereinzelt Geröllen Kies mit Sand, lagenweise stark siltig, lagen- weise relativ sauber, einzelne Sandlinsen Kies, Gerölle und Sand, sauber Kies und/mit Sand, leicht bis stark siltig Kies und Sand mit groben Geröllen, siltig Sandstein	592.12	543.72
619.205/1	Farbschachen  A: Gemeinde Lützelflüh G: Akten Bauamt Lützel- flüh	Brunnenbau	-0.50 -0.80 -1.50 -8.50 -9.10 ab 9.10	Humus sandiger Kies Kies, Sand, siltig Kies, Sand und grosse Steine Sandstein Kies, verkittet	591.35	
621.205/13	rechts der Emme am Fusse des Bütlerberges  A: EMD B: A.G.G. Bern	Kernbohrung	-0.30 -1.77 -4.50	Humus sandiger Silt Kies z.T. sandig, siltig	605.40	

A: Auftraggeber, B: Bohrfirma, G: Geologische Aufnahme

### 1.3.3. Bohrlochmessungen

Im Januar 1974 wurden im Zuge eines Testprogrammes durch die Firma Prakla-Seismos, Hannover, geophysikalische Messungen in den Bohrungen Nrn. 623.201/41, 621.204/25 und 13 durchgeführt. Aufgezeichnet worden ist die natürliche und sekundäre Gammastrahlung (Gamma-Log bzw. Neutron-Gamma-Log) und die Temperatur-Ganglinie (vgl. Beilage I, 3).

#### 1.3.3.1. Gamma-Log

Viele vor allem magmatische Gesteine enthalten in Spuren radioaktive Elemente. Ihre radioaktiven Mineralien werden teilweise abgetragen, umgelagert und wieder abgelagert ohne gelöst zu werden. Hauptsächlich werden aber radioaktive Salze - vorwiegend radioaktives Kalium - durch Lösungen transportiert und von Tonen, die eine hohe Oberflächenaktivität und ein hohes Ionenaustauschvermögen aufweisen, adsorbiert. Messungen der natürlichen Gammastrahlung erlauben deshalb tonhaltige Gesteine von anderen Gesteinen zu unterscheiden.

Die Variation der Impulsraten und damit auch des Anteils an Tonmineralien ist in den vorliegenden Messprotokollen (siehe Beilage I, 3) deutlich zu beobachten. Gelegentlich, aber nicht durchwegs, treten in Partien mit viel Feinkorn und damit erwartungsgemäss grösserem Tongehalt, relative Maxima in den Impulsraten auf. Vergleiche z. B. Bohrung 623.201/41 in den Bereichen 0 - 1m resp. 30 - 31m unter Terrain-Oberkante.

Eine differenzierte Erfassung der erwähnten, komplexen Zusammenhänge zwischen Tongehalt und der natürlichen Gammastrahlung ist mit den vorgenommenen Untersuchungen, der zumeist nur feldmässigen Sedimentbeschreibung und den Bohrlochmessungen allein nicht möglich. Ergänzend müssten umfangreiche vor allem mineralogische Laboruntersuchungen durchgeführt werden.

#### 1.3.3.2. Neutron-Gamma-Log

Im Unterschied zum Gamma-Log wird beim Neutron-Gamma-Verfahren neben der natürlichen Gammastrahlung auch die künstlich angeregte, sog. sekundäre Gammastrahlung gemessen. Ob eine sekundäre Gammastrahlung erzeugt werden kann, hängt weitgehend vom Wasserstoffgehalt, resp. dem Porenwasseranteil in der Umgebung der Bohrung ab.

Grundsätzlich ist es möglich, selbst in verrohrten Bohrungen damit Porositätsbestimmungen durchzuführen. Meist beschränkt man sich aber wegen den grossen Fehlermöglichkeiten auf qualitative Aussagen. Da die vorliegenden Messungen nur zu Demonstrationszwecken durchgeführt wurden und eine Reihe von Randbedingungen nicht oder nur unvollständig bekannt sind, fällt eine quantitative Porositätsbestimmung dahin.

Generell kann gesagt werden, dass bei dem vorgegebenen Spacing (Abstand Quelle-Empfänger) von 0,6m die Impulsrate höher ist je geringer der Porenwasser-gehalt. Eine Korrelation zwischen Porenwassergehalt und Porosität ist natürlich

nur im Grundwasser-, nicht aber im Ueberwasserspiegelbereich möglich.

In den Bohrungen 621.204/25 und 13 wurde vorwiegend in der Ueberwasserzone des Grundwasserleiters, in deren Poren sich allenfalls Gravitations-, Haft- und Kapillarwasser findet, gemessen. Entsprechend hoch sind auch die registrierten Impulse: im groben Mittel rund 40'000 Imp/min. Sobald der Grundwasserbereich erreicht wird, fallen die Impulsraten deutlich ab (vgl. 621.204/25 bei 35m u.T.: ~6600 Imp/min).

In der Bohrung 623.201/41, die ab 5m im Grundwasser steht, wurden mittlere Gammastrahlungswerte von 6200 Imp/min registriert. Sie spalten sich auf in einen Anteil mit natürlicher Gammastrahlung (~2000 Imp/min) und einem Anteil mit sekundärer Gammastrahlung (~4200 Imp/min). Entsprechend dem heterogenen Aufbau des Kieskörpers sind auch unterschiedliche Porositätsanteile in den verschiedenen Sedimentpaketen zu erwarten. Dieser schwankende Porositätsanteil spiegelt sich in den stark schwankenden Impulsraten wider.

#### 1.3.3.3. Temperatur-Messungen

Temperatur-Messungen werden hauptsächlich eingesetzt, um Wassereintritte in Bohrungen nachzuweisen. Der Eintritt von Schichtwasser zeigt sich durch Temperaturabweichungen vom extrapolierten geothermischen Gradienten - dem Temperaturgefälle pro Tiefeneinheit - an. Es wurde nur in der Bohrung 623.201/41 das Temperatur-Log aufgezeichnet. Das Temperaturgefälle innerhalb der Wassersäule im Bereich von 11 - 41m betrug dabei  $0,1^{\circ}$  pro 30m. Es weicht wesentlich vom geothermischen Gradienten ab, der im groben Mittel mit  $1^{\circ}$  pro 30m angegeben wird. Der Einfluss des kalten Grundwasserstroms ist deutlich zu erkennen.

In der Aufzeichnung tritt bei 6,5m u.T. ein Temperatursprung auf. Möglicherweise ist er durch Infiltration von Emmewasser ins Grundwasser zu erklären.

#### 1.4. Geologische Querprofile (vgl. Beilage I, 1)

Die 11 geologischen Querprofile im Oberen Emmental sind gestützt auf die im Abschnitt 1.3. besprochenen Untersuchungsergebnisse konstruiert worden. Sie sollen den Verlauf des alten Talbodens, die Talfüllung und z.T. auch die randlichen Terrassensysteme veranschaulichen. Aus ihnen ergeben sich die Querschnittsflächen für die im 3. Abschnitt erläuterten Bilanzierungsprofile.

##### 1.4.1. Geologisches Profil I: Eischachen

Die in den Molassesandstein eingeschnittene alte Ilfisrinne erreicht nach den seismischen und geoelektrischen Untersuchungen ihre grösste Tiefe in der Talmitte bei 615m ü.M. Hier beträgt die Mächtigkeit der quartären Ablagerungen 46m. Nach Süden verläuft die Molasseoberfläche zunächst nahezu horizontal. Erst am Talrand steigt sie sehr steil an. Gegen Norden, zur Ilfis hin, steigt die Felsoberfläche kontinuierlich an. Am Abhang des Brammerbodens ist die Molasse zwischen 685m und 700m ü.M. als Nagelfluh aufgeschlossen.

Im Bereich dieses Profiles wurde nicht gebohrt. Für die Beschreibung der quartären Ablagerungen können lediglich die geophysikalischen Untersuchungsergebnisse herangezogen werden. Danach findet sich im südlichen Teil vorwiegend sauberer Kies mit Steinen und mässigem Sandanteil (400 - 500 $\Omega$ m). In der Talmitte liegen eher siltige Kiessande mit stark siltig-sandigen Zwischenlagen (um 200 $\Omega$ m). Im nördlichen Talabschnitt tritt der Feinkornanteil wieder eher zurück (300 - 400 $\Omega$ m). Hier dürfte daher sauberer bis leicht siltiger Kiessand mit Steinen überwiegen. Die 8 bis 10 m dicke Deckschicht der Terrasse von Brammerboden wird als siltiger Sand mit Kies interpretiert. Gleich darunter folgt der Molassesockel aus Nagelfluh.

An der Basis der quartären Talfüllung werden risseiszeitliche Grundmoränenreste vermutet; darüber liegen 35 - 40 m Würmschotter, die - wie eben beschrieben - einen örtlich wechselnden Feinkornanteil aufweisen. Im Hangenden kann eine sicherlich holozäne Deckschicht von 2-10 m Mächtigkeit ausgeschieden werden. Die Deckschicht des Brammerbodens wird ihrer mutmasslichen sedimentologischen Zusammensetzung wegen den Würmschottern zugeordnet.

Gliederungen von Sedimentabfolgen allein aufgrund geophysikalischer Untersuchungen sind erfahrungsgemäss mit grosser Vorsicht zu betrachten. Es kann sich hierbei nur um einen Versuch handeln, das quartäre Sedimentpaket lithologisch zu differenzieren.

#### 1.4.2. Geologisches Profil II: Ramseischachen unterhalb Aeschau

Aus dem Gebiet Ramseischachen liegen vom zweiten Ausbau der stadtbernischen Wasserversorgung im Jahre 1921 Protokolle von 5 Sondierungen vor, welche die Molasse (Nagelfluh bzw. Sandstein) erreicht haben (FURRER, 1949, S. 14-15 und Geol. Dok. WEA UP 1168.3/3). Die tiefste Bohrung dieses Profiles (624.195/8) erreicht bei 29,9 m unter Terrain (660.42 m ü.M.) die Molasse.

Die Bohrprotokolle sind nicht sehr ausführlich. Um einen Ueberblick über das erbohrte Material zu geben, soll hier ARBENZ (in ARBENZ, FREIBURGHaus & PETER, 1925, S. 6) zitiert werden: 'Die Bohrungen und Sondierungen bei Ramsei-Aeschau liessen in der Talausfüllung neben sehr grobem Kies auch mit Sand stark durchsetzte Lagen erkennen, Quarzite und Granite überwiegen. Die Zusammensetzung des Schotters zeigt starken Wechsel in der Korngrösse und lässt auf eine wechselvolle, nicht überall hohe Durchlässigkeit schliessen'.

Anhand der Bohrprotokolle kann die quartäre Sedimentabfolge nicht gegliedert werden.

Abtrennen lässt sich einzig eine 4 bis 7 m mächtige Deckschicht, die aus sandig-siltigem Ton (~1 m) und siltigem Kiessand mit grösseren Steinen besteht. Die Torfbildungen in den Bohrungen 623.195/2 und 624.195/9 zeigen, dass sich in der Ebene unterhalb Ramsei in der Nacheiszeit zeitweilig ein Moor ausgebreitet hat.

#### 1.4.3. Geologisches Profil III: Schüpbachschachen

Nach den seismischen Untersuchungen (Profil 622.196/34) ist der Fels im Schüpbachschachen bis auf Kote 642 m ü.M., d.h. bis rund 30 m unter das heutige Talniveau, abgetragen worden. Das Pumpwerk der WV Signau (623.197/4) steht annähernd im Zentrum dieser etwa 100 m breiten Rinne, deren Sohle, entsprechend der Interpretation der seismischen Frontgeschwindigkeiten ( $c = 2500-2600$  m/s), aus Sandstein besteht.

Auch in den Talflanken findet sich bis ca. auf das Niveau 650 m ü.M. noch Sandstein, von da an Nagelfluh ( $c = 3700-4500$  m/s). Molasse-Nagelfluh ist im Schüpbachschachen, im Flussbett der Emme, zu beobachten.

Die Brunnenbohrung 623.197/4 traf unter der siltigen Deckschicht auf Grobkies mit Sand und Steinen. Differenziertere Angaben über eine Wechsellagerung von fein- und grobkörnigen Sedimenten fehlen im Bohrprotokoll. Auch die seismischen Messwerte lassen keine weitere Aufgliederung der quartären Talfüllung zu.

#### 1.4.4. Geologisches Profil IV: Ried NE Schüpbach

Der seismisch und geoelektrisch ausgelotete Querschnitt bei Ried (Profil 622.198/10) zeigt eine alte Talübertiefung von 40 bis 42 m. Die rund 130 m breite Basis besteht aus Sandstein. Der Wechsel zu Nagelfluh am Talrand erfolgt hier zwischen 615 m und 620 m ü.M. Das heutige Emmebett liegt unterhalb der Terrasse von Furenholz (Koord. 622.820/197.860) wiederum, wie im Schüpbachschachen, auf Nagelfluh.

Im Bereich des geologischen Profiles IV fehlen Bohraufschlüsse. Die geoelektrischen Widerstandswerte liegen etwas tiefer als im Ilfistal: am W Rand bei  $200-250\Omega\text{m}$ , im übrigen Talquerschnitt bei  $280-300\Omega\text{m}$  (Maximum  $400\Omega\text{m}$ ). Generell können diese Widerstände siltigem Kies mit Sand zugeordnet werden, wobei der Feinkornanteil in der westlichen Randpartie zunimmt. Eine unregelmässige Wechsellagerung von grob- und feinkörnigen Schichten ist auch in diesem Querprofil wahrscheinlich.

Die geophysikalischen Untersuchungen wurden (vgl. Beilage I, 2) in SE Richtung auf das Plateau bei Huttibuech und die Terrasse von Hälischwand ausgedehnt. Bei Huttibuech liegt eine geringmächtige Deckschicht ( $\sim 4$  m) mit vermutlich hohem Feinkornanteil (Ton und Silt) über einem hochragenden Molassesockel aus Nagelfluh. In der Terrasse von Hälischwand wurde im Bereich zwischen Furen und Hälischwand seismisch eine flache Rinne von ungefähr 35 m Tiefe aufgespürt, die nach SW ziemlich steil ins Emmental ausmündet. Die Rinne führt nur unbedeutend Grundwasser. Den seismischen Frontgeschwindigkeiten ( $c = 800-1000$  m/s) entsprechen vorwiegend trockene, siltige Kiese mit viel Sand.

#### 1.4.5. Geologisches Profil V: Emmenmatt

Das Profil V wurde aufgrund der Interpretation der Bohrungen von Weichel matt

(624.199/28) und Neumühle (623.201/21, vgl. Profil VI) und der interpolierten Isohypsen der Molasseoberfläche in diesem Talabschnitt erstellt. In der unmittelbaren Umgebung des Profiles V wurden keine Sondierungen durchgeführt.

Der Molassefels liegt in diesem Profil maximal rund 50 m unter Terrain. Die Breite des Rinntiefsten misst ungefähr 300 m. Ueber der Molasse liegen etwa 8 m siltiger Kies mit Sand und Steinen - vermutlich Riss-Moräne -, darüber wechseln Schichten von sauberem und siltigem Kiessand. Grobe Gerölle und sandig-siltige Zwischenlagen treten in diesem Schichtglied nur untergeordnet auf.

In dieses schematisierte Schichtprofil passen - allerdings mit unterschiedlicher Mächtigkeit der einzelnen Schichtglieder - alle 4 Bohrungen, die im Auftrag des WEA im Ilfis- bzw. Emmental zwischen Weichel matt - Bämbrunnen und Ranflüh (624.199/28, 623.201/21 und 41, 622.203/15, vgl. Beilagen I, 2 und 3) durchgeführt worden sind.

#### 1.4.6. Geologisches Profil VI: Lauperswil-Neumühle-Aebnit

Zwischen Lauperswil und Neumühle wurde ein kombiniertes seismisch-geoelektrisches Profil ausgelegt und mit drei Schlüsselbohrungen bis in die Molasse ergänzt. Dieses Profil schneidet zwei aus der Molasse erodierte Rinnen, eine Hauptrinne im E-Teil, im Bereich des Emmentals und eine Nebenrinne im W-Teil, im Bereich von Lauperswil. In der Terrasse von Aebnit wurden 1972 mittels 10 geoelektrischer Tiefensondierungen abbauwürdige Kiesvorkommen gesucht (Geol. Dok. WEA LK 1168/12).

In der Bohrung W Neumühle (623.201/21) ist auf Kote 578.6 m ü.M. Sandstein angetroffen worden. Die Felsoberkante liegt hier 54,4 unter Terrain und entspricht damit dem tiefsten erbohrten Molasseaufschluss im Oberen Emmental. Die Bohrung am Dammfuss westlich der Emme bei Freudenhof (623.201/41) erreicht den Fels - hier mergeliger Sandstein und sandige Mergel - auf Kote 584.6 m ü.M. Nach den seismischen und geoelektrischen Ergebnissen liegt zwischen den beiden Bohrungen, unter dem Emmebett, ein leichtes 'Molassehoch' (Kote 595 m ü.M.).

Aehnlich wie im Profil V liegt über den tertiären Sedimenten ein bis zu 8 m (Bohrung Neumühle) mächtiger Moränenrest, der aus stark siltigem Kiessand mit z.T. kantigem, schlecht gerundetem Kies besteht.

Ueber dem Moränenrelikt finden sich wieder fluvioglaziale Ablagerungen, die sich aus Kiessand mit einem wechselnden Feinkornanteil (von sauber bis stark siltig) zusammensetzen.

In der Bohrung Freudenhof ist der Anteil an Steinen relativ hoch, in der Bohrung Neumühle dagegen unbedeutend (vgl. 1.3.2.). Nennenswerte rein sandig-siltige Schichten oder Linsen wurden nicht registriert.

Eine Korrelation der in den beiden Bohrungen aufgefundenen Schichtabfolgen ist nicht möglich.

Im Molassesockel der Lauperswiler-Terrasse wurde seismisch und geoelektrisch eine Rinne aufgespürt. Die Felsoberfläche fällt von 640 m am emmenseitigen Terrassenrand bis auf 624 m bei Lauperswil-Dorf ab. Von da an steigt sie westwärts Richtung Wald unterhalb Ober Burg wieder an.

Die Sedimentfüllung der Lauperswiler Rinne wurde durch eine Kernbohrung (622.201/5) südlich Lauperswil erschlossen. Die obersten 7 m, stark bindiger Silt und Feinsand mit zum Teil schlecht gerundetem Kies, müssen nach NIGGLI (1972a, S. 8) als Moräne bezeichnet werden. Darunter folgen bis in die Tiefe von 22,4 m fluviatile und fluvioglaziale Sedimente: Kies in Wechsellagerung mit Sand und Silt. An der Basis wurde 1,5 m Molassesandstein aufgebohrt (vgl. 1.3.2.).

#### 1.4.7. Geologisches Profil VII: Zollbrück

Das geologische Profil VII ist lediglich durch seismische und geoelektrische Messungen (vgl. Beilagen I, 2 und 3) belegt.

Das Profilschneidet zwei Rinnen im Molassefels; eine westliche, tiefere Rinne im heutigen Tal der Emme, eine östliche flachere unter der Terrasse oberhalb Zollbrück. Ihr tiefstes Niveau liegt einerseits bei Tannschachen (572 m ü.M.), andererseits bei Riedmatten (600 m ü.M.).

Die westliche Hauptrinne ist über einer Basisschicht aus Moränenmaterial von 5-7 m Mächtigkeit hauptsächlich aus sauberem bis leicht siltigem Kiessand aufgebaut, der hier 30-40 m misst. Westlich und östlich des Rinnenzentrums wird der saubere Kies jedoch durch siltigen bis stark siltigen Kiessand mit Steinen ersetzt. Darüber folgt noch eine 4-8 m mächtige durchgehende Schicht aus sauberem Kiessand mit Steinen.

Oestlich der Emme steigt die Molassesohle mit etwa 5 % bis maximal ca. 15 m unter Terrain an, um dann wieder in die östliche Rinne abzufallen. Diese ist etwa 25 m tief. Sie verläuft von Zollplatz in Richtung Schulhaus Riedmatten. Der untere Teil ist mit ca. 18 m sauberem Kiessand mit Steinen aufgefüllt. Darüber liegen siltige bis stark siltige Kiessande mit Steinen. Siltiges Material bildet auch im mittleren Teil des Querprofils die quartäre Sedimentdecke.

Aufschlüsse bestehen in Form einer Baugrube (623.130/202.900) und eines Schachtbrunnens (623.170/203.685). In der Baugrube wurde unter einer 1 m dicken siltig-sandigen Deckschicht mit wenig Kies, 3-4 m siltiger Kies mit Sand und vereinzelt Steinen beobachtet. Beim Erstellen eines Schachtbrunnens wurden von 0-7 m siltig-sandiger Kies und von 7-10 m verfestigter Schotter angetroffen.

Im östlichsten Teil des Querprofils folgen noch Moränenablagerungen und Hangschutt.

#### 1.4.8. Geologisches Profil VIII: Rüderswilschachen-Unterdorf

Zwischen Rüderswilschachen und der Terrasse von Ranflüh wurde ein seismisches

Profil geschossen. Längs seiner Achse liegen zudem 10 geoelektrische Sondierstationen und östlich der Bahnlinie, beim Bahnwärterhaus Ranflüh, eine Kernbohrung (622.203/15).

Im westlichen Teil ist bereits die Erosionsrinne zu erkennen, die sich unter der Rüderswiler-Terrasse fortsetzt (tiefstes Niveau: 595 m). Von hier steigt die Molasseoberkante zunächst gegen E leicht an und fällt dann im Bereich der Emme steil in die Hauptrinne des Emmentales ab. Die Hauptrinne ist durch die erwähnte Bohrung erschlossen, die die Felsoberkante bei 564.9 m ü.M. erreicht. Gegen E steigt die Molasseoberkante wieder steil an, erreicht bei Unterdorf fast die Terrainoberfläche und fällt dann nochmals zu einer flachen Rinne im östlichen Teil des Querprofils ab.

Die Bohrung hat an der Sohle der quartären Füllung der Hauptrinne 0,85 m Grundmoräne erschlossen. Darüber folgen ca. 20 m siltiger bis stark siltiger Kiessand, teilweise mit Steinen durchsetzt, darüber 12-20 m sauberer bis leicht siltiger Kiessand mit Steinen. Im obersten Teil des Profils sind nochmals 6-12 m siltige Kiessande anzutreffen.

Die im Bereich der Terrasse von Ranflüh über der Molasse liegenden Ablagerungen haben im Durchschnitt eine Mächtigkeit von 5-10 m, in der Rinne von Unterdorf erreichen sie 17 m (belegt durch seismische Messungen).

#### Die Terrasse von Rüderswil

SCHARDT hat bereits 1907 (Geol. Dok. WEA LK 1168/8) angenommen, dass unter der Rüderswiler Terrasse eine alte Talrinne durchzieht. Diese Vermutung konnte in den letzten Jahren durch geoelektrische Untersuchungen und durch 5 Kernbohrungen bestätigt, der ungefähre Verlauf dieser Talrinne geklärt werden. Sie beginnt, wie erwähnt, im Schachen, verläuft unter der Terrasse in südwestlich-nordöstlicher Richtung und mündet bei Rumpel wieder in das Emmental. Die Rinne wird durch eine Molasserippe in zwei parallel verlaufende Teilrinnen aufgeteilt. Eine weitere Nebenrinne verläuft nördlich Breiten, Siten, Mülifeld und mündet NNW Toggelbrunnen in das Emmental ein.

Die quartären Ablagerungen bestehen gemäss den Bohrungen vorwiegend aus steinigem Grobkies mit wechselndem Sand- und Siltgehalt. In allen Bohrungen tritt ein im Niveau korrelierbarer Horizont aus sandig-kiesigem Silt mit Steinen auf, der eine Mächtigkeit bis zu 6 m erreicht. Die geoelektrischen Untersuchungen zeigen jedoch, dass dieser Silthorizont nach NE und SW auskeilt. Im Sondierprofil 620.204/6 (Beilage I, 3) ist er noch zu verfolgen, in den übrigen Tiefensondierungen fehlt er jedoch.

Das in der Terrasse erbohrte Material hat einen moränenartigen Charakter. Es könnte sich um Moränenmaterial handeln, das auf sehr kurze Distanz nochmals umgelagert wurde.

Aber auch eine andere Auslegung ist möglich. Im Bereich der Rüderswiler Terrasse könnten sich Stauschotter, bzw. Stauletten, verfrachtet vom in der Würmeiszeit nordwestlich gelegenen Rhonegletscher mit Material des Emme- und Aare-

gletschers vermengt haben. Die Füllung im engeren Bereich der geoelektrisch ausgeloteten südlichen Rinne, besteht vermutlich aus sauberem Kiessand mit Steinen. Die untersten 10-30 m, die der Molasse aufliegen, können evtl. als Rinnenschotter gedeutet werden. Darüber folgen fluviatile Ablagerungen aus der jüngeren Würmeiszeit, überdeckt von Gehängeschutt.

#### 1.4.9. Geologisches Profil IX: Terrasse von Rüderswil-Fännersmüli

Dieses Querprofil ist durch geoelektrische Messungen, durch 2 Kernbohrungen in der Terrasse und durch 2 Brunnenbohrungen im Moos belegt.

Der südliche Teil des Profiles durchschneidet die Rüderswiler Terrasse, die oben behandelt worden ist.

Die beiden Brunnen, die den Hauptgrundwasserleiter des Tales der Emme erschliessen, gehören der Wasserversorgung Vennersmühle. Der ältere (621.204/15) reicht mit 36,0 m Ausbautiefe bis auf den Molassesandstein, der neue, 31,0 m tief, ist als unvollständiger Brunnen erstellt worden.

Anstieg und Verlauf der Molasseoberkante nördlich dieser Brunnen wurde aufgrund der geoelektrischen Messungen interpretiert. Dieser Verlauf ist jedoch nicht gesichert, da die Messwerte stark gestört sind. Der Anstieg des Molassefelses könnte auch durch verkittete quartäre Horizonte oder eher durch siltige Einschaltungen vorgetäuscht sein.

Die beiden Brunnenbohrungen haben gezeigt, dass die quartäre Sedimentfüllung des heutigen Emmentales und der Hauptrinne aus sauberem Kiessand mit Steinen besteht. Oertlich wurden auch überwiegend Steine mit kleinem Sandanteil angetroffen.

Auch diese sauberen Kiessande des Haupttales bei Moos/Fännersmüli, die eine Sonderstellung einnehmen, sind evtl. als Rinnenschotterreste zu interpretieren.

#### 1.4.10. Geologisches Profil X: Ramsei

Das geologische Querprofil an der Ausmündung des Grünenales ins Emmental wurde aufgrund der Vorstellung konstruiert, dass hier einst ein alter Emmelauf durchzog. Aus SSE-Richtung kommend, durchquert er das Emmental und zieht bei Ramseimatten in die Terrasse von Waldhus ein. In seinem Zentrum steht heute ein 13,3 m tiefer, unvollkommener Brunnen (620.205/6), dessen nicht sehr differenziertes Bohrprofil unter einer 1,9 m mächtigen, tonig-siltig-sandigen Deckschicht, bis zum Bohrende vorwiegend sauberen Grobkies ausweist.

#### 1.4.11. Geologisches Profil XI: Farbschachen-Bleiche

Ueber den Verlauf der Molasseoberfläche und die Talfüllung im Farbschachen sind wir durch ein kombiniertes Untersuchungsprogramm informiert. Neben den seismi-

schen und geoelektrischen Daten kennen wir den Schichtaufbau aus 2 Schlüsselbohrungen (619.205/22 und 23).

Die rund 300 m auseinanderliegenden Bohrungen haben den Molassesandstein praktisch auf gleicher Höhe angetroffen (543.84 m bzw. 543.72 m).

Der Südteil des Querprofiles kann aufgrund der beiden Kernbohrungen grob in zwei Haupt-Schichtglieder unterteilt werden, wobei an der Basis und im Hangenden noch je ein geringer mächtiges Schichtglied zusätzlich ausgeschieden werden kann.

An der Basis liegt eine 3-4 m mächtige Schicht aus siltigem Kiessand mit Steinen. Von den untersten 2 m dieser Bohrungen hat NIGGLI (in NIGGLI & WERNER 1972, S. 6) petrographische Geröllanalysen vorgenommen. Sie sind nachstehend wiedergegeben:

	<u>Farbschachen N</u>	<u>Farbschachen S</u>
Kalke, Sandkalke	54,7 %	55,4 %
Sandsteine	1,5 %	4,1 %
Breccien, Arkosen, Radiolarite	0,7 %	3,6 %
Quarzite	31,2 %	28,5 %
Granite und übriges Kristallin	11,7 %	8,3 %

Dazu bemerkt er: 'Unter den kristallinen Gesteinen sticht ein kleines Geröll eines vulkanischen Gesteins hervor (Lava), dessen Ursprung vermutlich im Walliser Verrucano (Rhôneerraticum) zu suchen ist'.

Diese Ablagerungen werden als Grundmoräne des risseiszeitlichen Gletschers gedeutet.

Ueber dem Moränenrest folgt ca. 13-22 m Kiessand mit einzelnen Steinen, der im allgemeinen leicht siltig ist. Hierüber breitet sich ein Kiessandhorizont von 15-20 m Mächtigkeit aus der nur örtlich siltig, im allgemeinen aber fast sauber ist; lokal ist zudem der Steinanteil sehr hoch. Den Abschluss nach oben bildet eine 3-4 m dicke Deckschicht aus leicht siltigem Kiessand mit Steinen.

Der nördliche Teil des Querprofiles ist nicht näher untersucht worden. Der Verlauf der Molasseoberkante ist nicht bekannt. Die quartäre Auffüllung besteht vermutlich aus siltigem Kiessand mit einzelnen Steinen.

Am nördlichen Rand des Querprofiles 11 ist noch eine Erosionsrinne im Bereich der Südgrenze der Waldhusterrasse angedeutet. Die Dimensionen dieser Rinne sind nicht bekannt. Auf ihre Existenz weist jedoch das bei der Bleiche Lützelflüh austretende Grundwasser hin. SCHARDT (1907, Geol. Dok. WEA LK 1168/8) ist der Ansicht, dass diese Rinne von der Emme angelegt worden ist. Später wurde dieser vorgegebene Lauf durch die Grüene benutzt und evtl. noch weiter vertieft.

## 1.5. Folgerungen aus den geologischen Untersuchungen

### 1.5.1. Molasse

Nach den Ausführungen von DELLA VALLE (1965, S. 140 u. 91) liegt das 'Obere Emmental' in einer breiten Molassemulde. An den Südschenkel der Belpbergsynklinale, die nach Messungen von ARBENZ (in ARBENZ, FREIBURGHAUS & PETER 1965, S. 4) zwischen Eggiwil und Schüpbach mit ca.  $5-6^{\circ}$  gegen NW bis WNW einfällt, schliesst zwischen Emmenmatt und Lauperswil eine horizontale Zone an. Weiter nördlich im Gebiet von Rüderswil und an der Wannенfluss ergaben Messungen an tertiären Leithorizonten ein Schichtfallen von  $3-4^{\circ}$  in Richtung NNW bis N. Im Farbschachen zieht die Achse der Ramseisynklinale durch.

Die Molasse bildet auf weite Strecken den Grundwasserstauer. Als typische Gesteine treten in Wechsellagerung auf: Mergel, Mergelsandsteine, Kalksandsteine, Sandsteine und polymikte Nagelfluh.

### 1.5.2. Rinnensysteme

Voreiszeitlich liegt der Talboden zwischen 100 m (Hasle) und 150 m (Eggiwil) über dem heutigen Flusslauf. Vor der RISSEISZEIT haben, wenn wir dem Schema auf Seite 5 folgen, gewaltige Erosionen stattgefunden. Die Emme hat ihr Bett bis an die 200 m vertieft. Die Isohypsenkarte der Molasseoberfläche (Beilage I, 2) zeigt auf, dass sich dabei verschiedene, ausgeprägte Erosionsrinnen ausgebildet haben. Sie seien nachstehend kurz skizziert (vgl. auch Beilage I, 3).

Eine Erosionsrinne durchzieht, aus der Richtung des heutigen Haupttales der Emme kommend, die Terrassen von Furen und Lauperswil, schwenkt dann vom westlichen Talhang gegen E über und dringt in die Terrasse von Zollbrück-Ranflüh ein. Dort gabelt sie sich. Dem ursprünglichen Lauf nach N folgend, verlässt sie die Terrasse einerseits bei Unterdorf, andererseits nach einer scharfen Wendung nach W bei Taan. Die Rinne, die bei Unterdorf ausmündet, folgt dann ungefähr dem heutigen Emmelauf. Die andere setzt sich dagegen in der Terrasse von Rüderswil zunächst über Toggelbrunnen fort. Die Rinne von Toggelbrunnen ist nicht sehr tief erodiert; die Emme hat sich schon bald einen neuen Weg über Rumpel Richtung NNW gebahnt. Nach der anschliessenden Durchquerung des Haupttales, zieht sie dann unter der Terrasse von Waldhus durch.

Eine weitere Uebertiefung, mit durchwegs tieferem Erosionsniveau, folgt dem heutigen Haupttal, zeigt aber einen abweichenden Verlauf von der heutigen Emme. Die vereinigte alte Emme- und Ilfisrinne fand ihren Durchlass bei Obermatt, östlich von Emmenmatt, prallte dann an den Molassehang des Ryblenbergchnubels und wurde nordwestwärts Richtung Chalchmatt unterhalb Lauperswil abgedrängt. Kurz nachher unterquert sie westlich Zollbrück den rezenten Emmelauf und zieht unter dem Gebiet von Ranflühmatten nordwärts. Der Molasserücken von Bütlerberg-Wannenfluss blieb stehen und zwang schon die alte, wie auch die heutige Emme zum Abdrehen gegen W.

### 1.5.3. Talfüllungen

Dieses Molasserelief wurde in der Folge verschiedentlich alternierend durch Fluss- und Gletscherablagerungen überdeckt, dazwischen aber auch, zumindest teilweise, bis auf die Felsoberfläche hinunter wieder ausgeräumt (vgl. S. 5 ff.).

In der Erosionsrinne, die annähernd der Längsachse des Tales folgt, sind an der Basis lokal risseiszeitliche Grundmoränenreste erhalten geblieben. Sicher nachgewiesen hat sie NIGGLI im Farbschachen (vgl. Profil XI). Neben einem starken Siltgehalt, zeichnen sie sich durch z.T. sehr schlecht gerundete Kiesgerölle und im speziellen durch Rhoneerratica aus.

Vom Farbschachen an talaufwärts fehlen diese Zeugen der Risseiszeit. In der Brunnenbohrung 621.204/15 konnten sie nicht nachgewiesen werden. Erst ab Ranflüh (Bohrung 622.203/15) tauchen sie in einer Mächtigkeit von 0,85 m wieder auf. In den Bohrungen von Lauperswil (623.201/21 und 41) ist von ihnen eine Sedimentationshöhe von 2,0-7,7 m erhalten geblieben. Ein letztes Mal liegen sie mit einiger Sicherheit in der Sondierung Weichelmatt (624.200/28) in einer Mächtigkeit von 8 m über der Molasse auf.

Alle Bohrungen des Oberen Emmentals zeigen eine deutliche Wechsellagerung von Schichten mit höherem und niedrigerem Feinkorngehalt. Nicht festzustellen war dieser Wechsel in der Kornverteilung der Ablagerungen jedoch in den Brunnenbohrungen Fännersmüli. Diese weisen unter einer Humusschicht von 30 cm durchgehend groben Kies und Steine mit wenig Sand und Silt auf. Zwar werden Brunnenbohrungen mit einem Bohrverfahren durchgeführt, bei dem wesentlich stärker gestörtes Bohrgut gefördert wird und bei dem dünnere Schichten mit höherem Feinkornanteil leicht überbohrt werden. Trotzdem bleibt festzustellen, dass in diesen Bohrprofilen keine mächtigeren Schichten mit höherem Siltgehalt auftreten.

Ausschliesslich sauberen Kies zeigt auch das Bohrprofil des Filterbrunnens der Emmentalischen Obstwein-Genossenschaft Ramsei (620.205/6) an. Diese Bohrung ist jedoch nur 13,30 m tief und stellt insofern einen Sonderfall dar, als sie im Zuflussbereich der Grüene liegt.

Eine Erklärung für das Auftreten des gut sortierten und nahezu feinkornfreien Schottervorkommens bei Fännersmüli muss gesucht werden. Wird es als gleichalt wie die übrige Schotterfüllung des Haupttales betrachtet, so müsste seine Lage so exponiert sein, dass besondere Ablagerungsbedingungen angenommen werden können; das ist nicht der Fall. Es kann auch nicht jünger sein, da es stromaufwärts und -abwärts nicht zu verfolgen ist. Folglich kann nur vermutet werden, dass es sich um ein Relikt älterer Schotter, vermutlich Rinnenschotter (vgl. S. 6), handelt. Diese könnten im Bereich von Moos am Gleithang der engen Emmekrümmung und im Schutz des die Rüderswiler-Terrasse nach N begrenzenden Molassesporns sowohl beim nachfolgenden Ausräumen des Haupttales als auch bei der Anlage der Rüderswiler Rinne erhalten geblieben sein.

Den Hauptanteil der Talfüllung stellen nach dem hier verwendeten geologischen Schema die spätwürmeiszeitlichen bis ? postglazialen Schotter dar. Hierbei

ist zu bemerken, dass das angegebene Schema von der bisherigen Auffassung abweicht. Auch sind andere Deutungen der Talgeschichte möglich. Nur scheint eine gleichzeitige Ablagerung von Vorstossschottern, Stauschottern bzw. Stauletten und den Sedimenten, die im Bereich des heutigen Haupttales gewöhnlich erbohrt werden, gleichzeitig auf so engem Raum - zwischen Burgdorf und beispielsweise Rüderswil - kaum denkbar. Immerhin wird die Kornverteilung und die Textur von Sedimentgesteinen hauptsächlich durch die Sedimentations- und Transportbedingungen, weniger aber durch ihre Herkunft geprägt. Die Ablagerungsbedingungen sind in der älteren Würmeiszeit, vor der Spiezer Schwankung, durch den Talverschluss bei Burgdorf und die damit verbundenen Rückstauverhältnisse gegeben. Dieser Rückstau kann aber in Anbetracht der ehemaligen Mächtigkeit der Stauschotter und Stauletten nicht nur örtlich begrenzt gewesen sein. Daher wurde zum Beispiel auch offen gelassen, ob nicht eventuell die meist siltigen Schotter der Rüderswiler Terrasse zu den Stauschottern zu stellen sind.

Trotz der Wechsellagerung von Schichten mit niedrigem und hohem Feinkornanteil im Haupttal der Emme konnte eine einheitliche, über grössere Distanz verfolgbare Gliederung nicht aufgestellt werden. GERBER (1950) nimmt an, dass im Gebiet Farbschachen Stauschotter und - stark untergeordnet auch Stauletten - erhalten geblieben sind. Er sieht die randlichen Terrassen von Lützelflüh, Furen bei Lützelflüh und Toggwil als Akkumulation von Stauschottern bzw. Letten an. Diese Interpretation ist aber nicht gesichert. Denn er gibt in seinen Erläuterungen (1950, S. 66) an, dass die am Rainbergli (615.65/208.20) erhaltenen Schichten von 3 m geschichtetem gelblichem Lehm mit Kalken, auch als Riss-Moräne, statt als Stauletten gedeutet werden können, da Komponenten der Kies- und Steinfraktion sonst in den Letten nicht vorkommen. Die Schotter über der Grundmoräne der Bohrungen Farbschachen (619.205/22 und 23) wurden keiner Geröllanalyse unterzogen. Verbindliche Aussagen über Herkunft des Materials fehlen also. Geringmächtige, siltige Horizonte sind nicht beweiskräftig genug, um sie als typische Stauletten zu definieren.

Ueber den spätpleistozänen und postglazialen Schottern wurden in geringem Ausmass auch jüngere Alluvialschotter abgelagert. Die Felduntersuchungen erlauben nicht, sie lithologisch von den Würmschottern zu unterscheiden.

#### 1.5.4. Terrassen

Während der Würmeiszeit wurden aus den pleistozänen Ablagerungen die Terrassensysteme T1 und T2 (vgl. 1.2.) durch die Emme herausmodelliert. Das Material, aus dem sich diese Terrassen aufbauen, datiert aus unterschiedlichen Ablagerungsperioden. Zudem wurde der unter den pleistozänen Sedimenten liegende Molassesockel örtlich unterschiedlich stark erodiert.

Ueber die Ablagerungen des Terrassensystems T1 ist bereits bei der Beschreibung der geologischen Profile eingehend berichtet worden.

Das Terrassensystem T2 ist für die Gewinnung von Grundwasser, vielleicht mit Ausnahme der Terrasse von Aebnit, von untergeordneter Bedeutung. Unter dieser

Terrasse liegt vermutlich ein nicht sehr steil gegen das zentrale Emmental abfallender Molassekern. Nach Kartierungen von NIGGLI (1972a, S. 12) liegt unter einer blauen tonig-siltigen Deckschicht (Aufschluss ca. 624.100/202.400) von unbekannter Mächtigkeit, teilweise verkitteter Kies und Sand (Aufschlüsse bei 623.985/201.810, 624.100/202.400 und 624.230/202.600). Demnach möchten wir in dieser Terrasse einen analogen Aufbau wie in der Terrasse von Lauperswil vermuten; hier lagert Rissmoräne über Rinnenschottern.

## 1.6. Folgerungen aus den hydrogeologischen Untersuchungen

### 1.6.1. Grundwasserleiter des Haupttales (vgl. 4.3.)

Wie oben näher erläutert wird, hat eine Vielzahl von Sedimentations- und Erosionsphasen zur Entstehung der pleistozänen und holozänen Schottervorkommen des Emmentals geführt. Im Bereich der Schotterablagerungen des Haupttales, die im wesentlichen den Grundwasserleiter darstellen, konnten jedoch weder Stauschotter bzw. Stauletten noch - bis auf evtl. eine Ausnahme bei Fännersmüli - eindeutige Reste der Vorstossschotter nachgewiesen werden. Beide müssen demnach im Haupttal ausgeräumt worden sein, bevor die Aufschotterung des Hauptgrundwasserleiters einsetzte. An der Basis des Grundwasserleiters finden sich örtlich lediglich geringmächtige bindige Sedimentlagen die als Moränenreste gedeutet werden.

Damit dürfte sich der Zeitraum für die Ablagerung der heutigen Schotterfüllung des Haupttales auf die späte Würmeiszeit und die Zeit unmittelbar nach dem Rückzug der Gletscher beschränken. Mit dieser altersmässigen Deutung als Würmschotter, die der Niederterrasse zuzurechnen wären, steht man im Einklang mit DELLA VALLE (1965), GERBER (1941) und NUSSBAUM (1910), die auch NIGGLI (in NIGGLI & WERNER 1972) übernommen hat.

Der Zeitraum für die Sedimentation des Hauptgrundwasserleiters war demnach relativ kurz wie auch seine Mächtigkeit zwischen ca. 29 m und ca. 54 m nicht allzu gross ist. Die Klima- und Ablagerungsbedingungen waren während dieser Zeitspanne insgesamt gesehen recht gleichförmig. Lediglich seitliche Verlegungen des Flusslaufes, Anlage und Veränderung von Flusskrümmungen und eine stark wechselnde Wasserführung hat im Detail zu örtlich und zeitlich stark wechselnden Akkumulations- und Erosionsbedingungen geführt. Hinzu kommt, dass durch die Emme unterschiedliches Material transportiert wurde, das einerseits aus erodierten älteren Ablagerungen aus dem Emmental selbst stammte, andererseits jedoch über grössere Distanzen von aussen herein transportiert wurde.

Diese Gründe und vor allem das Fehlen so einschneidender Änderungen der Sedimentations- und Transportbedingungen wie sie beispielsweise durch den Gletscherverschluss bei Burgdorf während der Bildung der Stauschotter und -letten oder gar durch ein deutliches Interstadial gegeben sein können, liessen von vorneherein eine Untergliederung des Hauptgrundwasserleiters als schwierig erwarten. Darüber hinaus führen derartige Schotter bekanntlich weder Fossilreste noch Pollen, die für eine Feinstratigraphie verwertbar wären.

### 1.6.2. Terrassen

Die das Emmen- und Ilfistal flankierenden Terrassen können hinsichtlich ihrer hydrologischen Bedeutung in drei Typen mit unterschiedlichem geologischen Aufbau unterschieden werden:

- Terrassen mit hochliegendem Molassekern und nur geringmächtiger quartärer Deckschicht. Diese Deckschicht besteht im liegenden Teil aus feinkornreichen Sedimenten, die den Rissmoränen zugeordnet werden können. Darüber liegt häufig Gehängeschutt und Gehängelehm.

In diesem Terrassentyp fliesst lediglich Grundwasser von den Hängen her ab. Ein nutzbarer Grundwasserleiter ist nicht vorhanden (Terrassentyp A).

- Terrassen mit untiefen, von der Emme interglazial angelegten Erosionsrinnen in der Molasse. Das Rinnentiefe liegt auch hier über dem gemessenen Maximalstand des Grundwasserspiegels im Haupttal. Der untere Teil der Rinnenfüllung besteht aus fluviatilen und fluvioglazialen Ablagerungen. Darüber liegt Moränenmaterial.

Hangwärts lagern über den pleistozänen Schottern oft noch Gehängeabschwemmungen und Bachschuttkegel aus jüngsten geologischen Zeiten.

Diese Terrassen führen zumindest temporär einen ansehnlichen Nebenrinnen-Grundwasserstrom (Terrassentyp B).

- Terrassen, deren Rinnen so tief erodiert sind, dass bei den gegenwärtigen Grundwasserständen ein steter Grundwasserzufluss aus dem Haupttal erfolgt.

Die quartären Ablagerungen dieser Terrassen zeigen grundsätzlich die gleiche Abfolge und die gleiche Entstehungsgeschichte wie die des Terrassentyps B. Allerdings wurden hier die älteren Sedimente mit grosser Wahrscheinlichkeit in weiterem Umfang ausgeräumt und durch entsprechend mächtigere würmeiszeitliche Schotter ersetzt (Terrassentyp C).

Dem Typ A sind die meisten Terrassen des Systems T2 (vgl. 1.1.) zuzuordnen.

Im einzelnen werden folgende Terrassen dazu gerechnet: Bämbrunnen (mit der südlichen Fortsetzung über Huttibuech bis Furenholz) und Mutten. Die postulierte quartäre Decke ist hier nur durch geophysikalische Untersuchungen in geringem Umfang belegt.

Im Ilfisstullen, bei Ober-Frittenbach und im Längenbachboden liegen weder Sondierungen noch Messwerte vor. Es handelt sich in diesem Fall um eine Interpretation, die sich auf benachbarte angrenzende Terrassen stützt.

Dagegen gehören entsprechend ihrem geologischen Aufbau folgende Terrassen zum Typ B: Hälischwand (Südteil), Furen (westlich Emmenmatt), Lauperswil, Aeblit und die Terrasse oberhalb Ranflüh.

Im Südteil der Terrasse von Hälischwand verläuft ein ENE-SSW ziehender, flacher Trog, der unter dem tieferliegenden Hangabsatz von Furen (E der Emme) ins Emmental mündet. Eine Verbindung dieser Rinne mit dem Ilfistal ist wohl

auszuschliessen. Vielmehr dürfte es sich um eine lokal angelegte Abflussrinne in der Molasse aus Richtung Hälischwandwald oder Gartenegg handeln. Ueber die Trogfüllung liegen weder Aufschlüsse noch von seiten der Geophysik verbindliche Aussagen vor. Vermutlich lagern unter einer Deckschicht aus siltigem Kies mit Steinen, mit Kies durchsetzte Silt- und Sandschichten. Gelegentlich dürften auch sandige Ton- und Siltlagen auftreten. Der Weiler Hälischwand selbst steht auf einem Schuttkegel, der seinerseits der Trogfüllung aufliegt. Die Rinne dürfte kaum ein nutzungswürdiges Grundwasservorkommen führen, sie hat jedoch als Sammel- und Abflussrinne des Meteorwassers eine gewisse Bedeutung.

Gegen NE wird die Terrasse von Hälischwand nach Kartierungen von LIECHTI (1928, Originalkarten in Dok. WEA Nr. UP 1168.3/9) kranzartig von Molasse begrenzt. In diesem Teil ist die quartäre Auflage über dem Fels nur geringmächtig.

In den Terrassen von Furen (östlich Emmenmatt) und Lauperswil zieht ein alter, relativ seichter Emmetlauf durch. Eine N-S orientierte Molasserippe trennt sie vom emmenseitigen Talsystem ab.

Auf die lithologische Zusammensetzung der pleistozänen Sedimente ist bei der Besprechung des geologischen Profiles VI eingegangen worden. Die Sedimentationsabfolge ist durch eine Bohrung bei Lauperswil belegt. Aufgrund der seismischen Messdaten wird angenommen, dass sich die hier erbohrten Schichtglieder in ähnlicher Ausbildung nach N fortsetzen.

Während der Ausführung der Bohrung 1971 wurde zwar kein Wasser angetroffen. Das relativ grosse, ca. 3 km<sup>2</sup> messende Einzugsgebiet im westlichen Hinterland der Terrasse von Lauperswil lässt jedoch den Schluss zu, dass die Rinne, zumindest zeitweilig, Wasser führen muss.

Nennenswerte oberflächliche Abflüsse fehlen. Versickerte Niederschläge aus dem Hinterland der Terrasse von Blasen und der Lauperswiler Terrasse selbst fließen teils oberflächlich im Längenbachgraben, teils unterirdisch Richtung Emme ab.

In der Terrasse von Aebnit findet sich nach den vorliegenden geophysikalischen Untersuchungen keine ausgeprägte Rinne. Der Fels zeigt eine eher flache, nach der Emme hin gerichtete Oberfläche, die je nach Grundwasserstand unterschiedlich hoch überflutet wird. Aus dieser Terrasse, die in ihren quartären Ablagerungen jener von Lauperswil ähnlich ist, fliesst das Hangwasser auf der ganzen Länge und nicht lokal gesammelt ins Emmental ab.

In der Terrasse von Ranflüh verläuft im östlichen, bergwärtsgelegenen Abschnitt ein nicht sehr tiefer Molassegraben. Ob er ursprünglich durch die Emme, als Fortsetzung der Rinne in der Terrasse oberhalb Zollbrück, angelegt wurde, oder ob es sich dabei um eine alte, vielleicht mäandrierende Ablaufrinne des Baches aus dem Oberspachgrebli handelt, bleibe dahingestellt. Heute wird er jedenfalls vom 'Obersbach' und Niederschlägen aus dem angrenzenden Einzugsgebiet gespeisen.

Der Graben der Terrasse von Ranflüh führt einen eigenen Grundwasserstrom, der

bei Unterdorf ins Emmental ausmündet und durch zahlreiche Fassungen genutzt wird. Er liegt höher als der des Haupttales.

Unter dem Terrassentyp C ordnen wir die Terrassen von Zollbrück, Rüderswil und Waldhus ein. Für die Terrasse von Rüderswil ist der Zusammenhang mit dem Grundwasserstrom der Emme durch Sondierungen nachgewiesen. Als Indiz für die Unterströmung der Terrasse von Waldhus gelten die Quellaustritte in der Bleiche. Für die Rinne in der Terrasse oberhalb Zollbrück sprechen geophysikalische Sondierungen und die allgemeine hydrogeologische Interpretation.

Unter der Zollbrücker Terrasse liegt nach den vorliegenden Sondierungen, talwärts der alten Rinne ein Molassehügel, der mit dem höchsten Punkt bis knapp unter die Terrainoberfläche aufragt und der allseitig abfällt. Er wird einerseits durch das Haupttal, andererseits durch die bergseitige Nebenrinne begrenzt, die von S kommend, mit einem scharfen Knick beim Schulhaus nach W umbiegt und bei Taan im Haupttal endet.

Wie geophysikalische Untersuchungen zeigen, besteht der Grundwasserleiter hier aus Kiessanden. In gewissem Umfang wird dieser Hinweis auch durch randliche Aufschlüsse (siehe geologisches Profil V) bestätigt. Die quartären Ablagerungen sind sicher den Würmschottern zuzuordnen und die Gebietsdurchlässigkeit stellen wir der des Haupttales gleich ( $k = 7,0 \cdot 10^{-3}$  m/s).

Der Verlauf der Rinnen in der Terrasse von Rüderswil ist eingehend bei der Besprechung des geologischen Profiles VI geschildert worden. Von der risszeitlichen und prä-risszeitlichen Bedeckung sind in der emmenseitigen Teilrinne vermutlich Relikte erhalten geblieben. Die Füllung der bergseitigen Teilrinne möchten wir jedoch aufgrund der geoelektrischen Resultate (vgl. Abschnitt 2.3.1.) als Würmschotter auffassen. Diese haben in den Bohrungen überwiegend ein moränenartiges Aussehen. Es könnte sich um auf kurze Distanz umgelagertes älteres Moränenmaterial evtl. aber auch um Stauschotter handeln. In der Terrasse ist demnach das Riss- und Prä-rissmaterial z.T. ausgeräumt und durch jüngere Sedimente ersetzt worden.

Für die älteren pleistocänen Ablagerungen rechnen wir mit einer schlechteren Durchlässigkeit ( $k$ -Wert:  $1,0 \cdot 10^{-3}$  m/s), für die jüngeren mit einer besseren ( $k$ -Wert:  $5,0 \cdot 10^{-3}$  m/s).

Auch unter der Terrasse von Waldhus verläuft eine Erosionsrinne, die wohl ursprünglich durch die Emme angelegt, heute aber vom Grundwasserstrom aus dem Grünenental benutzt wird. Randlich wird diese Rinne durch eine Molasserippe abgegrenzt. RUTSCH (1952, S.25 ff) hat die Argumente zusammengetragen, die für eine Unterströmung der Terrasse durch Grundwasser sprechen. Sie seien hier kurz wiedergegeben:

- Die Grundwassermenge, die am Fuss der Terrasse bei Bleiche austritt, ist zu bedeutend, um allein aus der Terrasse zu stammen.
- Bei Kreuzweg S Waldhus war früher ein 19 m tiefer Sod vorhanden, der einen Grundwasserstrom angetroffen haben soll.

## 2. HYDROCHEMIE - BAKTERIOLOGIE

N. Huonder, dipl. Geol. ETH, Büro petraqua, Münsingen

### 2.1. Allgemeines

In den Jahren 1969-1971 wurden (vgl. Beilage I, 4) an insgesamt 154 Wasserproben aus 54 verschiedenen Grundwasserbeobachtungsstellen durch das Kantonale Labor hydrochemische Analysen durchgeführt. Die Proben stammen zumeist aus Schacht- oder Rammbrunnen von Privateigentümern und aus Vertikalfilterbrunnen von öffentlichen Wasserversorgungen. Vereinzelt ist das Wasser aus natürlichen Grundwasseraufstößen entnommen worden (Hydrometriestationen 620.204/3, 622.202/23, 622.204/24, 623.199/4-7 und 624.199/3). Eine dieser Fassungen, in der Terrasse oberhalb Ranflüh, steht nicht im Emmentaler Grundwasserstrom, sondern wird durch Hangwasser, das sich in einer Rinne in der Terrasse sammelt, gespiesen.

Bei der Probenerhebung wurde eine möglichst gestreute und räumlich gut verteilte Anordnung angestrebt, um einen repräsentativen Ueberblick über den Grundwasserchemismus im Oberen Emmental zu erhalten.

Ergänzend zu diesen eben angeführten, vom WEA in Auftrag gegebenen Grundwasseruntersuchungen sind in der Karte noch 7 weitere Analysenergebnisse von temporären hydrologischen Messstellen verwertet worden. Sie sind im Zusammenhang mit der Grundwassererschliessung bei Fännersmüli und Sumiswald erhoben worden.

Von den Oberflächengewässern Emme, Ilfis, Grüene und Industriekanal bei Ramsei liegen total 6 hydrochemische Untersuchungen vom 7.8. - 9.8.1972 vor.

Um einen besseren Ueberblick über die Untersuchungskampagnen und die Einzelmessungen zu geben, sind sie nachstehend in Tabelle I, 1 chronologisch zusammengestellt. Die den Untersuchungsdaten zugeordneten Wasserstände sind, soweit sie nicht aus der Beilage I, 2 herausgelesen werden können, der Dissertation von WEBER (1974) entnommen.

Gleichzeitig mit den chemischen Analysen wurde meistens eine bakteriologische Beurteilung der Wasserproben vorgenommen. Keine bakteriologischen Befunde liegen von der Winterkampagne 1969 vor. Zur Grenzziehung zwischen "genügend" und "ungenügend" für Trinkwasser sind die Anforderungen des schweiz. Lebensmittelbuches von 1937 und die neuesten Empfehlungen der schweiz. Kantonschemiker herangezogen worden.

Tabelle I, 1

Untersuchungsdatum	Anzahl untersuchte Proben	Wassertyp	Wasserstand	Auftraggeber	ausführende Labors
2.12.-4.12.69	30	Grundwasser	niedrig	WEA	Kantons-Chemiker Bern
28.4.-30.4.70	23	Grundwasser	hoch (abklingend)	WEA	Kantons-Chemiker Bern
16.6.-18.6.70	31	Grundwasser	überdurchschnittlich	WEA	Kantons-Chemiker Bern
10.8.-12.8.70	31	Grundwasser	überdurchschnittlich	WEA	Kantons-Chemiker Bern
20.1.-22.1.71	18	Grundwasser	niedrig	WEA	Kantons-Chemiker Bern
7.7.-9.7.71	21	Grundwasser	~durchschnittlich	WEA	Kantons-Chemiker Bern
7.2.72	2	Grundwasser	niedrig	Regionalschwimm- badverein Sumis- wald	Kantons-Chemiker Bern
7.2.72	1	Oberflächenwasser	niedrig	Regionalschwimm- badverein Sumis- wald	Kantons-Chemiker Bern
7.8.-9.8.72	5	Oberflächenwasser	~durchschnittlich	WEA	Kant. Gewässerschutzlabor
8.8.73	2	Grundwasser	~durchschnittlich	Gemeindeverband VV Vennersmühle	Kantons-Chemiker Bern
30.10.73	1	Grundwasser	tief	Gemeindeverband VV Vennersmühle	Kantons-Chemiker Bern
13.11.73	1	Grundwasser	tief	Gemeindeverband VV Vennersmühle	Kantons-Chemiker Bern
27.11.73	1	Grundwasser	tief	Gemeindeverband VV Vennersmühle	Kantons-Chemiker Bern

## 2.2. Darstellung der Analysenresultate

Die Analysenwerte sind in der Beilage I, 4 in Form von Säulen dargestellt. Die Säulenhöhen entsprechen einer bestimmten Konzentration der untersuchten, resp. bei der Untersuchung verwendeten Komponenten. Bei der Sauerstoffsättigung ist das in Prozenten ausgedrückte Verhältnis der aktuellen Sauerstoffkonzentration zur Sauerstoffsättigungskonzentration angegeben. Die Konzentrationsmassstäbe und die im Kanton Bern für Trinkwasser höchst zulässigen Konzentrationen (bzw. niedrigste O<sub>2</sub> Sättigung) sind der Kartenlegende zu entnehmen.

Die Analysenkomponenten können in zwei Gruppen zusammengefasst werden: Eine erste Gruppe mit den Resultaten der chemisch-hygienischen und eine zweite Gruppe mit den Resultaten der chemisch-technischen Analysen.

In der ersten Gruppe werden die Trübung oder Turbidität und die Indikatoren von Verschmutzungen durch tierische oder menschliche Ausscheidungen, wie Nitrate, Chloride, Sulfate, die Oxidierbarkeit und die O<sub>2</sub>-Sättigung bestimmt. Diese Untersuchungen geben Auskunft darüber, inwieweit das geförderte Wasser bedenkenlos als Trinkwasser verwendet werden kann oder ob es allenfalls vorher aufbereitet werden muss. Durch über längere Zeiträume und mit einer guten statistischen Verteilung in einem Grundwasservorkommen durchgeführte Analysen können Rückschlüsse auf die Belastung des Grundwasserleiters durch Verschmutzungen gezogen und permanente Verschmutzungsherde lokalisiert werden.

In der zweiten Analysengruppe werden die Gehalte des Wassers an Eisen und Mangan sowie Gesamt- und Karbonathärte bestimmt. Die Kenntnis dieser Komponenten ist vor allem bei der gewerblichen und industriellen Nutzung von Brauchwasser wichtig. Darüber hinaus liefern systematische Härtebestimmungen auswertbare Hinweise auf die Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser und umgekehrt, ferner über randliche Zuflüsse zum Grundwasserstrom.

Die Angaben über die bakteriologischen Befunde liegen in der kartographischen Darstellung über den Kästchen mit den Konzentrationssäulen. Aufgezeichnet wurde der schlechteste Befund aller Untersuchungsergebnisse, denn die Förderung von einwandfreiem Trinkwasser soll ja fortwährend und nicht nur temporär gesichert sein. Die Bedeutung der verwendeten Symbole ist in der Kartenlegende definiert.

## 2.3. Darstellung der hydrochemisch wirksamen Faktoren

Primär wird der Chemismus eines Grundwassers durch die geologisch-mineralogische Beschaffenheit seines Einzugsgebietes und des Leiters selbst geprägt. Im Grundwasser zeichnen sich die bei der Verwitterung freigesetzten und verfrachteten Mineralien ab, von denen die meisten mehr oder weniger löslich sind. Das Hinterland des Grundwasservorkommens 'Oberes Emmental' wird durch tertiäre Formationen mit vorwiegend Nagelfluh, kalkreichen Sandsteinen und

Mergel gebildet. Bedingt durch den starken Kalkgehalt der Sedimente ist das Grundwasser ziemlich hart, in den Randpartien sogar hart. Der Grundwasserleiter setzt sich aus Komponenten der benachbarten Molasse und der Alpen zusammen; teilweise bewirkt auch er eine Aufhärtung des Grundwassers.

Das Oberflächenwasser zeigt zumeist ein deutlich anderes chemisches Spektrum. Durch Versickerung von Oberflächenwasser wird demnach die chemische Zusammensetzung des Grundwassers verändert.

## 2.4. Beurteilung der Analysenergebnisse

Einer generellen Beurteilung der Analysenergebnisse muss die Bemerkung vorangestellt werden, dass die chemischen Kampagnen - ohne Berücksichtigung einzelner Nachträge - in den Jahren 1969 bis 1971 durchgeführt wurden, zu einer Zeit, als die Sanierung der Abwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet, ausgenommen die Region Langnau, erst im Planungsstadium war. Die inzwischen installierten Abwassersammelkanäle dürften zu einer wünschenswerten Verbesserung der Grundwasserqualität führen.

### 2.4.1. Chemisch-hygienische Resultate

#### 2.4.1.1. Turbidität

Ein auffallend hoher Prozentsatz (15,6 %) der untersuchten Trinkwasserproben sind hinsichtlich ihrer Turbidität zu beanstanden. Die Trübung wird dabei aber nicht durch Partikel verursacht, die bereits primär im Grundwasser enthalten sind, sondern zum Teil durch nachträgliche Verschmutzungen, zum Teil durch überbelastete oder mangelhaft erstellte Fassungsanlagen. Es wurden deshalb z.T. extrem hohe Turbiditätswerte (Maximum: 200 mg SiO<sub>2</sub>/l) gemessen.

Bei den Oberflächengewässern im Emme-Ilfisabschnitt schwankt die festgestellte Turbidität bei durchschnittlicher Wasserführung (7.-9.8.1972) zwischen 4,5 und 5,1 mg/l. Eine wesentlich stärkere Trübung mit 85 mg/l weist die Grüene sogar bei niederem Wasserstand (7.2.1972) auf.

#### 2.4.1.2. Verschmutzungsindikatoren

In unverdächtigen Grundwässern der Alpen und Voralpen finden sich Nitrate, Chloride und Sulfate zumeist nur in geringen Mengen und nur mit kleinen Konzentrationsschwankungen. Lokal können, geologisch-mineralogisch bedingt, stark chlorid- resp. gipshaltige Wässer vorliegen. Dies trifft für unser Untersuchungsgebiet nicht zu. Treten hier hohe Konzentrationen oder aber auch grosse Konzentrationsschwankungen der eben angeführten Anionen auf, so weist dies auf eine Verschmutzung durch Fäkalien hin, denn beim Abbau von menschlichen und tierischen Exkrementen werden Nitrate, Chloride und Sulfate gebildet oder freigesetzt.

Kaliumpermanganat, als starkes Oxidationsmittel, zerstört organische Stoffe. Die zur Zersetzung benötigte Kaliumpermanganatmenge ist deshalb ein Mass für

für den Gehalt des Wassers an organischen Substanzen.

Einseitig hoher Gehalt oder Verbrauch einer einzelnen der genannten chemischen Verbindungen, kurz Verschmutzungsindikatoren genannt, zeigt keineswegs immer eine Verunreinigung durch Exkremente an. Massgebend für die Beurteilung ist stets das Gesamtbild der Analyse, wobei auch die bakteriologischen Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

In den nachstehenden Tabellen I, 2 bis 4 sind u.a. auch die Mittelwerte der Verschmutzungsindikatoren aus den einzelnen Untersuchungskampagnen zusammengefasst. Um den Bereich zu charakterisieren, aus dem sich diese Mittelwerte berechnen, wird zudem die Varianz und die Variationsbreite angegeben.

Tabelle I, 2

Chemische Analysen: Grundwasser Oberes Emmental ohne Proben im Bereich der Terrasse von Ranflüh

Analysen Komponenten	Datum	Anzahl Proben	Mittelwert (mg/l)	Varianz	Variations- breite (mg/l)
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	2.12.- 4.12.69	24	13,6	24,9	25
	28. 4.-30. 4.70	23	14,2	79,8	34
	16. 6.-18. 6.70	25	17,1	62,7	35
	10. 8.-12. 8.70	25	15,7	41,1	27
	20. 1.-22. 1.71	18	11,2	19,6	19
	7. 7.- 9. 7.71	21	12,8	49,1	29
Chlorid (Cl)	2.12.- 4.12.69	24	5,3	3,0	6,5
	28. 4.-30. 4.70	23	6,1	12,5	14,4
	16. 6.-18. 6.70	25	5,8	6,3	9,4
	10. 8.-12. 8.70	25	5,4	4,8	8,4
	20. 1.-22. 1.71	18	4,9	6,8	10,3
	7. 7.- 9. 7.71	21	5,2	11,2	15,8
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	2.12.- 4.12.69	24	8,9	9,2	9
	28. 4.-30. 4.70	23	8,1	3,2	8
	16. 6.-18. 6.70	25	9,0	38,2	25
	10. 8.-12. 8.70	25	9,2	24,8	17
	20. 1.-22. 1.71	18	6,4	2,7	4
	7. 7.- 9. 7.71	21	7,0	2,1	6
Oxydierbar- keit (KMnO <sub>4</sub> )	2.12.- 4.12.69	24	2,1	0,5	2,9
	28. 4.-30. 4.70	23	4,1	2,2	5,4
	16. 6.-18. 6.70	25	2,2	0,3	2,5
	10. 8.-12. 8.70	25	2,4	1,2	5,3
	20. 1.-22. 1.71	18	1,8	1,1	4,5
	7. 7.- 9. 7.71	21	2,6	1,7	5,7
Gesamthärte	2.12.- 4.12.69	24	25,8	8,7	11,8
	28. 4.-30. 4.70	23	23,0	13,1	15,9
	16. 6.-18. 6.70	25	24,0	14,5	17,0
	10. 8.-12. 8.70	25	23,7	18,7	18,8
	20. 1.-22. 1.71	18	23,4	12,7	14,4
	7. 7.- 9. 7.71	21	23,8	23,3	10,4
Karbonathärte	2.12.- 4.12.69	24	24,8	7,2	11,4
	28. 4.-30. 4.70	23	20,9	10,8	14,4
	16. 6.-18. 6.70	25	21,9	9,2	13,0
	10. 8.-12. 8.70	25	21,8	13,7	16,2
	20. 1.-22. 1.71	18	21,8	11,9	14,9
	7. 7.- 9. 7.71	21	22,3	15,5	16,9

$$\text{Mittelwert: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$x_i$  = einzelner Messwert

$$\text{Varianz: } s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

Variationsbreite:  $R = x_{\max} - x_{\min}$

Tabelle I, 3

Chemische Analysen: Grundwasser (z.T. Hangwasser) Proben aus dem Bereich der Terrasse von Ranflüh

Analysen Komponenten	Datum	Anzahl Proben	Mittelwert (mg/l)	Varianz	Variationsbreite (mg/l)
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	2.12.- 4.12.69	6	28,0	207,2	34
	16. 6.-18. 6.70	6	38,3	31,9	15
	10. 8.-12. 8.70	6	35,3	123,6	32
Chlorid (Cl)	2.12.- 4.12.69	6	11,3	47,6	18,6
	16. 6.-18. 6.70	6	13,1	97,6	25,1
	10. 8.-12. 8.70	6	10,8	27,0	10,7
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	2.12.- 4.12.69	6	10,8	7,4	7
	16. 6.-18. 6.70	6	10,7	9,1	7
	10. 8.-12. 8.70	6	11,5	16,3	11
Oxydierbarkeit (KMnO <sub>4</sub> )	2.12.- 4.12.69	6	2,5	3,4	4,8
	16. 6.-18. 6.70	6	3,1	11,5	8,7
	10. 8.-12. 8.70	6	3,4	9,0	7,8
Gesamthärte	2.12.- 4.12.69	6	32,3	37,0	17,8
	16. 6.-18. 6.70	6	33,8	6,6	6,9
	10. 8.-12. 8.70	6	30,2	4,9	5,2
Karbonathärte	2.12.- 4.12.69	6	29,8	24,1	13,3
	16. 6.-18. 6.70	6	29,3	1,9	4,5
	10. 8.-12. 8.70	6	26,0	10,7	9,5

Tabelle I, 4

Chemische Analysen: Oberflächengewässer

Analysen Komponenten	Datum	Anzahl Proben	Mittelwert (mg/l)	Varianz	Variationsbreite (mg/l)
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	8.8.72	5	8,6	9,1	7,8
Chlorid (Cl)	8.8.72	5	8,6	33,2	14,0
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	8.8.72	5	10,6	2,3	4,0
Oxydierbarkeit (KMnO <sub>4</sub> )	8.8.72	5	14,6	86,2	21,6
Gesamthärte	8.8.72	5	19,7	3,2	4,5
Karbonathärte	8.8.72	5	18,8	3,0	4,5

Bei den Nitratgehalten fällt die häufige und grosse Abweichung von den Mittelwerten auf. Diese Abweichungen sind, wie bereits erwähnt, nicht geologisch-mineralogisch bedingt, sondern erklären sich durch lokale Verunreinigungen (vgl. auch bakteriologische Analysen). Besonders deutlich sind die hohen Nitratwerte in der Terrasse und am Terrassenfuss bei Ranflüh, die z.T. nahe an die Toleranzlimite von 45 mg/l heranreichen oder sie in einem einzelnen Falle sogar überschreiten. Das begrenzte Grundwasservorkommen bei Ranflüh ist demnach besonders stark mit Schmutzstoffen belastet. Relativ bescheiden sind hingegen die Nitratwerte der Oberflächengewässer (vgl. Tabelle I, 4).

Recht deutlich sind auch die Abweichungen von den Mittelwerten bei den Chloriden und Sulfaten. Auch diese Ergebnisse sprechen dafür, dass eine ziemlich rege Infiltration von mit Schmutzstoffen befrachtetem Oberflächenwasser in Richtung Grundwasser erfolgt. Die Schmutzstoffe werden jedoch schon in den Deckschichten ausreichend, wenn auch nicht gänzlich, eliminiert. Nur vereinzelt, am Fusse der Terrasse von Ranflüh, ist mit 31,8 mg/l eine zu hohe Chloridkonzentration nachgewiesen worden.

Auffallend ist die hohe Oxydierbarkeit bei den Oberflächengewässern (vgl. Tab. I, 4). Sie zeigt die relativ starke Belastung der Flüsse und des Industrikanals bei Ramsei mit noch unzersetzten, organischen Substanzen an, was durch die zum Zeitpunkt der Untersuchung noch eingeleiteten Abwässer weitgehend zu erklären ist.

In einer Sondierbohrung und vier Brunnen (620.204/13, 622.198/7, 622.202/21, 622.204/17 und 624.195/16) übersteigt der Kaliumpermanganatverbrauch zumindest temporär die Toleranzgrenze. Bei den Brunnen 622.202/21 und 624.195/16 wird dadurch eine Infiltration von Emmewasser ins Grundwasser angezeigt (vgl. auch Beilage I, 2). Die erhöhte Oxydierbarkeit des Wassers aus den anderen erwähnten Hydrometriestationen ist auf lokal begrenzte Versickerung von organischen Substanzen zurückzuführen.

Abschliessend kann gefolgert werden, dass der Grundwasserstrom im Emme-, Ilfis- und Grünenetal, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, hygienisch einwandfreies Trinkwasser liefert. Problematisch ist die Entnahme von Trinkwasser nur

- in ausgeprägten Infiltrationsgebieten (vgl. Beilage I, 2);
- in der Terrasse von Ranflüh und ihrer Umgebung; die Terrasse beinhaltet ein höher gelegenes und relativ stark mit Schmutzstoffen belastetes Grundwassersystem;
- wenn in der näheren Umgebung der Fassungen Schmutz- und Schadstoffe versickern.

#### 2.4.1.3. Sauerstoffsättigung

Wasser enthält Sauerstoff in gelöster Form. Bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck an der freien Wasseroberfläche gibt es einen Grenzwert für die maximal lösliche Sauerstoffmenge, die sog. Sauerstoffsättigungskonzentration. Das Verhältnis des in einer Probe gemessenen, aktuellen Sauer-

stoffgehaltes zur Sauerstoffsättigungskonzentration - in Prozenten ausgedrückt - ergibt die Sauerstoffsättigung.

Bei verunreinigtem Grundwasser tritt gegenüber der Sättigungskonzentration ein deutliches Defizit auf, da beim Abbau von Verschmutzungen Sauerstoff verbraucht wird. Grosse Sauerstoffdefizite werden aber auch bei Grundwasservorkommen festgestellt, bei denen die Deckschicht einen Gasaustausch mit der Atmosphäre behindert.

Verminderter Sauerstoffgehalt beeinträchtigt die Trinkwasserqualität nicht, ist aber wesentlich bei der Beantwortung der Frage, ob das Wasser metalllösende Eigenschaften hat. Die Bildung einer Kalkrostschuttschicht ist nur möglich, wenn u.a. 6 mg/l gelöster Sauerstoff vorhanden sind.

Die Bestimmung der Sauerstoffsättigung war nicht bei allen Wasserproben möglich, da bei verschiedenen Fassungen Windkessel installiert sind, in denen der Sauerstoffgehalt des Grundwassers nachträglich verändert worden ist.

Bei 11 Proben wurde die Sättigungslimite unterschritten. Da bei all diesen Proben auch eine bakteriologische Verschmutzung nachgewiesen werden konnte, ist es naheliegend, dass das Defizit durch den Verzehr von Sauerstoff bei der Zersetzung von organischen Substanzen entstanden ist.

## 2.4.2. Resultate der chemisch-technischen Analysen

### 2.4.2.1. Eisen und Mangan

Die Eisengehalte sind im allgemeinen niedrig. Ihre Variationsbreite erstreckt sich jedoch von 0,001 bis zu 0,170 mg/l. Bei drei Wasserproben werden die tolerierten Grenzen überschritten. In einem Fall lag die Ursache bei in Brunnennähe deponiertem Alteisen, in den beiden andern Fällen dürfte der zu geringe Sauerstoffgehalt die Ausbildung einer wirksamen Kalkrostschuttschicht in den eisenhaltigen Teilen der Förderanlage verhindert haben.

Der Nachweis auf Mangan verlief, mit einer einzigen Ausnahme (weniger denn 0,01 mg/l), durchwegs negativ.

### 2.4.2.2. Härtebestimmungen

Die Härte des Wassers wird durch seinen Gehalt an Kalk- und Magnesiumsalzen bestimmt.

**Karbonathärte:** Die in freier Kohlensäure löslichen Mono- und Bikarbonate des Calciums und Magnesiums ergeben die Karbonathärte. Sie wird auch transitorische oder temporäre Härte genannt, da die Härtebildner beim Erhitzen des Wassers als unlöslicher Kesselstein ausfallen.

**Gesamthärte:** Sie setzt sich zusammen aus Karbonathärte und Nichtkarbonathärte. Zur Nichtkarbonathärte gehören die Chloride, Nitrate, Sulfate, Phosphate

und Silikate des Calciums und Magnesiums. Sie lässt sich durch Erhitzen des Wassers nicht beseitigen.

Bei grossräumigen Untersuchungen sind die Härtebildner interessante Indikatoren für Ex- und Infiltrationsvorgänge. In unserem Untersuchungsgebiet wird angenommen (vgl. Beilage I, 6), dass auf der ganzen Länge ein seitlicher, unterirdischer Zufluss Richtung Grundwasserstrom stattfindet. In einzelnen Abschnitten tritt Hang- resp. Terrassengrundwasser in konzentrierter Form in den Talgrundwasserleiter über. Dort entnommene Wasserproben zeigen erhöhte Härtegehalte, da die Zuflüsse aus der kalkreichen Molasse im Hinterland stammen.

Nachstehend sind die Terrassengrundwässer, resp. ihre Uebertrittstellen in den Emmentaler Grundwasserstrom sowie die dort analysierten Härten zusammengestellt.

Tabelle I, 5

Lokalität	Probenentnahmestelle WEA-Ord.-Nr.	Gesamthärte franz. H.°	Karbonathärte franz. H.°
Fuss v. Rietberg, Längenbachboden und der Terrasse von Lauperswil	622.198/7	32,4	31,4
	623.200/6	27,0	23,7
	623.201/24	29,4	24,7
Terrasse oberhalb Ranflüh und Terrassenfuss	622.203/6	31,4	28,3
	622.203/7	27,5	24,9
	622.203/12	33,1	29,1
	622.204/17	33,3	30,4
	622.204/24	32,3	28,7
	623.203/2	34,9	28,8
Fuss von Ramseiberg und Wannenfluh	620.205/5	30,5	28,0
	620.205/10	27,2	24,8
	621.205/4	32,3	28,6

Bei den angegebenen Härten handelt es sich um Mittelwerte. Sie liegen deutlich über den errechneten Mittelwerten aller Messungen des Emmentaler Grundwasserstroms (24,0 franz. H.° für die Gesamthärte, 22,3 franz. H.° für die Karbonathärte).

Wie schon die Verschmutzungsindikatoren zeigen auch die Härtebestimmungen ganz allgemein starke und häufige Abweichungen von den Mittelwerten. Der Schluss

liegt nahe, dass neben den randlichen Zuflüssen, die die Härtewerte im Grundwasserleiter offensichtlich erhöhen, auch Austauschvorgänge zwischen Grund- und Oberflächenwasser eine Rolle spielen. Mit den vorliegenden Untersuchungen ist dieser Nachweis jedoch nicht zu erbringen, da eindeutig zu wenig Oberflächenwasseranalysen zur Auswertung herangezogen werden können. Auch ein allfälliges Härtegefälle, sei es nun talaufwärts oder talabwärts, konnte nicht festgestellt werden. Ex- und Infiltrationen zwischen Vorfluter und Grundwasserleiter ändern sich auf relativ kurzen Distanzen. Auch die randlich eindringenden Zuflüsse vermischen sich bei dem engen Talquerschnitt relativ schnell mit dem Grundwasser. Die Härtewerte alternieren dementsprechend stark längs des ganzen Emmentals.

### 2.4.3. Bakteriologische Untersuchungen

Bedenklich stimmen die Resultate der bakteriologischen Analysen. Die nachstehend zusammengestellten Zahlen sprechen für sich selbst.

Tabelle I, 6

Kampagnen	tolerierte Menge überschritten				
	Keinzahl	coliforme Bakterien	wärme-liebende Bakterien	Anzahl untersuchter Proben	zu beanstandende Proben in %
28.-30.4.70	5	3	-	22	31,8 %
16.-18.6.70	14	9	2	27	63 %
10.-12.8.70	15	8	6	27	59,3 %
20.-22.1.71	7	4	-	18	50 %
7.-9.7.71	6	6	3	18	61,1 %

Die häufigen negativen bakteriologischen Befunde sind nicht auf eine generelle Belastung des Grundwassers mit tierischen und menschlichen Abfallprodukten zurückzuführen, sondern auf lokale Verschmutzungsherde, bei denen die Infiltration von Schmutz- und Schadstoffen direkt ins Grundwasser erfolgt.

### 3. HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE

A. Werner, dipl. Ing. ETH; Mitarbeiter: P. Hufschmid, F. Muchenberger

#### 3.1. Allgemeines

In den folgenden Kapiteln werden die Niederschläge, die Wasserführung der Oberflächengewässer, die Emmeabsenkung und das Grundwasserspiegelverhalten anhand umfangreicher hydrometrischer Untersuchungen besprochen.

Abgesehen von einigen älteren Beobachtungswerten, welche bis ins Jahr 1887 zurückgehen, werden hauptsächlich die Daten der Messperiode zwischen September 1968 und Juni 1974 mit einem Schwerpunkt im Jahr 1972 beurteilt.

Ein grosser Teil der Messungen und verschiedene Auswertungen sind durch O. WEBER, Sumiswald, im Rahmen seiner Dissertation "Beiträge zur Hydrologie des oberen Emmentals", 1974, ausgeführt worden. Die Messwerte und -resultate werden soweit notwendig auszugsweise oder zusammengefasst wiedergegeben.

WEBER hat seit 1968 in einem eigens aufgebauten Messstellennetz gemessen. Im Laufe der Untersuchungsperiode konnte dieses im Rahmen der Schutzzonenabklärungen der Gemeinde Lützelflüh (WERNER, 1973) und des Gemeindeverbandes Wasserversorgung Vennersmühle (WERNER, 1974) weiter ausgebaut werden. Das Messstellennetz wurde im Rahmen dieser Arbeit nach Zwischenauswertungen der Messungen vom 10.10.73 zur Konstruktion der Isohypsen des Grundwasserspiegels noch einmal ergänzt.

Die Beilagen I, 2,3,5 und 6 enthalten die wichtigsten Angaben und Resultate unserer Ausführungen. Die Lage der wichtigsten Messstellen geht aus den Beilagen hervor.

Die Auswertung der hydrometrischen Daten berücksichtigt nicht das hydrographische Jahr (Oktober-September) sondern das Kalenderjahr. Da einerseits im Untersuchungsgebiet die Schneerücklage während der Beobachtungsperiode 1968-1974 eine untergeordnete Rolle spielte und andererseits im Hinblick auf die Grundwasserbilanzierung der Ausgleich zwischen Speicher- und Zehrmenge im Grundwasserleiter für das Kalenderjahr besser verwirklicht ist, erschien uns das Kalenderjahr für die Mittelbildung zweckmässiger.

#### 3.2. Das Untersuchungsgebiet

Unser Untersuchungsgebiet umfasst einen kleinen Ausschnitt mit einer Fläche von 34,6 km<sup>2</sup> im Einzugsgebiet der Emme. Es liegt auf einer Höhe zwischen 590 m und 1000 m ü.M.

Im Süden beginnt das Untersuchungsgebiet (vgl. Beilage I, 6) im Tal der Emme unterhalb Schüpbach in der Brunnmatt und im Tal der Ilfis unterhalb Langnau im Eischachen. Die östliche Begrenzung verläuft vom Eischachen nach Norden entlang der Wasserscheide zwischen dem oberen Frittenbachgraben und dem Alisch-

bachgraben resp. dem unteren Frittenbachgraben und danach generell nach Nordosten zwischen den Seitentälern des Heimisbaches und der Emme auf den Höhen des Bänzenberges und Ramisberges über den Ramseiberg bis in das Mündungsgebiet der Grüene bei Ramsei.

Westlich der Emme wird die Begrenzung bei Brunnmatt durch den Riedberg zwischen dem Nidermattgraben und dem Längenbachgraben gebildet und führt parallel zum Nesselgraben über Moosegg - Mützlenberg - Harschberg bis zum Farbschachen unterhalb Ramsei.

Im Norden wird das Untersuchungsgebiet durch den untersten Teil des Grüenetales geschlossen.

### 3.3. Untersuchungen vor September 1968

#### 3.3.1. Niederschlag

Im Bereiche des Einzugsgebietes der Emme im oberen Emmental wird durch die Eidg. Meteorologische Zentralanstalt (MZA) ein Netz von 4 Niederschlags-Messstationen und 6 meteorologischen Stationen teilweise schon seit 1900 betreut. Die Messdaten werden in den Jahrbüchern der MZA veröffentlicht.

Neben den Niederschlagshöhen werden unter anderem die Lufttemperatur und die Sonnenscheindauer gemessen. Eine meteorologische Station wird knapp oberhalb unseres Untersuchungsgebietes im Ilfistal in Langnau seit 1900 betrieben. Auf verschiedene ihrer Niederschlagsmessungen wird im folgenden noch eingetreten.

Die übrigen Stationen liegen weiter ausserhalb des Untersuchungsgebietes. Sie werden deshalb in unsere Betrachtungen nicht einbezogen. Ueber ihre Messdaten gibt WEBER in seiner Dissertation Auskunft. Das Gleiche gilt auch für die Regenmessstation der Wasserversorgung der Stadt Bern in der Aeschau.

#### 3.3.2. Oberflächengewässer

##### 3.3.2.1. Korrektur der Emme und der Ilfis

Wie wir noch sehen werden, stehen die natürlichen Oberflächengewässer grösstenteils in enger Wechselbeziehung mit dem Grundwasser. Aus diesem Grunde war es interessant zu untersuchen, inwieweit sich die Korrekturen der wichtigsten Oberflächengewässer, Emme und Ilfis, auf das Grundwasser ausgewirkt haben. Ein kurzer Hinweis über den Ablauf der Emme- und der Ilfiskorrektur scheint uns daher notwendig zu sein.

Im Auftrage des Berner Regierungsrates wurden Ende des letzten Jahrhunderts zur Behebung der Ueberschwemmungsgefahr der Emme ein definitiver Lauf gegeben, das Flussbett soweit möglich begradigt und Hochwasserdämme gebaut. Da-

durch erhöhten sich die Fliessgeschwindigkeiten, sodass sich der Geschiebe-transport insbesondere bei Hochwasser massiv verstärkte und in weiten Abschnitten der Emme zu einer ungleichmässigen Erosion der Flusssohle führte.

Zur Sicherung der Sohle wurde deshalb nach 1900 mit dem Bau stabiler Querschwellen (Wehre) im Flussbett der Emme sowie von Leitwerken und Uferverbauungen begonnen. Die erste grosse Querschwelle entstand 1903 bei Emmenmatt. Sie diente vor allem dem Schutze der Widerlager der SBB-Brücke, welche Gefahr liefen, unterspült zu werden. Im Laufe der Jahre folgten weitere Wehre. Sie wurden auf ein Querprofil für die Abflussmenge von 600 m<sup>3</sup>/s und grösstenteils auf ein Kronenniveau unter der Emmesohle von 1900 abgestimmt.

Beilage I, 5 zeigt die Lage der verschiedenen Wehre. Sie gibt weiter in einem Längenprofil und in einigen Querprofilen eine Uebersicht über die mittlere Emmesohle von 1900/01, die Wehre mit den Baujahren und die Sohlenveränderungen bis 1926/31 und 1962/69.

Die Ilfis erforderte eine analoge Korrektur wie die Emme. Leider liegen keine Angaben über ihre Sohlenverhältnisse von 1900 vor. So beschränken sich unsere Aufzeichnungen für die Ilfis auf die Querschwellen mit den Baujahren sowie die Sohlenverhältnisse von 1937 und 1973.

Die Längenprofilangaben stammen aus der Emme- und Ilfisvermessung des Eidgenössischen Amtes für Strassen- und Flussbau (ASF). Herr Bürki, Emmeingenieur Kant. Tiefbauamt, Kreis Burgdorf, stellte sie uns freundlicherweise zur Verfügung.

Tabelle I, 7 gibt einen Ueberblick über die Veränderungen der mittleren Sohlenhöhen der Emme von 1900/01 bis 1926/31 und von 1900/01 bis 1962/69. Die mittleren Höhenverhältnisse für die Emmesohle von 1962/69 entsprechen ungefähr denjenigen während der Untersuchungsperiode. Die Emmesohle liegt im Vergleich zu 1900/01 heute an der Oberwasserseite (OW) der Querschwellen (ausgenommen beim Wehr in Emmenmatt) 0,4 - 2,5 m, an der Unterwasserseite (UW) 0,7 - 4,6 m tiefer.

Tabelle I, 7

Veränderungen der mittleren Sohlenhöhe der Emme

Ort	Wehr- seite	Emme-km	1900/01-1926/31 m	1900/01-1962/69 m
Emmenmatt	OW	34,245	+1,20	+1,20
	UW	34,225	-0,70	-0,70
	OW	33,785	-0,40	-0,40
	UW	33,750	-3,00	-2,85
Mungnau	OW	33,500	-3,20	-2,50
	UW	33,440	-3,30	-4,40
Lauperswil- Neumühlesteg Zollbrück Chalchmatt	OW	32,488	-2,70	-2,60
	UW	32,435	-4,00	-4,55
	OW	31,500	-2,50	-2,05
	UW	31,485	-2,50	-3,50
	OW	30,283	-0,90	-0,90
	UW	30,240	-2,95	-3,10
Rüderswil- Ranflühsteg Schache	OW	29,845	-1,40	-1,50
	UW	29,750	-2,80	-2,70
	OW	29,470	-2,40	-1,90
	UW	29,455	-2,40	-3,80
Schnätzischachen	OW	28,295	-1,00	-1,00
	UW	28,250	-1,90	-3,00
Fännersmüli	OW	27,560	-1,60	-1,25
	UW	27,500	-1,50	-2,60
Ramsei- Mündung Grüene	OW	27,000	-1,10	-1,25
	UW	26,980	-1,10	-2,50

- bedeutet Sohlenabsenkung

+ bedeutet Sohlenerhöhung

(aus Längenprofil der Emme, II. Sektion, km 23,500 - km 34,250, ASF 1970)

Diese künstliche Absenkung der Emmesohle führte, wie dies in den folgenden Kapiteln noch detaillierter beschrieben wird, zu einer beachtlichen Abtiefung der gesamten Grundwasserspiegelfläche.

### 3.3.2.2. Abflussmengen - Messstation

Die Abflussmengenmessungen der wichtigsten Oberflächengewässer der Schweiz fallen in den Aufgabenbereich des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft (A+W). Sie werden in sog. hydrometrischen Stationen durchgeführt. Die Auswertungen erscheinen in den Hydrographischen Jahrbüchern der Schweiz.

An der Emme bei Emmenmatt, ca. 470 m unterhalb der Mündung der Ilfis befindet sich seit 1909 eine Eidgenössische hydrometrische Station. Die Abflussmengen des parallel zur Emme verlaufenden Ilfiskanals werden ebenfalls gemessen und sind in den durch das A+W veröffentlichten Mengenangaben enthalten.

Für die Messperiode 1918-1967 betragen hier nach dem Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz, 1967:

- die durchschnittliche Jahresabflussmenge 11,7 m<sup>3</sup>/s
- die grösste mittlere Jahresabflussmenge (1936) 16,7 m<sup>3</sup>/s
- die kleinste mittlere Jahresabflussmenge (1921) 4,89 m<sup>3</sup>/s

### 3.3.3. Grundwasser

#### 3.3.3.1. Grundwasserstände vor 1900

Die ersten uns bekannten Grundwasserspiegelmessungen gehen bis ins Jahr 1887 zurück. Sie wurden im Zusammenhang mit der Emmekorrektion zwischen Mungnau und Zollbrück durchgeführt (Pegelablesung der Grundwasserstände auf dem linken und rechten Ufer der Emme zunächst Zollbrück, Dok. WEA).

Die Wasserstandmessungen erfolgten an 34 Messstellen teilweise bis 1903 im Abstand von einem Monat bis zu 3 Jahren. Die Messstellen befanden sich an den sog. Mühlebächen und den Grundbächen sowie an den sie speisenden Grundwasseraustrittsstellen.

Bei den Messresultaten handelt es sich unter Umständen nicht durchwegs um den Grundwasserspiegel sondern um den Wasserstand in den Grundbächen. Es darf jedoch angenommen werden, dass die Wasserstände bei den Messstellen nahe der Grundwasseraustritte dem damaligen Grundwasserstand entsprochen haben und dieser nur wenig unter der Terrainoberfläche lag.

Aus dem Lagekroki der 34 Messstellen ist ersichtlich, dass vor 1900 zwischen der Mungnau und der Bomatt auf der rechten Emmeseite 6 und zwischen Freudenhof und Tansschachen auf der linken Emmeseite 8 Grundwasseraustritte bestanden haben.

Die Messresultate gehen lediglich aus Ganglinien hervor, leider ohne Angabe der Meereshöhen, sodass auf einen exakten Vergleich mit dem heutigen Grundwasserstand verzichtet werden muss. Immerhin kann aber festgestellt werden, dass die natürlichen Schwankungen der Wasserspiegel bei den Grundwasseraustrittsstellen zwischen 20 und 40 cm betragen. Zudem geht aus der Messdarstellung hervor, dass in den Jahren 1899/1900 die beiden Grundwasserbäche im Mungnuschachen austrockneten, die Bachbette zugefüllt und die Messstellen entfernt wurden. Ebenfalls entfernt wurden zu dieser Zeit die Messstellen an drei Grundwasseraustrittsstellen in der Bomatt, wobei aus den vorliegenden Angaben nicht eindeutig ersichtlich ist, ob schon zu diesem Zeitpunkt diese Grundwasseraustrittsstellen austrockneten.

#### 3.3.3.2. Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern

Zu den bedeutendsten Veröffentlichungen über hydrologische Probleme im oberen Emmental gehört sicher der "Expertenbericht zu Handen der Baudirektion des Kantons Bern betreffend Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern" (ARBENZ, FREIBURGHAUS & PETER, 1925). Er wurde erstellt zur Beurteilung der Einsprachen mehrerer Gemeinden, Wasserwerksbesitzer und Brunneneigentümer gegen die Bewilligung zur Vermehrung der Wasserentnahme von 22000 l/min. auf 25000 l/min. aus dem "Quellgebiet von Ramsei bei Aeschau".

Auf Anordnung der Experten wurden zwischen Horben und Zollbrück in mehreren ungefähr rechtwinklig zur Emme liegenden Querprofilen Peilrohre zur Beobachtung des Grundwasserspiegels eingerammt. Drei dieser Querprofile befanden sich innerhalb unseres Untersuchungsgebietes. Die Peilrohre sind heute nicht mehr vorhanden.

Tabelle I, 8

Grundwasserspiegel von 1924 und 1974 in 3 Querprofilen

Ort	Emme-km	D in m	Grundwasserspiegel in m ü.M.	
			1924	20.3.74
Mungnau, Mungnauschachen	33,210	170 r	633.49 15.9.	633.2
Lauperswil, Hüslimatt	32,320	310 l	626.08 29.8.	626.0
Lauperswil, Chalchmatt	31,370	85 l	621.16 29.8.	620.8

D = rechtwinkliger Abstand von der Emmeaxe

l = links, r = rechts der Emme

Für den Vergleich des damaligen Grundwasserspiegels mit demjenigen vom 20.3.1974 wurden die Grundwasserstände von 1924 in Tabelle I, 8 auf den neuen eidg. Vermessungshorizont bezogen, d.h. um 3,26 m reduziert. Auf Grund unserer Auswertungen der Ganglinien vom September - November 1924 einiger Grundwasserbeobachtungspunkte, die dem Expertenbericht beiliegen, entsprechen die Werte einem mittleren Grundwasserstand und sind mit unseren vom 20.3.1974 vergleichbar. Demzufolge hat sich der Grundwasserspiegel im Bereiche der Querprofile seit 1924 höchstens noch um einige Dezimeter abgesenkt.

Aus dem Expertenbericht sind interessante Hinweise über den Zusammenhang zwischen Emme und Grundwasser zu entnehmen. Wir zitieren: "Der Grundwasserspiegel steigt" im Querprofil Mungnau "von der Emme an langsam gegen Osten an. Beim Anschwellen der Emme hebt er sich mit einer Verspätung von ca. 2 Tagen. Da hier die Emme stark erodiert hat, liegt der Wasserspiegel in diesem Profil 3,5 - 4 m unter Terrain. Er hat sich deutlich auf den tiefen Stand" der Emmesohle "eingestellt". "Das Querprofil Chalchmatt", links der Emme, "fällt in die Gegend der früher kräftigen Grundwasseraustritte, die aber heute in der Niederwasserzeit mit Ausnahme der tiefsten Austrittsstelle im Tannschachen fast ganz oder völlig abgestanden sind".

Die Experten geben weiter folgende Schlussfolgerungen; wir zitieren: "Die genannten Beobachtungen und Erhebungen zeigen, dass zwischen Emme und Grundwasser sehr enge Beziehungen bestehen. Das Grundwasser schwankt mit etwelcher Verzögerung und Abnahme der Beträge mit der Emme. Sein Spiegel stellt sich

auf die Emme ein. Bei extremem Niederwasser kann das Flussbett streckenweise gänzlich austrocknen und der gesamte Ertrag ins Grundwasser übergehen. Vermehrte Entnahme von Grundwasser vermehrt die Versickerung, sie geht im wesentlichen auf Kosten des Flusses." "Fluss- und Grundwasser bilden ein einheitliches Ganzes. Veränderungen und Entnahme im einen machen sich auch im andern geltend."

"Für den Rückgang des Grundwassers im mittleren Emmental ist ohne allen Zweifel die Sohlenvertiefung der Emme in weitaus überwiegender Masse verantwortlich. Ob die Wasserableitungen bei den Fassungen von Bern und Vennersmühle überhaupt dabei beteiligt sind, ist unter diesen Umständen gar nicht erweisbar und auch so gut wie ausgeschlossen."

### 3.4. Messstellennetz

#### 3.4.1. Aufbau

Der Aufbau des Messstellennetzes erfolgte unter der Leitung des Kantonalen Wasser- und Energiewirtschaftsamtes und des Geographischen Instituts der Universität Bern (Prof. Dr. F. Gyax) während der Zeit von 1968 - 1974.

Weber	
1968	Rekognoszierung der Stationen der MZA und des A+W im Einzugsgebiet der Emme, wovon 1 Station der MZA und 1 Station des A+W für unsere Auswertungen berücksichtigt werden.
1968-71	Aufbau von 35 Niederschlags-Messstationen in den Flussgebieten der Grüene, des Trubbaches, der Ilfis, des Röthenbaches und der Emme, wovon 3 im Untersuchungsgebiet liegen.
1968	Aufbau von 4 Abflussmengen-Messstationen in den Flussgebieten der Ilfis, des Trubbaches und der Grüene, wovon 3 im Untersuchungsgebiet liegen.
1968-71	Rekognoszierung und Vermessung von 104 bestehenden Grundwassermessstellen (Ramm-, Schacht- und Vertikalbrunnen) in den Grundwasserleitern der Ilfis, des Trubbaches, der Grüene und der Emme, wovon 71 im untersuchten Grundwasserleiter liegen.
1969-73	Rekognoszierung und Aufbau von 32 Abflussmengen-Messstellen zur Durchführung von einzelnen Abflussmengenmessungen. 12 davon liegen im Untersuchungsgebiet.
HTL Burgdorf	
1972	Aufnahme und Vermessung von 7 Emme-Querprofilen
Werner	
1972-73	Aufbau und Vermessung von 26 Grundwasser-Peillrohren für die Schutzzonenabklärung der Grundwasserfassung im Farbschachen der Gemeinde Lützelflüh.
1972-74	Aufbau und Vermessung von 41 Grundwasser-Peillrohren für die Schutzzonenabklärung der Grundwasserfassung im Fassungsgebiet Fännersmüll der Wasserversorgung Vennersmühle, Gemeindeverband, Lyssach.
WEA	
1971-73	Aufbau und Vermessung von 10 WEA-Bohrungen im Haupttal der Emme.
1972-73	Aufbau und Vermessung von 153 Wasserstands-Abstichpunkten im Haupttal der Ilfis, Emme und Grüene.
1972-74	Aufbau und Vermessung von 39 Grundwasser-Peillrohren zur Ergänzung des Grundwassermessstellennetzes.
1974	Rekognoszierung und Aufbau von 5 Abflussmengen-Messstellen.

### 3.4.2. Niederschlag

Im Untersuchungsgebiet befinden sich zwei Monatstotalisatoren (M), wovon der eine westlich der Emme auf der Moosegg und der andere östlich der Emme im Unteren Frittenbachgraben liegt. Eine weitere Messstation ist mit einem Pluviographen (P) versehen und steht im Moos bei Rüderswil. Zur Ergänzung dieser 3 Messstellen wird der Tagestotalisator (D) der MZA im Tal der Ilfis bei Langnau einbezogen.

Tabelle I, 9

Niederschlags-Messstationen

Ort	WEA-Bez.	Höhe m ü.M.	Beobachtungsdauer
Langnau, MZA	626.198/47 D	705	seit 1900
Moosegg, Felbach	621.200/1 M	950	1.10.68-31.9.73
Unterer Frittenbachgraben	625.202/12 M	688	1.10.68-31.9.73
Rüderswil, Moos	621.204/19 P	605	seit 1.10.69

### 3.4.3. Oberflächengewässer

#### 3.4.3.1. Wasserstands-Abstichpunkte

Zur Erfassung der Beziehung zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser wurden an allen künstlichen und natürlichen Oberflächengewässern über dem Grundwasserleiter durch Markierung und Vermessung von Abstichpunkten 153 Pegelmessstellen geschaffen.

Die Messstellen sind so angeordnet, dass das Wasserspiegelgefälle zwischen zwei Messstellen als konstant angenommen werden kann. Bei den Wehren mussten deshalb in der Regel ein Pegel oberwasserseits und ein Pegel unterwasserseits markiert werden. Auf eine Aufstellung sämtlicher Wasserstands-Abstichpunkte wird in diesem Bericht verzichtet. Sie sind teilweise in Beilage I, 2 und umfassend in den Grundlagenkarten (Dok. WEA) zu finden.

#### 3.4.3.2. Abflussmengen-Messstellen

Die Abflussmengen-Messstellen befinden sich an Orten mit hydrometrisch günstigen Querprofilen in der Emme, in den wichtigsten Nebenbächen und im Ilfiskanal. Die zugehörigen Abstichpunkte sind teilweise ins Netz der Wasserstands-Abstichpunkte einbezogen worden.

Tabelle I, 10

Abflussmengen-Messstellen (vgl. Beilage I, 5)

Oberflächen- gewässer	Ort	WEA-Bezeichnung		Pegel- null- punkt m ü.M.	Anzahl Abflussmengen- Messungen (VEBER, WEA)
		Abfluss- mengen- Mess- stellen	Wasser- stands- Abstich- punkte		
Emme	Emmenmatt, Emmenhof Lützelflüh, Farbschachen	623.200/43	25A+W		1
		619.205/72 <sup>1)</sup>			1
Ilfiskanal	Obermatt Giesserei Mungnau- schachen Ranflüh- schachen	624.199/47	40	649.75	6
		623.200/42		641.87	2
		621.205/29			1
Bleichebach	Lützelflüh, Pumpenhaus Lützelflüh, Mühle Lützelflüh, Mühligass	619.205/71	34	591.16	2
		619.206/15 <sup>1)</sup>			1
		619.206/16 <sup>1)</sup>	13	585.25	3
Längenbach	Emmenmatt, Mündung Emme	623.200/41	27	643.78	1
Frittenbach	Zollbrück	623.202/62			1
Oberspachbach	Oberspach	623.203/11 <sup>1)</sup>			1

Grundwasseraustritte

Tannschachen- bach	Zollbrück, Tannschachen	622.202/66	56	619.02	2
	Zollbrück, Tannschachen	622.202/67	59	619.22	3
	Zollbrück, Tannschachen	622.202/68	60	618.87	2
	Rüderswil, Schachen	622.203/52	29	614.43	2
	Rüderswil, Mündung Emme	622.204/64			1
Fännersmüllibach	Fännersmüll Mündung Emme	619.205/70			2

<sup>1)</sup>Lage ausserhalb Kartenausschnitt

### 3.4.3.3. Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel)

Auf die Abflussmengen-Messstation des A+W in Emmenmatt und die integrierte Abflussmengen-Messstelle am Ilfiskanal wurden bereits hingewiesen.

Für die Abflussmengenmessungen der Ilfis erfolgte die Montage eines speziellen Schreibpegels 550 m oberhalb der Mündung in die Emme. Auch hier erforderte der Ilfiskanal eine zusätzliche Abflussmengen-Messstelle (Obermatt, Giesserei).

Die Abflussmengen-Messstation für die Grüene liegt bei Ramsei. Sie musste in einem Abschnitt ohne Sohlenverbauung aufgestellt werden, was nach jedem Hochwasser zusätzliche Kontrollen und Eichmessungen erforderlich machte.

Tabelle I, 11

Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel) (vgl. Beilage I, 5)

Fluss, Ort	WEA-Bez.	Pegelnul- punkt m ü.M.	Beobachtungsdauer
Emme, Emmenmatt mit Ilfiskanal	623.200/25A+W	ca. 640	seit 1909
	623.200/42	641.87	seit 1909
Ilfis, Langnau mit Ilfiskanal Obermatt, Giesserei	624.199/10	649.75	1.10.68-30.9.73
	624.199/47	649.75	1.10.68-30.9.73
Grüene, Ramsei	620.205/12	597.51	seit 29.9.68

### 3.4.4. Grundwasser

#### 3.4.4.1. Beobachtungspunkte

Das Netz der Beobachtungspunkte für die nicht permanenten Grundwasserspiegelmessungen besteht aus:

106 Peilrohren

10 Bohrungen

6 Vertikalfilterbrunnen

65 Ramm- oder Schachtbrunnen

Auf eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Beobachtungspunkte wird verzichtet. Beilage I, 5 gibt eine Uebersicht über die Lage und die Art der Be-

obachtungspunkte mit wöchentlichen Grundwasserspiegelmessungen und Beilage I, 2 zeigt eine Auswahl der für die Konstruktion der Isohypsen verwendeten Messstellen. Alle Beobachtungspunkte sind in der Grundlagenkarte (Dok. WEA) enthalten.

Das Netz der Beobachtungspunkte für die Grundwasserspiegelmessungen ist beachtlich dicht. Trifft es doch durchschnittlich pro km<sup>2</sup> Grundwasserspiegelfläche ca. 25 Messstellen mit Abständen zwischen den Beobachtungspunkten von 10 - 320 m. Diese Zahlen dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass das relativ dichte Netz lediglich in den Haupttälern vorliegt. In den Terrassen können die grossen Ueberwasserspiegelzonen nur mit Bohrungen durchgeföhren werden. Daher fehlen in den Terrassen von Zollbrück und Waldhus Beobachtungspunkte gänzlich und in der Terrasse von Rüderswil ermöglichen lediglich die 4 Bohrungen Grundwasserspiegelmessungen.

#### 3.4.4.2. Schreibpegel

Der erste Grundwasserschreibpegel im Untersuchungsgebiet des Emmentals wurde Ende November 1968 durch die Wasserversorgung Vennersmühle auf dem Feuerschacht Schifferli, im Moos bei Rüderswil, installiert. Ende 1970 erfolgte durch das WEA die Anschaffung von drei weiteren Schreibpegeln. Ihr Einsatz im Untersuchungsgebiet geht aus Tabelle I, 12 hervor.

Tabelle I, 12

Grundwasser-, Schreibpegel (vgl. Beilage I, 5)

Ort	WEA-Bez.	Pegelnul- punkt m ü.M.	Beobachtungsdauer
Langnau Gärtnerei Berger	624.199/2	652.46	13.2.71-14.7.71
Mungnau, Mühle Steiner	623.200/8	636.32	seit 13.2.71
Ranflüh, Rauflimatt, Feuerschacht	622.203/7	617.51	seit 11.6.73
Rüderswil, Moos, Schifferli	620.204/5	599.18	seit 29.11.68

### 3.5. Messungen

#### 3.5.1. Niederschlag

Tabelle I, 13

Jährliche Niederschlagshöhen 1969 - 1973

Ort	WEA-Bezeichnung	Niederschlagshöhen in mm im Jahr				
		1969	1970	1971	1972	1973
Langnau, MZA	626.198/47D	1076	1436	996	1116	1113
Unterer Frittenbachgraben	625.202/12M	1021	1292	981	1049	-
Moosegg, Felbach	621.200/1M	1005	1308	961	947	-
Rüderswil, Moos	621.204/19P	-	1281	926	1031	(1058)

( ) Okt. - Dez. extrapoliert

Für die Messperiode 1921 - 1970 in der Station Langnau betragen:

- die durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe 1276 mm
- die maximale Jahresniederschlagshöhe (1965) 1749 mm
- die minimale Jahresniederschlagshöhe (1949) 804 mm

Die Werte für die Station Langnau und den Pluviographen Rüderswil sind in Beilage I, 5 dargestellt. Weiter zeigt diese die Tageswerte der Station Langnau für die Zeit vom 1.1.72 bis 30.6.74.

Für den Pluviographen Rüderswil bestehen die Aufzeichnungen der Niederschlagshöhe in Beziehung zur Zeit auf wöchentlichen Limmigraphenstreifen.

Diese und weitere Auswertungen wie Niederschlagsintensitäten, Tageswerte und Monatswerte sowie detaillierte Angaben der beiden anderen Messstellen liegen in der Dissertation WEBER, 1974 und den zugehörigen Messprotokollen vor (Dok. WEA).

#### 3.5.2. Oberflächengewässer

##### 3.5.2.1. Wasserstands-Abstichpunkte

Um herauszufinden, inwieweit Oberflächengewässer und Grundwasser höhenmässig

zusammenhängen könnten, wurden von sämtlichen Abstichpunkten aus die Wasser- und die Sohlenkoten ermittelt. Die Messungen erfolgten am 17.7.72 gleichzeitig mit einer generellen Aufnahme der Gewässerquerschnitte. Die Auswertungen dieser Beobachtungen erlaubten bei der Einmessung der Grundwasserspiegelfläche am 20.3.74 eine Reduktion der Anzahl Wasserstandsmessungen auf die für die Konstruktion der Isohypsen wesentlichen Oberflächengewässer.

In den Längen- und Querprofilen der Beilage I, 5 ist der Verlauf des Wasserspiegels der Emme und der Ilfis vom 20.3.74 angegeben. Weiter geht aus den Profildarstellungen der Höchststand der Emme vom 22.9.1968 hervor. Der Verlauf dieses seit 1918 höchsten Wasserspiegels konnte anhand von Spuren an den Böschungen festgestellt und durch das ASF vermessen werden. Die maximale Abflussmenge erreichte am 22.9.1968 zwischen 0300 und 0500 Uhr in der Abflussmengen-Messstation Emmenmatt 430 - 470 m<sup>3</sup>/s.

Die Wasserstands-Abstichpunkte in der Nähe der Abflussmengen-Messstellen wurden bei der Bestimmung der Abflussmenge teilweise zusätzlich gemessen, sodass die Beziehung zwischen Wasserstand und Abflussmenge ermittelt werden konnte.

### 3.5.2.2. Abflussmengen-Messstellen

Die Abflussmengenmessungen erfolgten grösstenteils mit einem hydrometrischen Flügel oder bei zu kleiner Wasserhöhe durch die Messung der Oberflächengeschwindigkeit mittels eines Schwimmkörpers. Die ausgewerteten Abflussmengen sind in Tabelle I, 14 wiedergegeben.

Tabelle I, 14

#### Abflussmengen aus Einzelmessungen

Oberflächengewässer (Grundwasser-austritt)	WEA-Bezeichnung	Datum, Zeit	Wasser-spiegel m ü.M. 1)	Abfluss-menge l/s
Emme	623.200/43	8.11.72, 1400-1500	637.99	2 347
	619.205/72	8.11.72, 1245-1345		3 644
Ilfiskanal	624.199/47	29. 7.69, 1045-1230		1 478
		12. 8.69, 0800-0850		1 508
		27. 3.72, 1200-1300	649.45	1 531
		12. 7.72, 1130-1200	649.37	1 291
		8.11.72, 1300-1400	649.40	1 517
		12. 1.73, 1200-1230	649.30	1 306
	623.200/42	12. 8.69, 0915-0950		475
621.205/29	8.11.72, 1200-1230		508	
	12. 8.69, 1015-1045		395	
Bleichebach	619.205/71	28. 7.72, 1600-1630	590.82	189
		12. 5.73, 1615-1630		285
	619.206/15	12. 5.73, 1530-1600		532
	619.206/16	30. 3.72, 1100-1130	584.42	344
		28. 7.72, 1400-1500	584.49	443
	21. 8.72, 1600-1630	584.565	589	
Längenbach	623.200/41	21. 8.72, 1600-1615	642.065	29
Frittenbach	623.202/62	21. 8.72, 1400-1500		61
Oberspachbach	623.203/11	28. 7.72, 0900-0915		13
Tannschachenbach	622.202/66	28.11.72, 1200-1230	619.34	209
		4. 5.73, 1600-1615	619.26	100
	622.202/67	11. 9.74, 1315-1345	618.685	78
		18. 9.74, 1300-1345	618.655	46
		7.10.74, 1045-1130	618.68	57
	622.202/68	18. 9.74, 1445-1545	618.495	85
		7.10.74, 1140-1230	618.52	65
622.203/52	15. 8.74, 1400-1430	612.87	~50	
	5. 9.74, 1210-1245	612.76	21	
622.204/64	15. 8.74, 1500-1530	-	47	
Fännersmüli-bach	619.205/70	15. 8.74, 1545-1615	-	~11
		5. 9.74, 1315-1400	-	~29

1) Wasserstand-Abflussmengenbezeichnung infolge Veränderung des Durchflussquerschnittes variabel

Die Messungen der Abflussmengen bezweckten einerseits die Aufstellung einer approximativen Oberflächenwasser-Abflussbilanz, andererseits die generelle Ermittlung der Infiltrationsmengen der Emme resp. der Exfiltrationsmengen in die Emme sowie in den Bleichebach, Tansschachenbach und Fännersmülibach. Die zahlreichen Messungen im Ilfiskanal dienten zudem zur Abklärung der Beziehung zwischen Wasserstand und Abflussmenge.

### 3.5.2.3. Abflussmengen-Messstationen

In den drei Messstationen an der Ilfis, der Emme und der Grüene wurden je mit einem Schreibpegel die Wasserstände aufgezeichnet und aus diesen die Abflussmengen berechnet.

Die Aufzeichnungen der Emmewasserstände der Eidgenössischen Messstation Emmenmatt wurden für die Beobachtungsdauer vom 1.1.72 - 30.6.74 in Beilage I, 5 als Ganglinie dargestellt. Die Abflussmengen konnten mit der durch langjährige Beobachtungen gesicherten Eichentabelle als Funktion des Wasserstandes ausgerechnet werden.

Zur Abflussmengenbestimmung in der Ilfis und der Grüene musste vorerst die Beziehung zwischen Wasserstand und Abflussmenge gefunden werden. Dazu dienten verschiedene Wasserstands- und Abflussmengenmessungen, 16 in der Ilfis und 31 in der Grüene. Die grosse Anzahl Eichmessungen in der Messstation der Grüene ist auf die bereits erwähnte, fehlende Sohlensicherung zurückzuführen.

Tabelle I, 15 zeigt die mittleren Jahresabflussmengen. Die Werte der Ilfis und der Grüene sind bis Ende September 1973 aus den Angaben der Dissertation WEBER, 1975, berechnet worden.

Tabelle I, 15

Mittlere Jahresabflussmengen 1969-1973 (vgl. Beilage I, 5)

Oberflächen- gewässer	WEA-Bez.	Mittlere Jahresabflussmenge m <sup>3</sup> /s					
		1969	1970	1971	1972	1973	69-73
Emme mit Ilfiskanal	623.200/25E	11,3	19,5	7,88	8,9	11,3	11,78
Ilfis mit Ilfiskanal	625.198/10	5,29	8,46	4,11	4,84	(5,55)	5,65
Grüene	620.205/12	1,60	2,33	1,09	1,31	(1,50)	1,57

( ) Okt. - Dez. extrapoliert

Für die Messperiode 1918 - 1973 betragen in der Eidgenössischen Messstation Emmenmatt (nach Angabe des A+W):

- die durchschnittliche Jahresabflussmenge 11,7 m<sup>3</sup>/s
- die grösste mittlere Jahresabflussmenge (1970) 19,5 m<sup>3</sup>/s
- die kleinste mittlere Jahresabflussmenge (1921) 4,89 m<sup>3</sup>/s

Die durchschnittliche Jahresabflussmenge 1969 - 1973 der Emme entspricht dem Durchschnitt der Messperiode von 1918 - 1967. Im niederschlagsreichen Jahr 1970 ist die grösste jemals gemessene Jahresabflussmenge der Emme zu verzeichnen. Die mittlere Jahresabflussmenge der Emme von 1971 wird lediglich in den Jahren 1921, 1943, 1947 und 1949 unterschritten.

### 3.5.3. Grundwasser

#### 3.5.3.1. Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen

Im Hinblick auf die Konstruktion der Grundwasserspiegel-Isohypsen wurden bei unterschiedlichen Grundwasserständen 4 Simultanmessungen durchgeführt.

Tabelle I, 16

#### Grundwasserspiegelmessungen

Datum	Anzahl Messstellen	Lage des Grundwasserspiegels	Dok. der Beobachtungswerte	Beilagen Nrn.
9.10.71	ca. 70	tief	WEBER, 1974	I, 6
24.11.71	ca. 50	hoch (1 Tag nach Emmehochwasser)	WEBER, 1974	I, 6
10.10.73	ca. 150	durchschnittlich	WEA	
20. 3.74	ca. 150	ca. mittel	WEA	I, 2, I, 5 (I, 1 u.3)

Die Beobachtungswerte können einerseits in den Feldprotokollen eingesehen werden (Dok. WEA), andererseits gehen sie teilweise aus der Dissertation WEBER, 1974, und Beilage I, 2 hervor.

### 3.5.3.2. Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen

Zur Beurteilung der Grundwasserspiegelschwankungen wurden in verschiedenen Beobachtungspunkten die Grundwasserspiegel periodisch gemessen.

So liegen wöchentliche Messungen für 26 Messstellen während 90 Wochen oder während 180 Wochen zwischen Ende September 1968 und Juni 1973 vor. Diese Messungen sind tabellarisch festgehalten und zu Ganglinien verarbeitet worden. In 11 weiteren Beobachtungspunkten konnte der Grundwasserspiegel aus verschiedenen Gründen lediglich sporadisch gemessen werden. Von diesen Messungen sind ebenfalls Tabellen vorhanden (WEBER, 1974).

Weitere periodische Messungen im Jahr 1973 erfolgten im Rahmen der Schutzzonenabklärungen der Gemeinde Lützelflüh und des Gemeindeverbandes Wasserversorgung Vennersmühle. Sie sind zu Ganglinien verarbeitet, in den Beilagen der beiden Gutachten (WERNER, 1973/1974) vorzufinden. Weiter wurden Messungen zur Beurteilung der Grundwasserspiegelabsenkungen im Rahmen der Baugrubenentwässerung für das Schulhaus Zollbrück durchgeführt. Sie umfassten die Periode vom April bis Mitte Juni 1974 (Dok. WEA).

Beilage I, 5 zeigt für die Jahre 1969 bis 1973 eine Auswahl der Messstellen, deren Grundwasserspiegelschwankungen periodisch beobachtet wurden. Aus dem Längenprofil gehen die Schwankungsbereiche und der Grundwasserstand vom 20.3.74 hervor. Die Messdauer ist für die einzelnen Messstellen aus der Darstellung der summierten Grundwasserspiegelanstiege ersichtlich.

Die Jahre 1969 und 1974 brachten unvollständige Messreihen. Sie werden daher in der Karte nicht weiter berücksichtigt.

### 3.5.3.3. Schreibpegel

Die Ganglinienblätter mit wöchentlicher Laufzeit der vier Schreibpegel bei Langnau, Mungnau, Ranflüh und Rüderswil bilden Beilagen zur Dissertation WEBER, 1975.

Der Schreibpegel in der Gärtnerei Berger bei Langnau fällt infolge ungleichmässiger Pumpbeeinflussung für unsere Betrachtungen aus. Der Schreibpegel bei Ranflüh wurde erst am 11. Juni 1973 in Betrieb genommen. Seine Resultate werden ebenfalls nicht weiter verwendet.

Beilage I, 5 zeigt die Ganglinien der Grundwasserspiegel für die Schreibpegel Mungnau und Rüderswil zwischen dem 1.1.1972 und dem 30.6.1974. Der Schreibpegel Mungnau bei der Mühle Steiner brachte während der ganzen Beobachtungsperiode praktisch störungsfreie Messungen. In der Fännersmüli, bei Rüderswil, beeinflussten das naheliegende Pumpwerk der Wasserversorgung Vennersmühle und verschiedene Störungen die Pegelaufzeichnungen. Die Absenkungen infolge des Pumpbetriebes konnten gegenüber dem natürlichen Grundwasserspiegelverlauf zum grössten Teil erfasst werden. Die Unterbrüche infolge technischer Störung wurden mit den wöchentlichen Abstichmessungen überbrückt.

### 3.6. Auswertungen

#### 3.6.1. Niederschlag

Unsere Auswertungen konzentrieren sich im Hinblick auf die Grundwasserbilanzierung auf das Kalenderjahr 1972.

Der Vergleich der Summe der Jahresniederschläge 1972 der meteorologischen Station Langnau von 1,116 m mit dem 50-jährigen Jahresdurchschnitt (1921-70) von 1,276 m zeigt, dass jene ca. 13 % kleiner ist. Die durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe für die Untersuchungsperiode von 1969 - 73 beträgt 1,147 m; sie liegt 10 % unter dem 50-jährigen Jahresdurchschnitt.

Tabelle I, 17 enthält eine Zusammenstellung der Anzahl Tage mit Niederschlagshöhen  $\geq 0,1$  mm,  $\geq 0,3$  mm,  $\geq 5$  mm,  $\geq 10$  mm,  $\geq 20$  mm,  $\geq 50$  mm für das Kalenderjahr 1972 und für den Durchschnitt der hydrologischen Jahre 1968/69 - 72/73. Sowohl in Langnau wie in Rüderswil hat sich der Niederschlag im Jahre 1972 auf 161 Tage verteilt. Das Häufigkeitsverhalten für 1972 entspricht ungefähr dem Durchschnitt aus den hydrologischen Jahren 1968/69 - 1972/73. Für beide Zeitabschnitte liegen die häufigsten Tagesniederschlagshöhen zwischen 0,3 - 5 mm.

Tabelle I, 17

Häufigkeit der täglichen Niederschlagshöhen

Anzahl Tage mit Niederschlägen: 1972							1968/69-72/73*						
Ort	mm	$\geq 0,1$	$\geq 0,3$	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\geq 50$	$\geq 0,1$	$\geq 0,3$	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\geq 50$
Langnau, MZA		161	152	66	37	13	1	162	152	78	40	12	1
Rüderswil, Moos		161	148	71	34	9	1	165	148	70	36	12	1

\* WEBER, 1975

(0,1 mm = Messgenauigkeit des Tagestotalisators resp. Pluviographen;  $< 0,1$  mm = niederschlagsfrei)

Die Darstellung der täglichen Niederschlagshöhen für die meteorologische Station Langnau in Beilage I, 5 bestätigt - mit einer Ausnahme - dass sich die grössten Niederschlagshöhen vorwiegend auf die Sommermonate konzentrieren. Die Ausnahme bildet der gewitterarme Sommer 1972 mit Niederschlagshöhen unter dem langjährigen Mittel. Die grossen Niederschläge im November bewirkten jedoch einen Ausgleich, sodass die jährliche Niederschlagssumme lediglich 13 % unter dem 50-jährigen Jahresdurchschnitt liegt.

Das für unsere Bilanzierungsbetrachtungen gewählte Jahr 1972 entspricht somit vom Niederschlag her gesehen bezüglich Niederschlagsmenge einem eher trockenen, bezüglich Häufigkeit jedoch einem Normaljahr. Bei der zeitlichen Verteilung sind die Sommermonate etwas benachteiligt.

Die räumliche Niederschlagsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes ergibt auf Grund der Tabelle I, 13 um ca. 8 % grössere Niederschlagshöhen für den oberen Teil (Langnau) als für den unteren Teil (Rüderswil). Für das Jahr 1972 kann als Durchschnitt für das Untersuchungsgebiet eine Jahresniederschlagshöhe von 1 m angenommen werden.

Für den Tagestotalisator der meteorologischen Station Langnau wurden die täglichen Niederschlagshöhen des Jahres 1972 in der Reihenfolge ihrer Grösse als Dauerlinie dargestellt (vgl. Beilage I, 5). Ungefähr 70 % des jährlichen Niederschlages oder ca. 0,8 m verteilen sich auf 40 Tage. Ungefähr 80 Tage oder die Hälfte der Tage mit Niederschlägen brachten 90 % der gesamten Niederschlagshöhe.

Zur Abschätzung der Rücklage resp. des Aufbrauches (vgl. Kap. 5.4.3.) dient Tabelle I, 18. Sie zeigt, dass der Niederschlag für die Jahre 1971 und 1972 im Dezember ungefähr gleichgross und die Höhe der Schneedecke unbedeutend waren. Die Bodenfeuchtigkeit und die Schneeverhältnisse für die Beurteilung der Rücklage und des Aufbrauches werden daher gleichgesetzt.

Tabelle I, 18

Niederschlagshöhe und Schneedecke Ende 1971, 1972

Ort	Monatliche Niederschlagshöhe in mm						Höhe der Schneedecke in cm am 31. Dez.	
	1971			1972			1971	1972
	Okt.	Nov.	Dez.	Okt.	Nov.	Dez.		
Langnau, MZA	45	121	29	58	252	32	2	0
Rüderswil, Moos	40	107	24	52	222	33	0	0

### 3.6.2. Oberflächengewässer

#### 3.6.2.1. Wasserstands-Abstichpunkte

Neben den bereits erwähnten Längen- und Querprofilardarstellungen der Ilfis und der Emme mit den Wasserspiegeln vom 20.3.74 (Beilage I, 5) wurde auch von den wichtigsten Nebenbächen (Grundbach, Tannschachenbach, Fännersmülibach, Ilfiskanal und Bleichebach) ein generelles Längenprofil aufgenommen.

In Tabelle I, 19 werden in einigen Profilen senkrecht zur Ilfis- resp. Emme-axe die Wasserspiegel vom 17.7.72 der Nebenbäche mit denjenigen der Ilfis und der Emme verglichen. Der Wasserspiegel vom 17.7.72 stand in der Emme ca. 0,2 m und in der Ilfis ca. 0,1 m tiefer als derjenige vom 20.3.74. Generell ist ersichtlich, dass am 17.7.72 der Wasserspiegel des Ilfiskanals resp. des Bleichebaches um 0,5 - 4,6 m höher als der Ilfis- resp. Emmewasserspiegel lag. Der Wasserspiegel im Grundbach im Eischachen befand sich nur wenig höher als der Wasserspiegel in der daneben fließenden Emme. Die Wasserspiegelnhöhen des Tannschachenbaches und des Fännersmülibaches entsprechen praktisch denjenigen der benachbarten Emme.

Tabelle I, 19

Vergleich der Wasserspiegel vom 17.7.72 verschiedener Oberflächengewässer

Fluss	Ilfis- resp. Emme-km	Wasser- spiegel vom 17.7.72 m ü.M.	Nebenbäche	Wasser- spiegel vom 17.7.72 m ü.M.	Sohlen- höhe m ü.M.	Differenz der Wasser- spiegel m
Ilfis	0,54	646.0	Ilfiskanal	649.4	648.4	3,4
Emme	34,75	646.0	Grundbach	646.7	646.3	0,7
	33,95	639.3	Ilfiskanal	641.6	641.2	2,3
	33,20	631.1		635.7	635.1	4,6
	32,05	624.5		626.6	626.3	2,1
	31,70	623.0		624.6	624.2	1,6
	31,10	619.0		619.9	619.4	0,9
	31,00	618.5	Tannschachenbach	618.7	618.0	0,2
	30,10	612.3	Ilfiskanal	614.1	614.0	1,8
	29,15	605.9		606.4	606.2	0,5
	27,50	595.5		598.8	598.5	3,3
	27,25	594.7	Fännersmülibach	595.0	594.8	0,3
26,95	592.0	Bleichebach	594.7	594.1	2,7	
26,27	589.0		590.2	589.9	1,2	

### 3.6.2.2. Abflussmengen-Messstellen

Die Resultate der verschiedenen Abflussmengenmessungen erlauben, soweit sie ungefähr gleichzeitig gemessen worden sind, eine generelle Bilanzierung des Oberflächenwasserabflusses vorzunehmen. Dabei müssen allerdings verschiedene Vereinfachungen angenommen werden. So wird insbesondere vorausgesetzt, dass

- der Abfluss während der Messdauer stationär ist,
- die Messfehler vernachlässigt werden können,
- die Verdunstungsmengen vernachlässigbar sind.

Für die generelle Bilanzierung des Oberflächenwasserabflusses kann somit die folgende Bilanzierungsgleichung angewandt werden:



In Tabelle I, 20 werden neben den einzelnen Abflussmengen die generellen Bilanzierungsauswertungen für den Oberflächenwasserabfluss innerhalb verschiedener Abflussgebiete aufgeführt.

Tabelle I, 20

Bilanzierung des Oberflächenwasserabflusses

Datum	Oberflächen- gewässer	Ort	WEA- Bezeichnung	Abflussmengen Einzel-mengen l/s	Q		Exfiltrations- mengenüberschuss l/s	
					Bezeichnung	Summe l/s		
8.11.72	Emme Ilfiskanal	Emmenmatt, Emmehof Mungnauschachen	623.200/43 623.200/42	2347	ΣQ00	2855		
				508				
	Grüne Grundwasser- austritt Längenbach	Ramsei Tannschachen Frittenbach etc.	620.205/12 622.202/67	361		ΣQOR		ca. 591
				ca. 180				
Emme Bleichebach	Lützel-flüh, Farbschachen Lützel-flüh Mühligass	619.205/72 619.206/16	3644	ΣQOU	ca. -4304			
			ca. 660 <sup>1)</sup>					
					-Σ(QI0+QX0)	ca. - 858	ΣQI0>0+ΣQX0=858	
7.10.74	Grundwasser- austritt	Tannschachen	622.202/67 622.202/68	57 65	Q00 Q0U	57 -65	ΣQI0>0+ΣQX0 = 8	
		zwischen 67 und 68	622.202/27		-Σ(QI0+QX0)	-8		
	Grundwasser- austritt							
28. 7.72	Bleichebach	Lützel-flüh, Pumpenhaus Mühligass	619.205/71 619.206/16	189	Q00 Q0U	189 -443	ΣQI0>0+ΣQX0=250	
				443				
	Grundwasser- austritt	Bleiche	619.206/7		-Σ(QI0+QX0)	- 254		
12. 5.73	Bleichebach	Lützel-flüh, Pumpenhaus Mühle	619.205/71 619.206/15	285	Q00 Q0U	285 -532	ΣQI0>0+ΣQX0=250	
				532				
	Grundwasser- austritt	Bleiche	619.206/7		-Σ(QI0+QX0)	- 247		

<sup>1)</sup>aus Vergleichsberechnungen

Für das Abflussgebiet zwischen Emmenmatt und Lützel-flüh, Farbschachen, ergibt sich mit unseren Berechnungen am 8.11.72 ein Abflussüberschuss von 858 l/s. Während der Messperiode war unter den erwähnten Annahmen die in die Oberflächen-gewässer exfiltrierte Grundwassermenge um ca. 860 l/s grösser als die in den Grundwasserleiter infiltrierte Wassermenge aus den Oberflächengewässern.

Die Mengenangaben für den Grundwasseraustritt im Tannschachen lassen für den 7.10.74 zwischen den angeführten Messstellen eine Exfiltration von 8 l/s erkennen.

Die Auswertungen für die Abflussstrecke des Bleichebaches deuten auf eine Ex-filtration von je 250 l/s am 28.7.72 sowie am 12.5.73 hin. Dabei lässt sich nicht feststellen, wieviel von den 250 l/s dem Grundwasseraustritt aus der Wald-hausterrasse und wieviel der Exfiltration von Emmegrundwasser in den Bleiche-bach zuzuschreiben ist.

### 3.6.2.3. Abflussmengen-Messstationen

Tabelle I, 21 zeigt eine Zusammenstellung der grössten und kleinsten mittleren monatlichen Abflussmengen für die Jahre 1969 - 1973 in den 3 Messstationen der Ilfis bei Langnau, der Emme bei Emmenmatt und der Grüene bei Ramsei.

Zum Vergleich werden in Tabelle I, 22 die mittleren Monatsabflussmessungen der Periode 1918 - 1968 der Abflussmengen-Messstation der Emme mit Ilfiskanal bei Emmenmatt wiedergegeben. Daraus ist ersichtlich, dass die mittleren monatlichen Abflussmengen in den Monaten März bis Juli über dem Durchschnitt von 11,7 m<sup>3</sup>/s liegen. Kleine Monatsabflussmengen entstehen in der Regel im Monat Oktober und den Monaten Dezember bis Februar. Im September und im November sind sie etwas grösser, liegen aber ebenfalls unter dem Durchschnitt.

Tabelle I, 21

Extremwerte der mittleren monatlichen Abflussmengen der Jahre 1969 - 73

Jahr	Fluss	Monat	grösste mittlere monatliche Abflussmenge m <sup>3</sup> /s	Monat	kleinste mittlere monatliche Abflussmenge m <sup>3</sup> /s
1969	Ilfis	April	10,5	Okt.	1,59
	Emme	April	24,9	Okt.	2,41
	Grüene	Juni	2,71	Okt.	0,80
1970	Ilfis	April	20,2	Jan.	1,99
	Emme	Mai	44,7	Febr.	3,98
	Grüene	April	5,72	Sept.	0,65
1971	Ilfis	Juni	14,3	Febr.	1,41
	Emme	Juni	26,7	Febr.	1,98
	Grüene	Juni	3,56	Okt.	0,35
1972	Ilfis	Nov.	12,0	Febr.	1,57
	Emme	Nov.	25,7	Febr.	2,35
	Grüene	Nov.	3,9	Jan.	0,36
1973	Ilfis	Juni	11,4	Febr.	1,33
	Emme	Mai	25,7	Febr.	1,74
	Grüene	Juni	3,93	Sept.	0,34

Grüene bei Ramsei, Ilfis mit Ilfiskanal bei Langnau (WEBER, 1974)  
Emme mit Ilfiskanal bei Emmenmatt (A+W, 1969-73)

Tabelle I, 22

Mittlere Monatsabflussmengen der Emme bei Emmenmatt, 1918 - 1968

Monat	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Q m <sup>3</sup> /s	7,66	8,83	13,8	18,8	16,8	14,8	12,9	11,5	9,9	7,93	9,62	8,02

Die maximalen Abflüsse im Frühjahr lassen sich vorwiegend aus der Schneeschmelze, die in der Regel in der zweiten Hälfte März beginnt und bis in den Juni hinein dauert, erklären. Die grossen Abflussmengen in den Monaten Juni - August sind auf die starken Gewitterregen dieser Jahreszeit zurückzuführen. Die Wintermonate gelten als abflussarm.

Diese Tendenzen sind ebenfalls von 1969 - 1973 festzustellen. Eine Ausnahme bildet das Jahr 1972 mit der ausserordentlich grossen Abflussmenge im Monat November. Diese ist durch aussergewöhnlich grosse Niederschläge entstanden und hat nach dem eher kleinen Abfluss während des Sommers noch einen Anstieg der mittleren Jahresabflussmenge 1972 auf 8,9 m<sup>3</sup>/s bewirkt. Im Vergleich zur durchschnittlichen Abflussmenge der Jahre 1918 - 1973 von 11,7 m<sup>3</sup>/s liegt die Jahresabflussmenge 1972 24 % tiefer. Das Jahr 1972 muss deshalb, auch vom Abflussgeschehen her gesehen, eher als trockenes Jahr bezeichnet werden.

Der längste Zeitabschnitt mit einer kleinen monatlichen Abflussmenge unter 7 m<sup>3</sup>/s während der Untersuchungsperiode 1969 - Juni 1974 dauerte vom September 1971 - März 1972, also 7 Monate. Dabei wurden in der Messstation der Emme, Emmenmatt, die Monatsabflussmengen gemäss Tabelle I, 23 gemessen.

Die mittlere Abflussmenge dieser Niederwasserperiode beläuft sich bei einem mittleren Wasserstand der Emme von ca. 638.10 m ü.M. auf 4,08 m<sup>3</sup>/s.

Tabelle I, 23

Monatsabflussmengen der Emme (mit Ilfiskanal) bei Emmenmatt während einer Niederwasserperiode (A+W, 1971/72)

1971/72	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
Q in m <sup>3</sup> /s	4,09	3,66	5,90	5,72	2,66	2,35	4,18

Wie aus der Ganglinie des Emmewasserspiegels bei Emmenmatt für die Jahre 1972 bis Mitte 1974 in Beilage I, 5 hervorgeht, ist der niedrigste Wasserstand mit 637.95 m ü.M. in der zweiten Hälfte des Oktobers 1972 aufgetreten. Daraus ergibt sich für die dargestellte Zeit ein minimaler täglicher Abfluss der Emme von 1,61 m<sup>3</sup>/s, der während der gesamten Untersuchungsperiode von Ende Sept. 1968 bis Ende Juni 1974 lediglich einmal - nämlich im März 1971 mit einem Wasserstand von 637.90 m ü.M. bei einer Abflussmenge von 1,53 m<sup>3</sup>/s - unterboten wurde.

Weiter sind aus der Ganglinie der Emme die Hochwasserspitzen zu entnehmen. Der höchste Wasserstand während der dargestellten Zeit wurde im Juni 1973 mit einem Wasserspiegel auf 639.70 m ü.M. bei einer maximalen Abflussmenge von 260 bis 290 m<sup>3</sup>/s gemessen. Diese Hochwasserverhältnisse wurden während der gesamten Untersuchungsperiode noch zweimal - nämlich im Juni 1971 mit einem Wasserstand von 639.90 m ü.M. bei einer maximalen Abflussmenge von 330 bis 370 m<sup>3</sup>/s und im August 1970 mit einem Wasserstand von 639.96 m ü.M. bei

einer maximalen Abflussmenge von 360 bis 400 m<sup>3</sup>/s - überboten (vgl. auch Kap. 3.5.2.1.).

Der mittlere Wasserspiegel der Emme, Emmenmatt, für unsere Untersuchungsperiode berechnet aus den beiden Extremwerten im März 1971 und im August 1970 beträgt 638.93 m ü.M. mit einem Schwankungsbereich von + 1,03 m. Der durchschnittliche Wasserspiegel d.h. die Schwerlinie der Ganglinie liegt auf ca. 638.35 m ü.M. bei einer entsprechenden Abflussmenge von ca. 11,7 m<sup>3</sup>/s.

Interessante Hinweise gibt die Ganglinie des Emmewasserspiegels auch bezüglich des Einflusses der Schneeschmelze in den Monaten März bis Juni. Die täglichen Temperaturschwankungen bewirken tägliche Abflussmengenveränderungen und ergeben bei der Messstation Emme, Emmenmatt, innerhalb eines Tages Spiegelschwankungen von ungefähr 20 cm. Die maximalen Tagesabflussmengen treten dort infolge der Verzögerung durch die Schmelzwasseranlaufsdauer und die Fließdauer erst um 2400 Uhr auf.

Zur besseren Beurteilung der Geschwindigkeit der Wasserspiegeländerungen wurden weiter in Beilage I, 5 für die Messstation der Emme, Emmenmatt, die effektiven Wasserspiegelanstiege und Wasserspiegelrückgänge von 1972 nach ihren Grössen geordnet in einer sog. Dauerlinie dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass der gesamte Anstieg von 33 m in 82 Tagen erfolgt ist. 27 m oder ca. 4/5 des gesamten Anstieges wurden in 20 Tagen erreicht, was einer durchschnittlichen Anstiegsgeschwindigkeit des Wasserspiegels von ca. 1,30 m/d entspricht. Dieser schnelle Wasserspiegelanstieg ist auf die sehr rasch ansteigenden Ilfis- und Emmehochwasserspiegel insbesondere nach starken Gewitterregen zurückzuführen, die wie z.B. am 22.9.68 eine Anstiegsgeschwindigkeit von 25 cm/h bewirken können. Aehnliche Verhältnisse, jedoch mit Geschwindigkeiten, die im Durchschnitt 3 - 6 mal kleiner sind, zeigen sich auch beim Wasserspiegelrückgang der Emme, der 1972 insgesamt 284 Tage gedauert hat. Der Rückgang von 27 m ist in 120 Tagen erfolgt oder mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,45 m/d. In diesem langsameren Rückgang des Wasserspiegels kommt das Retentionsvermögen des Einzugsgebietes zum Ausdruck.

### 3.6.3. Grundwasser

#### 3.6.3.1. Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen

Die Einzelmessungen in den zahlreichen Beobachtungspunkten zielten vorwiegend auf die Konstruktion der Isohypsen des Grundwasserspiegels bei verschiedenen Grundwasserständen ab und werden deshalb im einzelnen nicht mehr weiter untersucht.

#### 3.6.3.2 Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen

In Tabelle I, 24 sind Hoch- und Tiefstände des Grundwasserspiegels einiger ausgewählter Beobachtungspunkte mit wöchentlichen Messungen der Jahre 1970 bis 1973 wiedergegeben.

Tabelle I, 24

Hoch- und Tiefstände des Grundwasserspiegels aus wöchentlichen Abstichmessungen (vgl. Beilage I, 5)

Ort	WEA-Bez.	Hochstand in m ü.M. vom			Tiefstand in m ü.M. vom		
		24.4.70	11.6.71	24.11.72	9.1.70	9.10.71	21.10.72
Langnau, Gärtnerei Berger	624.199/2	651.41	650.86		650.01	649.98	
Emmenmatt	623.199/8	644.89	644.61	644.83	643.50	643.39	643.33
Emmenmatt, Eischachen	623.199/2		643.43	643.84		642.36	642.24
Emmenmatt, Längenbach	623.199/9	642.86	642.03	642.79	641.23	641.20	
Emmenmatt, Mungnau	624.200/7	636.14	635.83	636.57		635.15	635.10
Emmenmatt, Emmehof	623.200/2	640.28	639.98		639.30	639.19	
Mungnau, Mühle Steiner	623.200/8	635.23	634.92	635.52	634.22	634.19	634.14
Neumühle, Pumpwerk	623.201/1	628.09	627.83	628.11	627.25	627.25	
Lauperswil, Chalchmatt	623.202/8	623.38	623.17	623.74	622.46	622.52	622.51
Lauperswil, Chalchmatt	622.202/16	623.22	622.99	623.62	622.34	622.38	
Ranflüh, Rauflimatte, Feuerschacht	622.203/7	613.91	613.39	614.49	612.50	612.63	
Ranflüh, Rauflimatte	622.203/6	612.54	612.02	613.10	611.13	611.28	
Rüderswil, Schnätzischache	621.204/17	602.49	602.17	602.75	601.55	601.69	
Rüderswil, Noos, Schifferli	620.204/5	597.56	596.96	597.61	596.35	596.45	596.03 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Grundwasserstand evt. durch eine Entnahme des naheliegenden Pumpwerkes der Wasserversorgung Vennersmühle 620.204/15 beeinflusst

Der Vergleich der Hochwasserstände des Grundwasserspiegels zeigt, dass am 24.11.1972 innerhalb der Jahre 1970 - 1972 praktisch der höchste, mit wöchentlichen Messungen ermittelbare Stand zu verzeichnen ist. So liegen die Abweichungen zum Hochstand vom 24.4.1970 zwischen -7 und +58 cm und diejenigen zum Hochstand vom 11.6.1971 zwischen +22 und +110 cm. Es muss jedoch schon an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den angegebenen Koten nicht um Höchststände der Jahre 1970 - 1972 handelt (vgl. Kap. 3.6.3.3.).

Die angegebenen Koten für die Tiefstände repräsentieren für die Jahre 1970 bis 1972 mit einigen wenigen Ausnahmen die tiefsten Stände, die mit wöchentlichen Messungen erfasst werden konnten. Für das Jahr 1971 liegen die tiefsten gemessenen Stände gegenüber der Jahre 1970 und 1972 ausser im Beobachtungspunkt Emmenmatt, (Längenbach), um 1 cm bis 18 cm tiefer. Die Abweichungen des tiefsten Standes von 1971 zum Stand am 9.10.1971 im Beobachtungspunkt Emmenmatt, (Längenbach) beträgt -41 cm.

Aus dem Vergleich der 3 angegebenen Tiefstände fällt auf, dass in allen drei Jahren praktisch ein ähnlicher Tiefstand aufgetreten ist. Diese Tatsache erstaunt umsomehr, wenn man bedenkt, dass dem März 1972 eine 7-monatige niederschlagsarme Periode vorangegangen ist, die im grossen und ganzen keinen tieferen Stand als die ca. einmonatige niederschlagsarme Zeit vor dem 21.10.1972 gebracht hat. Die kleinen Unterschiede von wenigen cm bei Tiefständen lassen vermuten, dass in Trockenperioden schon nach kurzer Zeit ein Tiefstand erreicht und bei fortwährender Trockenheit nicht mehr wesentlich unterschritten wird.

In Tabelle I, 25 werden die Unterschiede zwischen den Hoch- und Tiefständen des Grundwasserspiegels aus Tabelle I, 24 zusammengestellt. Die Differenzen zwischen dem maximalen und minimalen Grundwasserspiegel aus wöchentlichen Messungen für die Beobachtungsdauer von Ende September 1969 - Ende Juni 1974 sind im Längenprofil der Beilage I, 5 ersichtlich.

Tabelle I, 25

Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels aus wöchentlichen Abstichmessungen

Ort	WEA-Bez.	Differenz zwischen Hochstand und Tiefstand in m		
		1970 24.4./9.1.	1971 11.6./9.10.	1972 24.11./21.10.
Langnau, Gärtnerei Berger	624.199/2	1,40	0,88	
Emmenmatt	623.199/8	1,39	1,22	1,50
Emmenmatt, Eischachen	623.199/2		1,13	1,60
Emmenmatt, Längenbach	623.199/9	1,63	0,83	
Emmenmatt, Mungnau	624.200/7		0,68	1,47
Emmenmatt, Emmenhof	623.200/2	0,98	0,79	
Mungnau, Mühle Steiner	623.200/8	1,01	0,73	1,43
Neumühle, Pumpwerk	623.201/1	0,84	0,61	
Lauperswil, Chalchmatt	623.202/8	0,92	0,65	1,23
Lauperswil, Chalchmatt	622.202/16	0,88	0,61	
Ranflüh, Rauflimatt, Feuerschacht	622.203/7	1,41	0,76	
Ranflüh, Rauflimatt	622.203/6	1,41	0,74	
Rüderswil, Schnätzischache	621.204/17	0,94	0,48	
Rüderswil, Moos, Schifferli	620.204/5	1,21	0,51	1,58

Die grössten Wasserspiegeldifferenzen treten im Bereiche des Zusammenflusses der Ilfis und der Emme bei Emmenmatt auf. Emmeabwärts nehmen sie bis ins Gebiet von Chalchmatt nach und nach ab. Unterhalb Zollbrück sind bis in den Bereich der Mülimatt bei Ranflüh wiederum grössere Unterschiede zu verzeichnen. Im Schnätzischachen bei Rüderswil sind sie klein, während sie im darunterliegenden Moos wiederum etwas zunehmen.

Die unterschiedlichen Amplituden lassen sich vorwiegend aus dem Einfluss der Oberflächengewässerspiegel auf den Grundwasserspiegel erklären. Teilweise hängen sie auch mit den randlichen Zuflüssen aus den Seitentälern sowie mit der Veränderung des Grundwasserleiterquerschnittes zusammen.

Tabelle I, 26 zeigt den durchschnittlichen Grundwasserspiegel (arithmetisches Mittel aus den wöchentlichen Messungen) von 1972 und von der gesamten Beobachtungsperiode von 90 resp. 180 Wochen innerhalb der Zeitspanne von Ende September 1968 - Ende September 1972. Weiter werden der mittlere Grundwasserspiegel (Mittel zwischen Hoch- und Tiefstand) sowie das Zeitmittel (Grundwasserstand, welcher während der halben Zeitperiode überschritten resp. unterschritten wird) für 1972 angegeben. Vergleichshalber werden noch die Grundwasserstände vom 20.3.74, welche bei der Konstruktion der Isohypsen des Grundwasserspiegels in Beilage I, 2 verwendet worden sind, aufgeführt.

Tabelle I, 26

Mittelwerte des Grundwasserspiegels aus wöchentlichen Abstichmessungen

Ort	WEA-Bez.	durchschnittlicher Grundwasserspiegel		mittlerer Grundwasserspiegel 1972 m ü.M.	Zeitmittel des Grundwasserspiegels 1972 m ü.M.	Grundwasserspiegel vom 20.3.74 m ü.M.
		1972 m ü.M.	90*/180 Wochen innerhalb Sept. 1968-Sept. 1972 m ü.M.			
Emmenmatt	623.199/8	643.79	643.95	644.08	643.77	644.41
Emmenmatt, Eischachen	623.199/2	642.65	642.71*	643.04	642.62	643.09
Mungnau	624.200/7	635.33	635.36	635.80	635.31	635.54
Mungnau, Mühle Steiner	623.200/8	634.34	634.47	634.83	634.38	634.69
Lauperswil Chalchmatt	623.202/8	622.72	622.72	623.13	622.67	623.00
Rüderswil, Moos, Schifferli	620.204/5	596.44	596.69	596.82	596.43	596.97

Im Vergleich zum durchschnittlichen Grundwasserspiegel aus 90 resp. 180 Wochen liegt der Durchschnitt von 1972 0 bis 16 cm tiefer. Der mittlere Grundwasserspiegel von 1972 befindet sich um ca. 30 - 60 cm über und das Zeitmittel um 1 - 4 cm unter dem durchschnittlichen Grundwasserstand.

Der Grundwasserspiegel vom 20.3.74 liegt um ca. 20 - 60 cm über dem durchschnittlichen Grundwasserspiegel und um ca. -20 cm bis +30 cm unter resp. über dem mittleren Grundwasserspiegel. Die in der Karte Isohypsen des Grundwasserspiegels, Beilage I, 2, dargestellte Grundwasserspiegelfläche dürfte ungefähr einem mittleren Grundwasserstand entsprechen, jedoch zwischen 20 - 60 cm über der durchschnittlichen Spiegelfläche liegen.

Zur weiteren Auswertung der Grundwasserspiegelschwankungen wurden von den Beobachtungspunkten mit periodischen Messungen sämtliche innerhalb von zwei Messungen aufgetretenen Grundwasseranstiege in den Jahren 1969 - 1973 summiert. Tabelle I, 27 zeigt die Resultate für einige Beobachtungspunkte.

Tabelle I, 27

Summe der Grundwasserspiegelanstiege aus wöchentlichen Abstichmessungen (vgl. Beilage I, 5)

Ort	WEA-Bez.	Summe der Grundwasserspiegelanstiege in m				
		1969	1970	1971	1972	1973
Langnau, Gärtnerei Berger	624.199/2	2,39	3,26	2,04		
Emmenmatt	623.199/8	3,36	3,69	3,66	3,40	
Emmenmatt, Eischachen	623.199/2			3,25	3,13	
Emmenmatt, Längenbach	623.199/9	3,63	4,34	3,00		
Mungnau	624.200/7				2,16	
Emmenmatt, Emmenhof	623.200/2	2,99	4,09	2,41		
Mungnau, Mühle Steiner	623.200/8	3,08	3,47	2,35	2,57	1,08
Neumühle, Pumpwerk	623.201/1	2,99	3,32	1,98		
Lauperswil, Chalchmatt	623.202/8		4,06	2,05	2,39	
Lauperswil, Chalchmatt	622.202/16	2,74	3,17	1,95		
Ranflüh, Rauflimatte, Feuerschacht	622.203/7	2,50	3,98	2,15		
Ranflüh, Rauflimatte	622.203/6	3,04	4,32	2,15		
Rüderswil, Schnätzschache	621.204/17	1,59	2,52	1,49		
Rüderswil, Moos, Schifferli	620.204/5	1,97	2,89	1,71	2,47	2,99
Durchschnittliche Summe der Anstiege		2,67	3,59	2,30	2,75	

Die durchschnittliche Summe der Grundwasseranstiege aus allen wöchentlichen Messungen beträgt ca. 2,90 m, diejenige für das Jahr 1972 ca. 2,80 m.

Die Summen der Grundwasserspiegelanstiege zeigen ähnliche Tendenzen wie die Differenzen zwischen Hochstand und Tiefstand. Es ist dabei auffallend, dass bei Beobachtungspunkten mit tiefer liegendem Grundwasserspiegel als die benachbarte Emme im allgemeinen grössere Summenwerte auftreten als in den Beobachtungspunkten mit höher liegendem Grundwasserspiegel. So sind die Summen der Grundwasserspiegelanstiege bei Emmenmatt ca. 20 % grösser als im Gebiet der Mungnau und der Chalchmatt und in der Rauflimatte wiederum etwas grösser als in der Chalchmatt.

Die Beziehungen zwischen der Summe der Grundwasserspiegelanstiege aus den wöchentlichen Messungen und der Summe der Grundwasserspiegelanstiege aus den effektiven Grundwasserspiegelbewegungen werden im folgenden Kapitel gegeben.

### 3.6.3.3. Schreibpegel

In Tabelle I, 28 werden die Zeiten und Koten für die jährlichen Höchststände des Grundwasserspiegels ab 1969 für die Messstelle Rüderswil, Moos und ab 1971 für die Messstelle Mungnau, Mühle Steiner, aus den Schreibpegelaufzeichnungen wiedergegeben. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Kulminationspunkt der Zeit-Höhenfunktion des Grundwasserspiegels.

Tabelle I, 28

Höchststände des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen (vgl. Beilage I, 5)

Mungnau, Mühle Steiner		Rüderswil, Moos, Schifferli	
Datum, Zeit	Grundwasserspiegel m ü.M.	Datum, Zeit	Grundwasserspiegel m ü.M.
		27. 6.69 10.00	597.16
		20. 4.70 22.30	597.72
8. 6.71 20.00	635.20	12. 6.71 15.00	597.12
23.11.72 17.00	635.81	23.11.72 15.00	597.76
24. 6.73 16.00	635.85		

Aufgrund des praktisch gleichzeitigen Auftretens des Grundwasserhöchststandes am 23.11.1972, 15.00 Uhr in der Messstelle Rüderswil und um 17.00 Uhr in der Messstelle Mungnau darf angenommen werden, dass sich der Höchststand im gesamten Emmegrundwasserleiter am 23.11.1972 bis am Abend eingestellt hatte.

Der Vergleich des Höchststandes vom 23.11.1972 mit dem Hochstand aus wöchentlichen Messungen vom 24.11.1972 zeigt, dass letzterer in einer Rückgangsphase des Grundwasserspiegels liegt. Für die Messstelle Mungnau beträgt die Differenz - 29 cm und für Rüderswil -15 cm. Sie dürfte im ganzen Grundwasserleiter in der Grössenordnung von 10 - 30 cm liegen. Allerdings fehlen für emmenahe resp. emmeweite Messstellen sowie im Ilfistal und im Grüenetal Aufzeichnungen von Schreibpegeln für die Bestätigung dieser Annahme. Der starke Rückgang des Grundwasserspiegels innerhalb eines Tages ist auf seine grosse Abhängigkeit vom Stand des Emmewasserspiegels zurückzuführen.

Tabelle I, 29

Tiefststände des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen Mungnau und Rüderswil

Mungnau, Mühle Steiner		Rüderswil, Moos, Schifferli	
Datum	Grundwasserspiegel m ü.M.	Datum	Grundwasserspiegel m ü.M.
7.11.69	(634.20) <sup>1)</sup>	7.11.69	596.37
9. 1.70	(634.25) <sup>1)</sup>	16. 1.70	596.30
10. 3.71	634.09	6. 6.71	596.32
3. 2.72	634.11	21.10.72	596.03 <sup>2)</sup>
5. 3.73	634.14	30.11.73	596.34 <sup>3)</sup>

1) aus wöchentlichen Messungen

2) Grundwasserspiegel evt. durch Absenkung infolge des Pumpbetriebes der Wasserversorgung Vennersmühle (621.204/15) beeinflusst

3) ohne Berücksichtigung der Absenkung infolge des Grosspumpversuches der Wasserversorgung Vennersmühle

Auf die Zeitangabe des Beginns der Tiefststände wurde verzichtet, da die tiefsten Grundwasserstände in der Regel während mehreren Tagen mit Abweichungen von 1 - 2 cm auf dem gleichen Niveau bleiben. Der Vergleich der Tiefststände mit den aus wöchentlichen Messungen erhaltenen Tiefstständen zeigt deshalb praktisch keine Höhenunterschiede.

Der Höhenvergleich zwischen den wöchentlichen Messungen und den Schreibpegelaufzeichnungen lässt erkennen, dass die Höchststände nur mit Schreibpegeln sicher erfasst werden können. Die wöchentlichen Messungen erlauben infolge des raschen Anstieges resp. Rückganges des Grundwasserspiegels in der Regel nur die Erfassung eines Hochstandes, nicht aber des Höchststandes! Hingegen können die Tiefststände mit genügender Genauigkeit auch mit wöchentlichen Messungen erfasst werden.

Tabelle I, 30 gibt die Differenz zwischen Höchststand und Tiefststand den sog. Schwankungsbereich für die Jahre 1969 - 1973 der beiden Messstellen mit Schreibpegeln.

Tabelle I, 30

Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen (vgl. Beilage I, 5)

Beobachtungspunkt	1969	1970	1971	1972	1973
Mungnau, Mühle Steiner			1,11	1,70	1,71 m
Rüderswil-Moos, Schifferli	1,11	1,42	0,80	>1,40	m

Die Unterschiede zwischen den jährlichen Amplituden entstehen vorwiegend durch die unterschiedlichen Höchststände des Grundwasserspiegels innerhalb der einzelnen Jahre.

In Tabelle I, 31 werden der durchschnittliche und der mittlere Grundwasserstand sowie das entsprechende Zeitmittel der beiden Messstellen mit Schreibpegeln für das Jahr 1972 aufgeführt.

Infolge der erfassten Höchststände werden die Mittelwerte resp. der Durchschnitt etwas grösser als mit wöchentlich eingemessenen Grundwasserspiegeln. Die kleinen Abweichungen von einigen cm zeigen jedoch, dass wöchentliche Messungen relativ genaue Mittelwerte ergeben.

Tabelle I, 31

Mittelwerte des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen

Beobachtungspunkt	Grundwasserspiegel		
	Durchschnitt 1972 m ü.M.	Mittel 1972 m ü.M.	Zeitmittel 1972 m ü.M.
Mungnau, Mühle Steiner	634.375	634.96	634.37
Rüderswil-Moos, Schifferli	596.54	596.895	596.47

Zur Veranschaulichung der Grundwasserspiegelanstiege resp. Grundwasserspiegelrückgänge über eine längere Zeitperiode wurden in Beilage I, 5 die Dauerlinien der beiden Messstellen für das Jahr 1972 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der gesamte Anstieg in der Messstelle Mungnau ca. 5,30 m beträgt und in total 86 Tagen erfolgte. Der Anstieg in der Messstelle Rüderswil ist mit ca. 4,90 m etwas geringer und dauerte 106 Tage. Während in der Messstelle Mungnau 4/5 des gesamten Anstieges innerhalb von ca. 23 Tagen erreicht wurden, erfolgte dieser Anstieg in der Messstelle Rüderswil in ca. 37 Tagen. Der Grundwasserspiegel stieg somit für diese beiden Messstellen im Durchschnitt zwischen 5 - 10 cm/d. Ähnlich wie beim Emmewasserspiegel verläuft auch der Grundwasserspiegelrückgang langsamer. Er erfolgte für die Messstelle Mungnau in 280 Tagen und für die Messstelle Rüderswil in 260 Tagen.

Tabelle I, 32 zeigt die grössten Anstiegs- und Rückgangsgeschwindigkeiten des Grundwasserspiegels in den beiden Messstellen Mungnau und Rüderswil. Die Geschwindigkeiten in beiden Messstellen wurden innerhalb gleicher Zeitabschnitte berechnet.

Tabelle I, 32

Extreme Anstiegsgeschwindigkeiten (+) resp. Rückgangsgeschwindigkeiten (-) aus den Schreibpegelaufzeichnungen

Beobachtungspunkt	Datum, Zeit	Dauer h	Differenz cm	Geschwindigkeit cm/h
Mungnau, Mühle Steiner	8. 6. 71, 00.00	15	+65	+4,33
	22.11.72, 06.00	30	+94	+3,13
	13. 6. 71, 18.00	15	- 9	-0,60
	24.11.72, 00.00	30	-38	-1,27
Rüderswil, Moos, Schifferli	8. 6. 71, 00.00	15	+33	+2,20
	22.11.72, 06.00	30	+85	+2,83
	13. 6. 71, 18.00	15	- 6	-0,40
	24.11.72, 00.00	30	-23	-0,77

In Tabelle I, 33 werden die Summen der Grundwasserspiegelanstiege der Jahre 1969 - 1973 aus den Schreibpegelaufzeichnungen sowie aus den wöchentlichen Messungen aufgeführt und durch die Tagesmittel - gebildet aus den Schreibpegelaufzeichnungen - ergänzt. Zum Vergleich der berechneten Werte werden zudem die Verhältnisse zwischen einzelnen Summen angegeben.

Tabelle I, 33

Summen der Grundwasserspiegelanstiege (vgl. Beilage I, 5)

Jahr	Mungnau, Mühle Steiner					Rüderswil, Moos, Schifferli				
	Summe der Grundwasserspiegelanstiege in m			Verhältnisse		Summe der Grundwasserspiegelanstiege in m			Verhältnisse	
	S	T	W	T/S	W/S	S	T	W	T/S	W/S
1969			3,08			3,75		1,97		0,53
1970			3,47			5,22		2,89		0,55
1971	5,31	4,49	2,35	0,85	0,44	3,80	3,70	1,71	0,97	0,45
1972	5,31	4,43	2,57	0,83	0,48	4,91	4,69	2,47	0,96	0,50
1973	6,16					1,40 <sup>1)</sup>		1,59 <sup>2)</sup>		

<sup>1)</sup>(Sept.-Dez.) <sup>2)</sup>(Jan.-Aug.)

S aus Schreibpegel-Aufzeichnungen

T aus Tagesmitteln der Schreibpegel-Aufzeichnungen

W aus wöchentlichen Abstichmessungen

Die Verhältnisse zeigen, dass mit den Tagesmitteln ca. 90 % des gesamten Anstieges erfasst werden konnten. Bei den wöchentlichen Messungen sind es hingegen lediglich ca. 50 %. Aufgrund der guten Uebereinstimmung der Verhältniszahlen W/S beider Messstellen glauben wir an die Uebertragbarkeit dieser Verhältniszahlen auf benachbarte Messstellen. Für die Jahre 1969 - 1972 wurden daher die wöchentlichen Grundwasserspiegelanstiege der in Tabelle I, 27 aufgeführten Messstellen durch die entsprechenden Verhältniszahlen W/S dividiert und daraus die jährlichen Durchschnittswerte des totalen theoretischen Grundwasserspiegelanstieges berechnet (Tabelle I, 34). Für alle Beobachtungspunkte mit wöchentlichen Messungen beträgt der theoretische Durchschnittswert für 1969 - 1972 ca. 5,80 m (W/S 50 %), derjenige für das Jahr 1972 ca. 5,70 m (W/S 49 %). Für die einzelnen Messstellen sind die gemessenen wöchentlichen wie auch die berechneten totalen Grundwasserspiegelanstiege in Beilage I, 5 ersichtlich.

Tabelle I, 34

Durchschnittswert des totalen theoretischen Grundwasserspiegelanstieges

Jahr	1969	1970	1971	1972
Verhältnis W/S	0,53	0,55	0,45	0,49
Summe der Grundwasserspiegelanstiege in m	5,04	6,53	5,11	5,61

### 3.6.4. Beziehungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser

#### 3.6.4.1. Begriff der Infiltration und der Exfiltration

Im eingeschränkten Sinne verstehen wir hier unter Infiltration (I) das Versickern von Wasser aus Oberflächengewässern ins Grundwasser. Die Infiltration kann nur dort stattfinden, wo der Oberflächengewässerspiegel höher als der Grundwasserspiegel liegt, und das Gewässerbett durchlässig ist. Je nach den hydrologischen Verhältnissen können Gewässerspiegel und Grundwasserspiegel zusammenhängen oder voneinander getrennt bleiben.

Speist das Grundwasser die Oberflächengewässer, so spricht man von Exfiltration (X). Die Exfiltration erfordert ein Grundwasserspiegelgefälle resp. ein Druckgefälle zum Oberflächengewässer und ein durchlässiges Gewässerbett.

#### 3.6.4.2. Infiltration und Exfiltration im Emmetal-Grundwasserleiter

Die Untersuchung der Infiltration und Exfiltration im Emmetal-Grundwasserleiter basiert auf dem Längenprofil in Beilage I, 5 mit der mittleren Emmesohle, dem Wasserstand in der Emme sowie der Lage des Grundwasserspiegels in der Längsprofilaxe am 20.3.74. Die Längsprofilaxe entspricht ungefähr der Hauptströmungsrichtung des Grundwassers.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass bei Hochwasserabflüssen in der Emme praktisch auf der ganzen Flussstrecke der Emmewasserspiegel über dem Grundwasserspiegel liegt.

Zudem haben die Hochwasser in bezug auf das Flussbett eine reinigende Wirkung. Die während Niederwasserperioden stellenweise das Gewässerbett abdichtende "Haut" wird weggespült und eine Umlagerung der Geschiebe der Flusssohle findet teilweise bis in beachtliche Tiefen statt. Dieser Vorgang bewirkt, dass das Flussbett wieder durchlässiger wird. Damit ist während Hochwasserabflüssen überall eine Infiltration solange möglich, bis Grundwasser- und Emmewasserspiegel auf gleicher Höhe liegen. Mit dem Absinken des Emmewasserspiegels unter den durch die Hochwasserinfiltration angehobenen Grundwasserspiegel beginnt eine rückläufige Strömung des Grundwassers in die Emme, die Exfiltration, wodurch die Hochstände des Grundwassers relativ rasch wieder abgebaut werden (vgl. Ganglinien in Beilage I, 5).

Auch während Niederwasserperioden lassen sich innerhalb des untersuchten Emmegrundwasserstromes aus den Wasserspiegeldifferenzen eindeutig Exfiltrationsstrecken abgrenzen. Zudem kann die Exfiltration längs verschiedener Uferpartien als linienförmige teilweise auch punktförmige Grundwasseraustritte beobachtet werden.

Schwieriger ist die Beurteilung der Infiltrationsverhältnisse bei Niederwasserperioden. Wohl können eindeutig Emmeabschnitte ausgeschieden werden die höher liegen als der benachbarte Grundwasserspiegel, jedoch erlaubten die eingesetzten Untersuchungsmethoden nicht, Emmewasseraustritte ins Grundwasser in situ zu beobachten. Da jedoch bei lang andauernden Trockenperioden der Grund-

wasserspiegel bei einem bestimmten Tiefstand praktisch nicht mehr weiter absinkt (vg. Ganglinien, Tabelle I, 24), obwohl streckenweise eine sichtbare Exfiltration stattfindet, ist zu vermuten, dass auch während einer Niederwasserperiode Emmewasser in das Grundwasser infiltriert.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich auf tiefe bis mittlere Wasserspiegel der Emme und des Grundwassers, wie sie zeitmässig am häufigsten auftreten. Die entsprechenden Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken sind in der Karte Bilanzierungs-Grundlagen, Beilage I, 6, ersichtlich.

Im südlichen Teil des untersuchten Emmegrundwasserleiters, in der Brunnmatt, befindet sich der Grundwasserspiegel praktisch auf der Höhe der Emmesohle. Talabwärts liegt die Emmesohle bis zum Emmenmattwehr unterhalb der SBB-Brücke zunehmend höher als der Grundwasserspiegel. Auf der gesamten Strecke von Brunnmatt bis zum Emmenmattwehr überwiegt die Infiltration. Es ist anzunehmen, dass im Bereiche der Ilfismündung der Grundwasserspiegel vom Emmewasserspiegel getrennt ist.

Das Gebiet vom Emmenmattwehr bis ca. 200 m unterhalb Zollbrück ist als ausgesprochenes Exfiltrationsgebiet zu bezeichnen. Praktisch auf der ganzen Emmestrecke tritt Grundwasser aus. Die ergiebigste Exfiltration befindet sich wohl unmittelbar unterhalb Mungnau. Die Austrittsstellen sind in situ insbesondere auf der rechten Seite der Emme oberhalb des Wasserspiegels gut zu erkennen. Es ist jedoch anzunehmen, dass im ganzen Flussbett Grundwasser austritt. Der Grundwasserspiegel liegt in der Talmitte ca. 2 bis 2,50 m, an der rechten Grundwasserleiterbegrenzung sogar 3 m höher als die Emmesohle.

Zwischen Zollbrück und Ranflüh ergeben sich beachtliche Infiltrationsgefälle. Oberhalb der Wehre im Schachen von Rüderswil sind die Spiegeldifferenzen so gross, dass während des ganzen Jahres Infiltration stattfinden kann. Die effektiven Infiltrationsverhältnisse lassen sich jedoch infolge der spärlichen geologischen Grundlagen und der wenigen Grundwasserbeobachtungen in Emmenähe nicht nachweisen.

Von Ranflüh bis Ramsei folgen sich abwechselnd Infiltrationsstrecken oberhalb und Exfiltrationsstrecken unterhalb der Wehre.

Unmittelbar unterhalb der Grüene-Mündung besteht wiederum ein ausgesprochenes Exfiltrationsgebiet mit beachtlichen Grundwasserspiegelgefällen gegen die Emme hin. Die seitlichen Austritte des sauberen Grundwassers sind insbesondere bei getrübttem Emmeabfluss gut sichtbar.

Zusammenfassend kann für die untersuchte Strecke der Emme festgestellt werden, dass Grundwasserspiegel und Emmewasserspiegel in enger Beziehung zueinander stehen. Der Grundwasserspiegel wird auf der gesamten Breite des Grundwasserleiters massgebend von der Lage des Emmewasserspiegels beeinflusst!

Der Gefällsverlauf des Emmewasserspiegels ist durch die treppenartige Verbauung mit Wehren bestimmt. Die Differenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel bei

den Wehren beträgt 1 bis 2 m. Der Grundwasserspiegel reagiert auf diesen abrupten Gefällswechsel ausgeglichener. Der Emmewasserspiegel liegt auf der Wehroberseite ausgenommen im Exfiltrationsgebiet Mungnau höher als der Grundwasserspiegel in der Längenprofilaxe. Es entstehen Infiltrationsstrecken von ca. 100 - 200 m. Es ist anzunehmen, dass der Grundwasserspiegel infolge der zunehmenden Wasserspiegeldifferenz gegen die Wehre hin sich vom Emmewasserspiegel ablöst. Unterhalb der Wehre auf einer Strecke von 200 bis 400 m befindet sich der Grundwasserspiegel in der Talmitte ausgenommen im Infiltrationsgebiet zwischen Zollbrück und Ranflüh über dem Emmewasserspiegel. Die Grundwasserspiegelfläche weist ein Quergefälle gegen die Emme hin auf und deutet damit eine Exfiltration an. Die Grenzen der Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken zwischen den Wehren sind fließend je nach den Spiegelverhältnissen von Emme und Grundwasser. Gesamthaft betrachtet, ergeben sich im untersuchten Emmeabschnitt bei tiefen bis mittleren Wasserspiegelverhältnissen Exfiltrations- und Infiltrationsstrecken von je ca. 4,4 km.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die grösste Infiltration bei Hochwasserabflüssen der Emme auftritt. Die Bewegungen des Emmewasserspiegels führen unverzüglich auch zu Bewegungen des Grundwasserspiegels. Mit zunehmender Distanz von der Emme reagiert der Grundwasserspiegel mit Verzögerung. In den beiden Fig. I, 2 und I, 3 werden die vom Emmehochwasser (22./23.11.1972) bedingten Grundwasserspiegelbewegungen in den beiden Messstellen Mungnau, Mühle Steiner, und Rüderswil, Moos, mit den Wasserständen und der Abflussmenge der Emme in der Messstation Emmenmatt verglichen.

Der Grundwasserspiegel steigt mit einer Verzögerung von ca. 6 bis 12 Stunden nach dem Beginn des Emmespiegelanstieges an. Der Kulminationspunkt des Grundwasserspiegelverlaufes erscheint zwischen 11 bis 13 Stunden nach dem maximalen Wasserstand in der Emme. Der Anstieg des Grundwasserspiegels dauert 33 resp. 35 Stunden für 85 resp. 99 cm.

Die Infiltrationsmenge  $DQ_{10}$  infolge eines Hochwassers d.h. der hochwasserbedingte Zuwachs der Infiltration pro Zeiteinheit lässt sich mit Gleichung I, 3 berechnen unter der Voraussetzung, dass

- der gesamte Anstieg des Grundwasserspiegels auf die hochwasserbedingte Infiltration des Emmeabschnittes von der Länge  $l$  zurückzuführen ist,
- die Differenz der Durchflussmengen durch die Querschnitte des Grundwasserleiters oberhalb und unterhalb des Emmeabschnittes konstant bleibt,
- die mittlere Anstiegsgeschwindigkeit  $v_I$  des Grundwasserspiegels sich aus aufgezeichneten Ganglinien, wie sie in Fig. I, 2 angeführt wurden, berechnen lässt
- die Porosität des aufgefüllten Teils des Grundwasserleiters die sog. auffüllbare Porosität bekannt ist.

Fig. I, 2

Ganglinien während des Emmehochwassers vom 23.11.1972

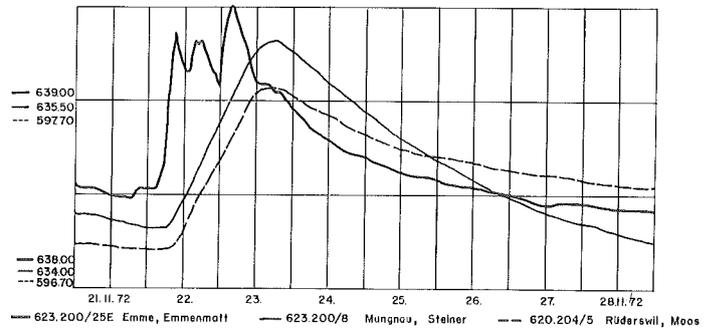
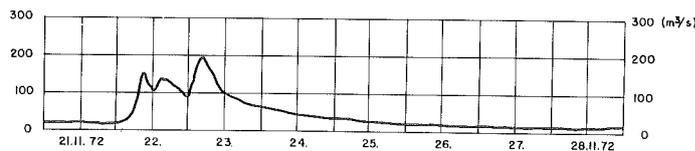


Fig. I, 3

Abflussmenge der Emme bei Emmenmatt (623.200/25E)



$$DQIO = vI \cdot L \cdot B \cdot p \quad (m^3/s) \quad (I. 3)$$

- $vI$  = Anstiegsgeschwindigkeit des Grundwasserspiegels
- $L \cdot B$  = Grundwasserspiegelfläche zwischen den beiden Querschnitten des Grundwasserleiters
- $L$  = mittlerer Abstand der beiden Querschnitte
- $B$  = mittlere Breite der Grundwasserspiegelfläche
- $p$  = auffüllbare Porosität
- $l$  = Länge des Emmebettes zwischen den beiden Querschnitten im Abstand  $L$

Die hochwasserbedingte spezifische Infiltrationsmenge  $DqIO$  pro Laufmeter Emmebett beträgt:

$$DqIO = \frac{vI \cdot L \cdot B \cdot p}{l} \quad (m^3/s \cdot m) \quad (I, 4)$$

Als Beispiel zeigt Tabelle I, 35 die berechneten spezifischen Infiltrationsmengen im Gebiet von Rüderswil, Moos, während vier Hochwasserabflüssen der

Emme. Die beiden gewählten Querschnitte des 650 m breiten Grundwasserleiters befinden sich beim Emme-km 27,75 (vgl. Beilage I, 5). Die Abstände  $L$  und  $l$  werden zu 1 m gewählt. Die auffüllbare Porosität wird mit der ermittelten nutzbaren Porosität von  $p = 17\%$  (vgl. Kap. 4.3.3.3.) gleichgesetzt. Die Datumangaben beziehen sich auf den Beginn des Wasserspiegelanstieges in der Messstation Emmenmatt. Die Grundwasserstände und die Anstiegsgeschwindigkeiten  $v_I$  werden aus den Aufzeichnungen des Schreibpegels Rüderswil, Moos, ermittelt und für die Grundwasserspiegelfläche im ganzen Abschnitt als konstant angenommen.

Die Grundwasserneubildung aus direkt versickertem Niederschlag ist gegenüber dem Zuwachs der Infiltrationsleistung mindestens während der Dauer eines Hochwassers unbedeutend und wird daher vernachlässigt.

Tabelle I, 35

Theoretischer Zuwachs der spezifischen Infiltrationsmenge beim Emme-km 27,75 bei Hochwasserabflüssen

Beginn des Hochwassers	Dauer des Anstieges	mittlere Abflussmenge der Emme	Grundwasserspiegel vor dem Hochwasser Rüderswil, Moos	Anstiegsgeschwindigkeit $v_I$	Zuwachs der Infiltrationsmenge $Dq_{10}$
Datum	h	$m^3 \cdot 10^3/h$	m ü.M.	cm/h	$m^3/h \cdot m$
21. 2.1970	39	96,8	596.95	1,36	1,50
6. 6.1971	28	235,8	596.33	2,20	2,43
16.11.1972	15	162,4	596.71	1,20	1,32
21.11.1972	34	211,7	596.91	2,83	3,13

Im Bezug auf unsere Annahmen bleiben einige Fragen offen. So kann mit unseren Untersuchungen u.a. nicht abgeklärt werden:

- ob das eingesetzte  $v_I$  des Schreibpegels Rüderswil dem mittleren Anstieg der Grundwasserspiegelfläche entspricht,
- ob die nutzbare Porosität mit der auffüllbaren Porosität gleichgesetzt werden kann.

Es ist demzufolge klar, dass es sich beim angegebenen Zuwachs der Infiltrationsmengen lediglich um eine Größenordnung handeln kann.

Analoge Berechnungen lassen sich für Exfiltrationsgebiete durchführen, wenn vorausgesetzt wird, dass der gesamte Anstieg des Grundwasserspiegels während eines Hochwassers auf die Verhinderung der Exfiltration infolge des hohen Fluss-Wasserspiegels zurückzuführen ist. Die berechneten Abnahmen der Exfiltrationsmengen bei Emme-km 33,75 in der Mungnau betragen für den 15 Stunden dauernden Hochwasseranstieg vom 16.11.1972  $1,8 m^3/h \cdot m$  und für den Anstieg von 30 Stunden am 23.11.1972  $3,5 m^3/h \cdot m$ .

Die Abschätzung der Exfiltrationsmenge kann auch auf Grund von Grosspumpversuchen erfolgen. Der Grosspumpversuch bei Zollbrück (vgl. Kap. 4.3.3.2.) lässt für die Exfiltrationsstrecke zwischen Emme-km 31,1 und 31,5 vom 24.4. bis 28.4.1974 bei einem tiefen bis mittleren Grundwasserspiegel auf eine Exfiltration von 0,6 - 0,8 m<sup>3</sup>/h·m schliessen.

In den Figuren I, 4 und I, 5 werden die Dauerlinien der Wasserspiegelanstiege und -rückgänge der Emme und des Grundwassers für das Jahr 1972 miteinander verglichen. Es zeigt sich daraus, dass die Anstiegsphasen ca. 2000 bis 2500 Stunden, die Rückgangsphasen ca. 6200 bis 6800 Stunden dauerten und für Emme und Grundwasser ungefähr identisch sind. Die relativ gute Uebereinstimmung der Anstiegs- und der Rückgangsdauer für Emme und Grundwasser bestätigen die enge Wechselbeziehung zwischen Emme und Grundwasser. Eine Spiegelbewegung in der Emme bewirkt eine Grundwasserspiegelveränderung im Durchschnitt von gleicher Dauer. Selbst kleine Emmespiegelschwankungen übertragen sich ins Grundwasser.

Fig. I, 4

Dauerlinien der Wasserspiegelanstiege im Jahre 1972

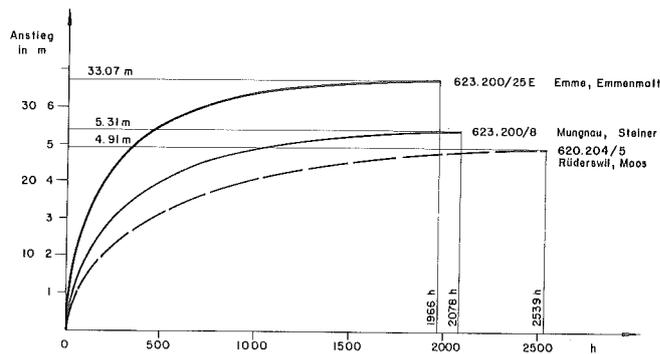
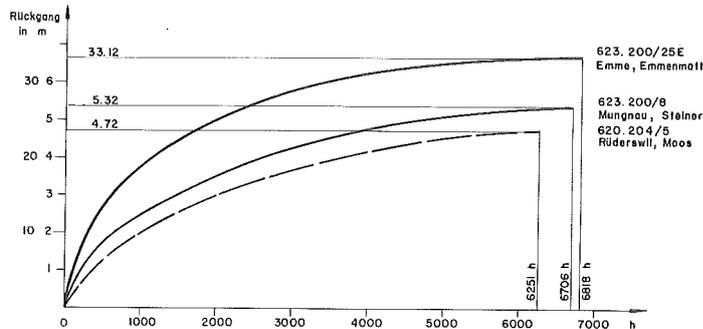


Fig. I, 5

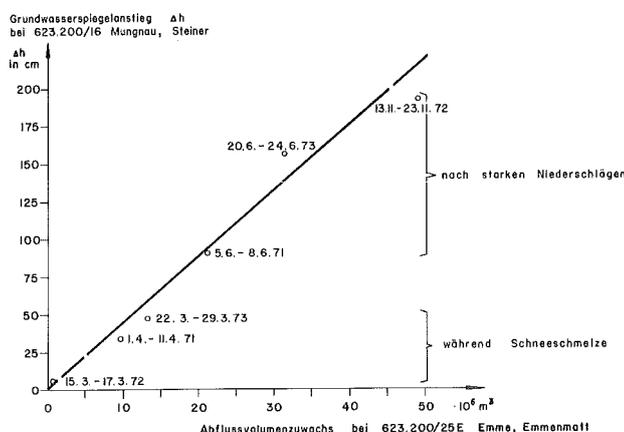
Dauerlinien der Wasserspiegelrückgänge im Jahre 1972



Eine interessante Beziehung ergibt sich aus dem Vergleich zwischen dem Grundwasserspiegelanstieg im Schreibpegel Mungnau, Steiner, und dem Zuwachs des Abflussvolumens der Emme bei Emmenmatt (vgl. Fig. I, 6). Der Zusammenhang zwischen Abflussvolumenzuwachs und Grundwasserspiegelanstieg kann ungefähr linear interpretiert werden, d.h. bei einem Abflussvolumenzuwachs in der Emme, Emmenmatt, infolge eines Hochwassers von einer Million  $m^3$  entsteht in der Messstelle Mungnau, Steiner, ein Grundwasseranstieg von ca. 3 bis 5 cm.

Fig. I, 6

Vergleich des Grundwasserspiegelanstieges mit der Zunahme des Abflussvolumens der Emme



### 3.6.4.3. Infiltration der Ilfis und der Grüene

Der Wasserspiegel der Ilfis im Eischachen und derjenige der Grüene bei Ramsei liegen im allgemeinen über dem Grundwasserspiegel in der Talmitte. Im Eischachen beträgt die Differenz zwischen Ilfis-Wasserspiegel und Grundwasserspiegel am 20.2.1974 in der Längenprofilaxe ca. 1 bis 3,5 m (vgl. Beilage I, 5), für die Grüene in Ramseimatten 2 bis 2,5 m. Wir nehmen an, dass ähnlich wie beim Emmebett die Gewässerbette der Ilfis und der Grüene streckenweise durchlässig sind und infolge der höheren Gewässerspiegel eine Infiltration zulassen. Für die mengenmässige Beurteilung der Infiltration liegen lediglich zwei Auswertungen für die Grüene oberhalb unseres Untersuchungsabschnittes vor (WEBER, 1975). Sie basieren auf Abflussmengenmessungen in der Grüene westlich von Wasen resp. nördlich von Grünenmatt und bei Ramsei. Der Infiltrationsüberschuss beträgt für die Strecke Wasen bis Ramsei ca.  $0,5 m^3/s$ , für die Strecke Grünenmatt bis Ramsei ca.  $0,25 m^3/s$ .

Auf eine Bestimmung der spezifischen Infiltrationsmengen der Ilfis und der Grüene muss infolge fehlender Unterlagen verzichtet werden. Sie dürften für Wasserspiegel zwischen Tiefstand und Mittelstand aber klein sein, sodass die Grundwasserspiegel nicht mit den Oberflächengewässern direkt zusammenhängen (vgl. Beilage I, 2). Hingegen ist anzunehmen, dass während Hochwasserabflüssen infolge einer verstärkten Infiltrationsleistung der Grundwasserspiegel insbesondere

auf den Wehrunterseiten an die Oberflächengewässer anschliesst.

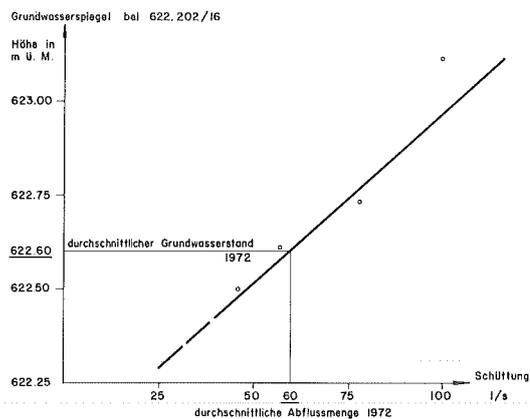
#### 3.6.4.4. Grundwasseraustritte im Talboden

Im Untersuchungsgebiet wurden die Grundwasseraustritte Tannschachen, Zollbrück, Fännersmüli, Rüderswil und am Fusse der Waldhausterrasse, Lützelflüh, gemessen. Im Tannschachen und in der Fännersmüli tritt das Wasser quellförmig aus dem Talboden und fliesst als Bach in die Emme. Am Fusse der Waldhausterrasse bei Lützelflüh entspringen unzählige kleine Quellen, die in den naheliegenden Bleichbach fliessen.

Zum Abschätzen der austretenden Wassermengen wurden neben den in Kap. 3.4.3.2. erwähnten Mengenumessungen auch die Grundwasserstände der umliegenden Beobachtungspunkte ermittelt. Die graphische Auswertung in Fig. I, 7 für den Grundwasseraustritt Tannschachen zeigt, dass das Verhältnis zwischen der Höhe des Grundwasserspiegels im benachbarten Beobachtungspunkt 622.202/16 und der Schüttung des Grundwasseraustrittes ungefähr proportional ist.

Fig. I, 7

#### Grundwasseraustritt Tannschachen



Es ist anzunehmen, dass in den Austrittsstellen Fännersmüli und beim Bleichbach ähnliche Beziehungen zwischen Grundwasserspiegelhöhe und Schüttung bestehen. Da jedoch für beide Austrittsstellen nur je zwei Messungen bei praktisch gleichem Grundwasserspiegel vorliegen, muss auf eine analoge Darstellung verzichtet werden. Für die Austritte am Fusse der Waldhausterrasse müssten zudem zur genaueren Abklärung der Schüttungsverhältnisse neben weiteren Mengenumessungen auch Grundwasserspiegelbeobachtungen unter der Waldhausterrasse durchgeführt werden.

Die Abflussmenge des Grundbaches, der durch den Austritt knapp südlich des Untersuchungsgebietes in der Brunnmatt und zu einem kleinen Anteil aus dem Austritt der Weichelmat gespeisen wird, wurde nicht gemessen.

### 3.6.4.5. Grundwasserspiegelgefälle

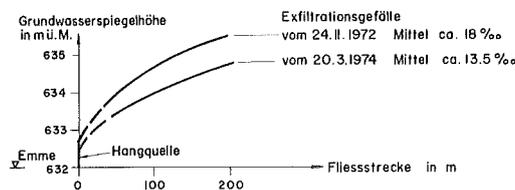
Im folgenden werden Hinweise gegeben über das Grundwasserspiegelgefälle, wie es aus den Beilagen I, 2 und 5 hervorgeht. Die Druckgefälle innerhalb der Unterwasserspiegelzone, welche vom Grundwasserspiegelgefälle abweichen können, wurden nicht untersucht.

Das Grundwasserspiegelgefälle wird durch die mengenmässig beachtlichen In- und Exfiltrationen sowie durch die sich vereinigenden Grundwasserströme der Emme, Ilfis und Grüene beeinflusst. Weiter wirken sich auch räumliche Ausdehnung und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters aus.

Die Spiegelgefälle beeinflusst von In- und Exfiltrationen erfassen einen mehr oder weniger grossen Bereich der Grundwasserspiegelfläche. Im Emmegrundwasserleiter treten die grössten Spiegelgefälle infolge Infiltration nach Hochwasserbeginn, die grössten Spiegelgefälle infolge Exfiltration unmittelbar nach Hochwasserrückgang auf. Als Beispiel zeigt Figur I, 8 den Grundwasserspiegel in Richtung der Exfiltrationsströmung bei zwei unterschiedlichen Grundwasserständen (24.11.1972 und 20.3.1974) im Gebiet Mungnau.

Fig. I, 8

Grundwasserspiegel in Richtung der Exfiltrationsströmung bei Emme-km 33,750



Eine analoge Darstellung des Grundwasserspiegels für Infiltrationsverhältnisse während des Hochwasserabflusses vom 23.11.1972 befindet sich in den 4 Querprofilen der Emme in Beilage I, 5. Der Verlauf des Grundwasserspiegels musste dort allerdings geschätzt werden. Einerseits fehlen Beobachtungspunkte und Schreibpegel in der unmittelbaren Nähe der Emme, um den raschen Wechsel der Gefällsverhältnisse bei Infiltration erfassen zu können, andererseits ist der Filterwiderstand des Gewässerbettes unbekannt. Das vermutete mittlere Infiltrationsgefälle vom 23.11.1972 im Bereiche des Schachens bei Rüderswil (Emme km 30,0) beträgt für eine Infiltrationsstrecke von 60 m ca. 10 bis 20 o/oo.

In Tabelle I, 36 werden die Grundwasserspiegelgefälle vom 20.3.1974 in der Längenprofilaxe und zum Vergleich die Gefälle über die Wehrkronen des Längenprofils der Emme (ASF, 1962/1969) angegeben. Die Gefälle über die Wehrkronen stimmen ungefähr mit denjenigen von Wehrunterseite zu Wehrunterseite überein. Das mittlere Gefälle des Grundwasserspiegels beträgt zwischen Emmenmatt und Ramsei 7 o/oo und entspricht im allgemeinen dem mittleren Gefälle des Talbodens. Im untersuchten Abschnitt des Ilfistales erreicht es 9 o/oo, während sich im Grünenetal bei Ramsei 7 o/oo ergeben.

Tabelle I, 36

Grundwasserspiegelgefälle in der Längenprofilaxe und Gefälle über die Wehrkronen des Emmebettes

Ort	Emmenmatt	Mungnau	Zollbrück	Ranflüh	Ramsei				
Emme-km	35.09-34.24	33.50-32.49	31.50-30.27	29.47-28.30	26.99-25.69				
Grundwasser- spiegelge- fälle o/oo	6,9	9,7	7,1	6,0	8,4	5,4	6,0	5,9	6,0
Gefälle über die Wehrkronen o/oo	7,5	11,2	6,6	5,8	5,6	8,0	5,6	6,7	5,4

### 3.6.5. Unterirdische randliche Zuflüsse

Es ist anzunehmen, dass in unserem Untersuchungsgebiet auf der gesamten Länge der seitlichen Grundwasserleiterbegrenzungen, insbesondere nach heftigen Niederschlägen, eine Infiltration unterirdischer randlicher Zuflüsse stattfindet. Bei der verteilten Infiltration an den Talrändern kann es sich jedoch nur um kleine Mengen in der Grössenordnung von einigen l/s handeln. Hingegen können konzentriert relativ grosse Mengen aus den Seitentälern des Längenbachgrabens, des unteren Frittenbachgrabens und der beiden Terrassen von Lauperswil und Ranflüh in den Grundwasserstrom des Haupttales sickern (vgl. Beilage I, 6). Das Vorhandensein dieser Zuflüsse bestätigt sich aus dem Verlauf der Grundwasserspiegelisohypsen (vgl. Beilage I, 2).

Die Grössenordnung der seitlichen Zuflüsse musste auf Grund der rein hydrologischen Betrachtungen von WEBER, 1974, für benachbarte Einzugsgebiete abgeschätzt werden.

Unter Berücksichtigung des Abflusskoeffizienten des Grünetales bis Ramsei beträgt der Oberflächenabfluss für die beiden hydrographischen Jahre 71/72 und 72/73 im Mittel 42 % d.h. ca. 40 % des Niederschlages.

Für die Bestimmung der zugehörigen Verdunstungsgrösse wurden die Abflusskoeffizienten des Rappengrabens verwendet. Der Rappengraben befindet sich im oberen Teil des Hornbaches (siehe km<sup>2</sup> 634.207). Mit seiner Bewaldung und der Neigung des Geländes ähnelt er den Seitentälern des Untersuchungsgebietes. Sein oberirdischer Abfluss betrug in den beiden hydrographischen Jahren 71/72 und 72/73 im Mittel ca. 60 % des Niederschlages. Ein unterirdischer Abfluss ist nicht möglich. Unter der Annahme, dass Aufbrauch und Rücklage gleich gross waren, ergibt sich die Verdunstung zu ca. 40 % des Niederschlages.

Bei 40 % Oberflächenwasserabfluss und 40 % Verdunstung kann somit die randliche unterirdische Zuflussmenge in den Grundwasserleiter des Haupttales zu ungefähr 20 % des Niederschlages angenommen werden (vgl. Kap. 5.4.3.2.).

#### 4. GRUNDWASSERHYDRAULIK

A. Werner, dipl. Ing. ETH; Mitarbeiter: P. Hufschmid, F. Muchenberger

##### 4.1. Definitionen und Begriffe

###### 4.1.1. Hydrologische Kennziffern HK

Als Hydrologische Kennziffern (abgekürzt HK) bezeichnen wir die Zahlenwerte, welche hydrologische Eigenschaften und Geometrie eines Grundwasserleiters beschreiben. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, alle HK zu definieren. Eine Beschränkung auf die Definition des Durchlässigkeitsbeiwertes und der nutzbaren Porosität scheint uns zu genügen.

###### 4.1.2. Durchlässigkeitsbeiwert k

Als Kennziffer für die Durchlässigkeit eines Grundwasserleiters dient der Durchlässigkeitsbeiwert k.

Der k-Wert gibt an, welche Grundwassermenge Q durch die Querschnittsfläche F des Grundwasserleiters strömt, wenn die Strömungsrichtung der Flüssigkeitsteilchen senkrecht zu dieser Fläche steht und das Druckgefälle i gleich 1 ist.

$$k = \frac{Q}{F \cdot i} \quad (I, 4)$$

Ueber die ausserordentliche Bedeutung und Wichtigkeit des k-Wertes gibt die Fachliteratur (z.B. BUSCH/LUCKNER, 1972, KEZDI, 1969, LANG, 1974, TRUEB, 1962/63 WERNER, 1965, 1974) umfangreiche Hinweise. So schreiben BUSCH & LUCKNER im wohl bedeutendsten Werk über Geohydraulik der letzten Jahre: "Der Parameter k ist der wichtigste Stoffkennwert der Geohydraulik. Der Ermittlung dieser Grundgrösse ist deshalb besondere Beachtung zu schenken...".

Die Durchlässigkeitsverhältnisse und damit die k-Werte sind innerhalb eines natürlichen Grundwasserleiters selten konstant. Sie können je nach der Beschaffenheit und der Inhomogenität des Grundwasserleiters örtlich bedeutend wechseln und sind unter anderem auch von der Strömungsrichtung des Grundwassers d.h. der Anisotropie des Grundwasserleiters abhängig. Ein umfassendes Bild über die Durchlässigkeitsverhältnisse kann daher nur mit einer Vielzahl von

spezifischen Durchlässigkeitsversuchen erreicht werden.

Je nach Versuchsmethode und -auswertung besteht die Möglichkeit, den mittleren  $k$ -Wert für einen kleineren oder grösseren Teil eines Grundwasserleiters zu erfassen. Zur Differenzierung der Versuchsergebnisse bezüglich der verschiedenen Versuchsmethoden werden drei Begriffe eingeführt:

<u>Punkt-<math>k</math>-Wert (<math>k</math>)</u>	für einen kleinen Bereich (Punkt) eines Grundwasserleiters
<u>Profil-<math>k</math>-Wert (<math>k_P</math>)</u>	für ein vertikales Profil eines Grundwasserleiters
<u>Gebiets-<math>k</math>-Wert (<math>k_G</math>)</u>	für einen grossen Komplex (ein Gebiet) eines Grundwasserleiters.

#### 4.1.3. Nutzbare Porosität $p$

Die nutzbare Porosität  $p$  (auch Speicherkoeffizient genannt) entspricht dem Quotient aus dem Wasservolumen, welches allein durch Einwirkung der Schwerkraft aus einem wassererfüllten Bodenkörper ausfliesst, und dem Volumen dieses Bodenkörpers.

Im Grundwasserleiter mit freiem Spiegel und ohne Zufluss ist  $p$  somit die Verhältniszahl aus der gravitär abgepumpten Wassermenge und dem Volumen des entsprechenden Absenktrichters. Die nutzbare Porosität  $p$  ist insbesondere für die Bestimmung der mittleren Sicker- und die Berechnung des Speichervermögens von Bedeutung.

#### 4.1.4. Klein- und Grosspumpversuche KPV, GPV

Pumpversuche können in Sondierbohrungen, speziellen Versuchsbrunnen, in bestehenden oder neuerstellten Grundwasserbrunnen, in Schächten usw. durchgeführt werden. Generell wird zwischen Kleinpumpversuch und Grosspumpversuch unterschieden.

Nach unserer Definition steht beim Kleinpumpversuch (abgekürzt KPV) für die Wasserspiegelbeobachtung nur die Pumpstelle zur Verfügung, während beim Grosspumpversuch (abgekürzt GPV) der Wasserspiegel an mehreren Messstellen eingemessen wird. Die Versuchsergebnisse eines KPV repräsentieren somit hydrologische Eigenschaften in der unmittelbaren Umgebung der Pumpstelle (z.B. Punkt- $k$ -Werte und Profil- $k$ -Werte). Ein GPV gibt umfassendere, auf das mit dem Messstellennetz erfasste Gebiet übertragbare Resultate (z.B.  $k_G$ , nutzbare Porosität).

#### 4.1.5. Markierversuche MV

Markierversuche (abgekürzt MV) werden zur Abklärung der unterirdischen Abflussverhältnisse, insbesondere zur Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeiten  $v_a$  des

Grundwassers, durchgeführt. Dazu wird an einer geeigneten Stelle, der sog. Impf-  
stelle, ein Markierstoff (z.B. Fluorescein) in den wassergesättigten Teil des  
Grundwasserleiters eingebracht. Die Impf-  
stelle muss im Entnahmbereich einer  
Grundwasseraustrittsstelle (z.B. Quelle oder Brunnen) liegen, bei der Grund-  
wasserproben zum Nachweis des Markierstoffes entnommen werden können.

Die Abstandsgeschwindigkeit  $v_a$  entspricht dem Quotient aus der Fließstrecke  
und der Zeitdifferenz zwischen der Impfung des Markierstoffes und dem Durch-  
gang einer bestimmten Markierstoffmenge in der Beobachtungsstelle (z.B. er-  
stes Auftreten des Markierstoffes; vgl. BEYER, W., 1964). Als Fließstrecke  
wird der Abstand längs der Stromlinie zwischen der Impf-  
stelle und der Probe-  
entnahmestelle eingesetzt.

## 4.2. Theoretische Grundlagen zur Auswertung der Pumpversuche

### 4.2.1. Allgemeines

Bis vor wenigen Jahren war es in der Schweiz noch üblich, Pumpversuchsauswer-  
tungen unter Beachtung der stationären Strömungsverhältnisse durchzuführen.  
Die Berechnungen basierten dabei auf den Theorien von DUPUIT/THIEM, 1863/70,  
in Spezialfällen auf der von KOERNER, 1957 und berücksichtigten neben verschie-  
denen Rand- und Feldbedingungen insbesondere die zeitlich unveränderlichen  
Strömungsverhältnisse, d.h. den sog. Beharrungszustand mit unveränderlicher  
Grundwasseroberfläche ( $\frac{ds}{dt} = 0$ ).

Heute werden - insbesondere bei GPV - grösstenteils die sog. instationären  
Strömungsverhältnisse ( $\frac{ds}{dt} \neq 0$ ) für die hydrologischen Berechnungen berücksich-  
tigt. Mit den entsprechenden Auswertverfahren lassen sich insbesondere die Durch-  
lässigkeitverhältnisse zuverlässiger bestimmen. Zudem können wichtige Daten,  
wie z.B. die nutzbare Porosität, die Infiltrationsmenge aus Oberflächengewäs-  
sern, die seitlichen Grundwasserleiterbegrenzungen u. dgl., erst mit den in-  
stationären Methoden erfasst werden.

Die Auswertungen unserer KPV basieren auf der Annahme stationärer Strömungs-  
verhältnisse. Die Berechnung der Profil-k-Wert berücksichtigt normalerweise  
die erweiterte Theorie von DUPUIT, in Spezialfällen die Theorie von KOERNER.  
Die Berechnung der Punkt-k-Werte beachtet die Theorie von KOERNER.

Die Auswertungen der GPV stützt sich durchwegs auf die erweiterte Theorie von  
THEIS, 1935 (s. BUSCH/LUCKNER 1972, HERTH/ARNDTS 1973, WIEDERHOLD 1961/65,  
WERNER 1974) über instationäre Strömungsverhältnisse.

### 4.2.2. Punkt-k-Wert (k)

Während des Abtiefens einer Bohrung kann in verschiedenen Tiefen jeweils am  
Fusse der Verrohrung eine sogenannte Vorbohrung von beschränkter Länge erstellt  
werden. Durch einen Kleinpumpversuch ist es möglich, die Durchlässigkeit des  
Grundwasserleiters im Bereich der Vorbohrung festzustellen.

Die Länge der Vorbohrung ist im allgemeinen klein. Der Geltungsbereich dieses k-Wertes beschränkt sich damit praktisch auf "einen Punkt" innerhalb des Grundwasserleiters.

Die Auswertung des punktförmigen k-Wertes erfolgt nach Gleichung I, 5.

$$k. = \frac{Q}{C \cdot DH} \quad \text{in m/s} \quad (I, 5)$$

Q = Entnahmemenge

DH = Tiefe des Absenktrichters (vgl. Fig. I, 10)

C = Strömungsbereichfaktor

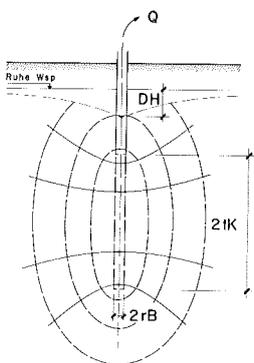
(CK = nach Körner

CD = nach Dupuit)

Für Strömungsvorgänge in einem homogenen und isotropen Grundwasserleiter kann der Strömungsbereich in Tiefen, in denen das Strömungsbild durch die freie Spiegelfläche unwesentlich verändert wird (vgl. Fig. I, 9), als ellipsoidförmig angenommen und der Strömungsbereichfaktor CK nach KOERNER, 1957, gemäss Gleichung I, 6 berechnet werden. Liegt die Vorbohrung zwischen zwei undurchlässigen Schichten oder in Schichten, deren Durchlässigkeit in horizontaler Richtung wesentlich grösser ist als die Durchlässigkeit in vertikaler Richtung (anisotroper Grundwasserleiter, vgl. Fig. I, 10), lässt sich k. unter Annahme eines zylinderförmigen Strömungsbereiches bestimmen. Der entsprechende Strömungsbereichfaktor CD berechnet sich mit den DUPUIT-Annahmen nach Gleichung I, 7.

Fig. I, 9

Bestimmung des Punkt-k-Wertes mit CK  
Ellipsoidförmiger Strömungsbereich, stationär

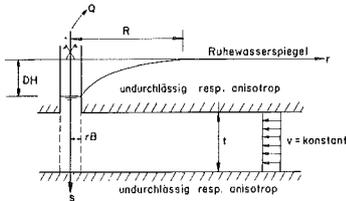


$$CK = \frac{4 \cdot \pi \cdot tK}{\ln \left[ \frac{tK}{rB} + \sqrt{1 + \left( \frac{tK}{rB} \right)^2} \right]} \quad (I, 6)$$

2 tK = Vorbohrtiefe

Fig. I, 10

Bestimmung des Punkt-k-Wertes mit CD  
 Zylinderförmiger Strömungsbereich, stationär



$$CD = \frac{2 \pi t}{\ln R/rB} \quad (I, 7)$$

Um den höhenmässigen Wechsel der Durchlässigkeit in einem vertikalen Streckenprofil des Grundwasserleiters erfassen zu können, müssen mehrere Punkt-Durchlässigkeitsversuche während des Bohrvortriebes durchgeführt werden. Die mittlere Durchlässigkeit über das ganze Profil lässt sich aus dem einfachen oder dem gewogenen arithmetischen Mittel der einzelnen Punkt-k-Werte bestimmen. Das gewogene arithmetische Mittel der sog. Punkt-Profil-k-Wert erhält man unter Berücksichtigung des geologischen Bohrprofils für die Gewichtbildung mit Gleichung I, 8.

$$k.P = \frac{1}{\frac{\sum m}{n}} \sum_{n} m \cdot k. \quad m/s \quad (I, 8)$$

n = Anzahl Schichtglieder

m = zugeordnete Schichtmächtigkeit

#### 4.2.3. Profil-k-Wert kP

Erstreckt sich der offene Bereich einer Bohrung oder die Filterzone über die ganze Mächtigkeit oder über einen grossen Teil des Grundwasserleiters, kann mit einem Kleinpumpversuch der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert für das bei der Versuchsstelle erfasste Profil bestimmt werden. Der entsprechende Durchlässigkeitsbeiwert wird von uns Profil-k-Wert oder abgekürzt kP genannt.



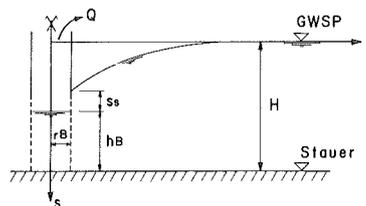
daher von uns Gebiets-k-Wert oder abgekürzt kG genannt.

Für eine einwandfreie Bestimmung des kG-Wertes müssen bei der Durchführung des Grosspumpversuches die instationären Strömungszustände d.h. die sogenannten raumzeitlichen Absenkungsverhältnisse erfasst werden. Die Auswertung des GPV erfolgt in Anlehnung an die Differentialgleichung von THEIS, 1935, (Vgl. BUSCH/LUCKNER 1972) für instationäre, zentralsymmetrische Strömungsverhältnisse (vgl. Figur I, 12).

Fig. I, 12

Theoretische Grundlage zur Auswertung von Grosspumpversuchen

Zentralsymmetrischer Strömungsbereich, instationär



Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{p}{kG \cdot H} \cdot \frac{\partial s}{\partial t} \quad (I, 13)$$

exakte Lösung

$$s(r,t) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot kG \cdot H} \cdot W(u) \quad (I, 14)$$

$$u = \frac{r^2 p}{4 \cdot t \cdot kG \cdot H} \quad (I, 15)$$

$$W(u) = \ln\left(\frac{1}{\gamma \cdot u}\right) - \sum_{n=1}^{\infty} (-u)^n \cdot \frac{1}{n \cdot n!} \quad (I, 16)$$

näherungsweise

$$s(r,t) \approx \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot kG \cdot H} \cdot \ln\left(\frac{2.25 \cdot kG \cdot H \cdot t}{r^2 \cdot p}\right) \quad (I, 17)$$

- p = nutzbare Porosität
- kG = Gebiets- k- Wert
- W = Brunnenfunktion
- γ = 1.781 Eulerkonstante

Gleichung I, 17 lässt sich durch die Einführung des dekadischen Logarithmus (Vereinfachung für graphische Auswertungen) und die Trennung der beiden Variablen r und t umschreiben.

$$s(r,t) = S(t) - \alpha \cdot \lg r \quad (I, 18)$$

$S(t)$  = Absenkung bei  $r=1$

$$\alpha = \frac{0.366 \cdot Q}{kG \cdot H} \quad (I, 19)$$

$\alpha$  = räumliches Steigungsmass (m)

Für einen bestimmten Zeitpunkt ( $t=\text{konst.}$ ) stellt Gleichung I, 18 im halblogarithmischen Massstab eine Gerade dar. Aus den Pumpversuchsdaten kann diese Gerade und damit  $\alpha$  graphisch (Figur I, 13) oder analytisch bestimmt werden. Gleichung I, 20 ergibt dann eine Lösung für den  $kG$ -Wert.

Fig. I, 13

Räumliche Absenkung für die Zeit  $t$  nach Pumpbeginn

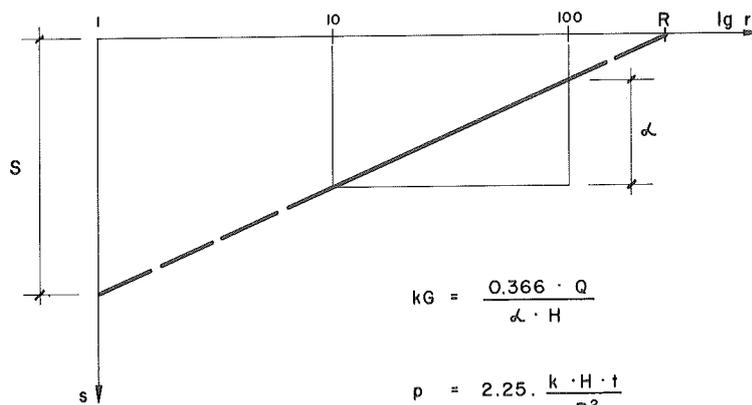
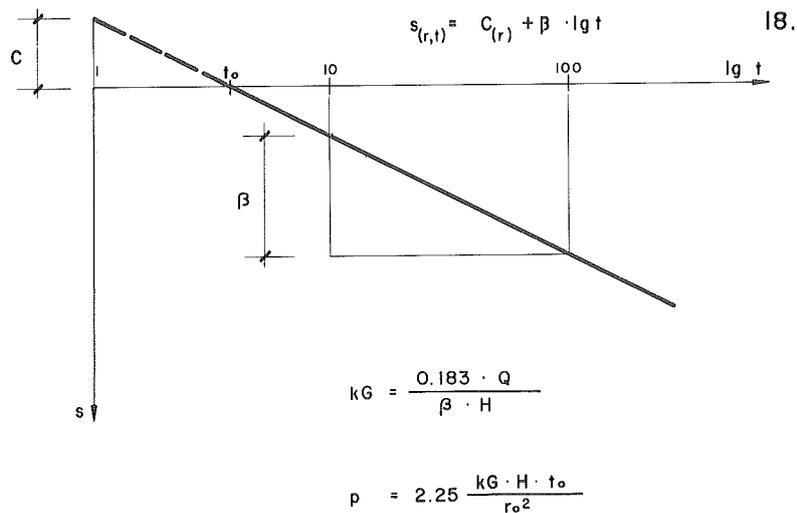


Fig. I, 14

Zeitliche Absenkung für eine Messstelle in der Brunnenentfernung  $r_0$



Gleichung I, 21 enthält auch die Beziehung für die Reichweite R, die definiert ist als Schnittpunkt der  $\alpha$ -Geraden mit dem Ruhewasserspiegel.  $s_{(R,t)} = 0$ .

$$R(t) = 1.5 \cdot \sqrt{\frac{kG \cdot H \cdot t}{p}} \quad (I, 24)$$

Betrachtet man Gleichung I, 17 für  $r = \text{konstant}$ , d.h. für eine Messstelle mit gegebener Brunnenentfernung  $r_0$ , so kann der zeitliche Absenkverlauf berechnet werden zu:

$$s(t) = C(r_0) + \beta \cdot \lg t \quad (I, 25)$$

$$\beta = \frac{0.183 \cdot Q}{kG \cdot H} = \frac{\alpha}{2} \quad (I, 26)$$

$\beta$  = zeitliches Steigungsmass (m)

Gleichung I, 25 stellt wiederum eine Geradengleichung (t im halblogarithmischen Massstab) dar, aus der mit den Pumpversuchsdaten z.B. die Durchlässigkeit kG bestimmt werden kann (Figur I, 14, Gleichung I, 22).

Die zeitlichen Grundwasserspiegeländerungen des Wiederanstieges am Ende eines Pumpversuches ergeben ebenfalls die Möglichkeit, den kG-Wert unter Verwendung der sog.  $\mathcal{W}$ -Werte zu bestimmen.

#### 4.2.5. Nutzbare Porosität

Mit den Gleichungen I, 21/23 lässt sich aus den Grosspumpversuchsdaten die nutzbare Porosität p bestimmen.

Die Gleichungen zeigen, dass vor allem R und auch  $t_0$  für die p-Auswertungen sehr genau bekannt sein müssen. Den p-Auswertung nach obigen Formeln sind daher Berechnungsverfahren unter Beachtung der zeitlichen Veränderung von R und einer detaillierten Grundwasserleiterbegrenzung überlegen. Diese Berechnungen sind normalerweise sehr aufwendig, können aber grösstenteils mit dem Computer erfolgen.

#### 4.2.6. Superposition instationärer Strömungsverhältnisse

Die Voraussetzungen für die angeführten theoretischen Lösungen sind in Natur oft nicht gegeben. Die zeitliche und örtliche Superposition gibt aber die Möglichkeit, auch kompliziertere Verhältnisse zu erfassen. Dies ist durchführbar für:

- Mehrbrunnenanlagen;
- veränderliche Entnahmemengen;
- undurchlässige Berandungen von Grundwasserleitern, d.h. von Grundwasserleitern mit begrenzter Oberflächenausdehnung;
- Linien mit konstanter Grundwasseroberfläche;
- Anreicherungsbrunnen;
- geneigte Grundwasseroberflächen;
- geneigte Grundwasserstauer usw.

#### 4.3. Durchgeführte Untersuchungen

##### 4.3.1. Uebersicht

In den folgenden Kapiteln sollen die Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeitsverhältnisse, der nutzbaren Porositäten, der mittleren theoretischen Sicker-  
geschwindigkeiten und der Abstandsgeschwindigkeiten im Untersuchungsraum und in angrenzenden Gebieten dargestellt werden.

Der Umfang dieser Versuche geht aus Tabelle I, 37 hervor. Die verschiedenen Versuchsmethoden und die Resultate werden in den anschliessenden Kapiteln besprochen.

Tabelle I, 37

## Uebersicht über die hydrologischen Versuche

Untersuchungszweck	Versuchsort	Versuchsmethode (Arbeitsumfang)	Resultate
Versuche vor 1968	Vertikalbrunnen von - Langnau, Nidermoos - Langnau, Tuchfabrik - Zollbrück, Neumühle	PV (A) MV (R) PV (A) PV (A)	kP va kP kP
Siedlungswasserwirtschaftliche Planung Emmental	6 Rotationskernbohrungen  Vertikalfilterbrunnen von - Signau, Schachen - Langnau, ARA - Ramseil, Obstweingenossenschaft	KPV (D+A) KPV (D+A)  KPV (D+A) KPV (D+A) KPV (D+A)	48 k. 6 kP  kP kP kP
Siedlungswasserwirtschaftliche Planung Emmental und Schutzzonenabklärung Rüderswil, Fännersmüli	2 Rotationskernbohrungen im Rüderswilfeld	KPV (D+A) KPV (D+A)	4 k. 2 kP
Schutzzonenabklärungen	öffentliche Grundwasserfassung bei - Trubschachen Hasenlehmatte - Rüderswil, Fännersmüli - Lützelflüh, Farbschachen	GPV (R) MV (R) GPV (A+R) GPV (R)	kG, va kP, kG, p, vs kP, kG, p, vs
Baugrubentwässerung	Schulhaus Zollbrück, Chalchmatt	GPV (D+A)	kG, p
Kiesgrube	Schwiter, Rüderswil, Rumpel/Moos	MV (R)	va

D = Durchführung; A = Auswertung; R = Uebernahme der Resultate

## 4.3.2. Kleinpumpversuche

## 4.3.2.1. Kleinpumpversuche in den Rotationskernbohrungen

## Punkt-k-Werte

Es war geplant, mit einer Folge von Kleinpumpversuchen während des Abtiefens der Rotationskernbohrungen den höhenmässigen Wechsel der Durchlässigkeit innerhalb des Grundwasserleiters zu erfassen. Die Durchführung dieser KPV wurde den Bohrunternehmungen übertragen.

Bei der Versuchsdurchführung ergaben sich anfänglich infolge des Bohrsystems, der teilweise äusserst kleinen Wasserspiegelabsenkung und des mangelnden Verständnisses beim Bohrpersoneal verschiedentlich Schwierigkeiten. Zur Verbesserung der Versuchsgenauigkeit wurden in der Folge die Versuche mit zwei unterschiedlichen Pumpmengen und unter Beachtung des Ruhewasserspiegels vor und nach dem Pumpbetrieb durchgeführt. Dies führte zu grösseren Versuchskosten, was eine Reduktion der KPV während des Bohrbetriebes notwendig machte.

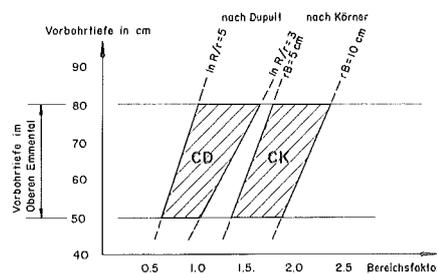
Die Auswertung der Punkt-k-Werte erfolgte nach der in Kapitel 4.2.2. beschriebenen Theorie von KOERNER für ellipsoidförmige Strömungsbereiche. Auf eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse wird hier verzichtet. Die Punkt-k-Werte sind jedoch aus den Bohrprofilen in Beilage I, 3 ersichtlich.

Die Bohrprofile zeigen deutlich, dass der Untergrund inhomogen und anisotrop ist. Die Annahme eines ellipsoidförmigen Strömungsbereiches muss somit als zu optimal betrachtet werden, sodass die berechneten Punkt-k-Werte im allgemeinen eher zu klein sind.

Der Vergleich der Strömungsbereichsfaktoren CK und CD ergibt die Möglichkeit, den Bereich der effektiven Punkt-k-Werte abzuschätzen. In Figur I, 15 werden CK und CD für unsere Versuchsabmessungen miteinander verglichen. Dabei zeigt sich, dass die Annahme eines zylinderförmigen Strömungsbereiches 1,1 bis 3,0 mal grössere Punkt-k-Werte ergeben würden als der berücksichtigte ellipsoidförmige. Die tatsächlichen Punkt-k-Werte können somit 3 mal grösser jedoch nicht kleiner sein als unsere berechneten Werte.

Fig. I, 15

Vergleich der Strömungsbereichsfaktoren CD und CK



Der Vergleich zwischen der angenommenen zylinderförmigen Vorbohrung und dem kugelförmigen Vorbohrbereich, welcher bei nichtbindigem Material infolge Einstürzen möglich ist, zeigt ebenfalls, dass unsere Punkt-k-Werte 2 bis 3 mal zu klein sein können.

Die mit Annahmen nach KOERNER berechneten Punkt-k-Werte stellen somit Minimalwerte dar.

#### Profil-k-Werte

Die Durchführung der Profil-Durchlässigkeitsversuche erfolgte unter unserer Leitung. Die Genauigkeit der entsprechenden KPV wurde soweit möglich durch Doppelversuche überprüft.

Tabelle I, 38 enthält die wichtigsten Feldbeobachtungen sowie die zugehörigen Versuchsergebnisse. Die Auswertung wurde unter Berücksichtigung der Reibungsverluste infolge der Vertikalströmung im Filterrohr für eine Pumpenlage nahe

dem Ruhespiegel durchgeführt. Ein Vergleich der KP-Werte von Doppelversuchen zeigt, dass die getroffenen Annahmen zur Berechnung des Reibungsverlustes jedoch nur bedingt zutreffen können, entstehen doch ungeachtet der gewählten Korrekturrechnung teilweise grössere Abweichungen zwischen den gemittelten und den Einzelwerten. Diese Abweichungen deuten vor allem auf die Inhomogenität des Untergrundes hin; so kann beispielsweise bei tiefliegenden sehr durchlässigen Schichten und hoher Pumpenlage ein wesentlich grösserer Reibungsverlust resultieren als derjenige, welcher mit unserer vereinfachenden Annahme für homogene Untergrundverhältnisse berechnet worden ist.

Die Berücksichtigung des effektiven Reibungsverlustes führt zu einem Rechenaufwand, der mittels Handrechnung wirtschaftlich nicht mehr zu bewältigen ist. Zudem fehlen in einzelnen Profilen die für die genaue Berechnung notwendige Anzahl Punkt-k-Werte, sodass auf eine verfeinerte kP-Berechnung verzichtet werden musste.

Tabelle I, 38

Kleinpumpversuche in Rotationskernbohrungen

Ort	WEA-Bezeichnung	Datum des Versuchsbeginns	Berücksichtigte Grundwasser-mächtigkeit z.Z. des Versuchsbeginns H in m	Entnahme-	Wasserspiegela-bsenkung in der Boh-rung	Profil-	Gemittelter Profil-k-Wert kP in $10^{-3}$ m/s
				menge QV in l/min		k-Wert kP in $10^{-3}$ m/s	
Emmenmatt, Weichel matt	624.199/28	31. 1.1972	41,0	212 447	0,040 0,092	2,7 5,1	3,9
Zollbrück, Neumühle	623.201/21	6.12.1971	28,7	131 301	0,044 0,097	1,4 2,1	1,75
Lauperswil, Freudenhof	623.201/41	26. 6.1974	41,1	92 147	0,012 0,020	1,9 2,1	2,0
Ranflüh, Bahnwärterhaus	622.203/15	23.12.1971	45,3	136 229	0,028 0,031	1,4 4,25	2,8
Rüderswil, Jäggu	621.204/25	8. 8.1973	2,0	34	0,115	1,9	
Rüderswil, Siten	620.204/13	8. 8.1973	6,0	73	0,120	1,2	
Lützel flüh, Farbschachen (Süd)	619.205/23	11.11.1971	45,2	176 229	0,040 0,050	2,25 1,85	2,0
Lützel flüh, Farbschachen (Nord)	619.205/22	26.10.1971	30,0	156 240	0,055 0,105	1,25 1,25	1,25

#### 4.3.2.2. Kleinpumpversuche in bestehenden Grundwasserfassungen

Die Kleinpumpversuche in bestehenden Vertikalfilterbrunnen sind durchwegs mit den Installationen der betreffenden Anlagen und unter Mithilfe der Eigentümer oder ihrer Vertreter durchgeführt worden. Diese Unterstützung unserer Untersuchungen wird hier bestens verdankt.

Die Auswertung der Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_P$  erfolgte nach der Theorie von DUPUIT/THIEM teilweise nach der Theorie von KOERNER (vgl. Kap. 4.2.2.). Die Resultate der einzelnen KPV gehen aus der Tabelle I, 39 hervor. Sie wurden ergänzt durch Auswertungen mit Angaben aus Pumpversuchen, die vor 1968 im Zusammenhang mit dem Bau der Brunnen durchgeführt worden sind. Bei den Vertikalbrunnen handelt es sich mit Ausnahme des Pumpwerkes Langnau, Nidermoos, um unvollkommene Brunnen, d.h. um Brunnen deren Eintauchtiefe kleiner ist als die Grundwassermächtigkeit. Die hydraulisch massgebende Mächtigkeit wurde bei der Berechnung nach DUPUIT in Abhängigkeit der Filterstrecke und des Verhältnisses zwischen Eintauchtiefe und Grundwassermächtigkeit bestimmt. Die Zusammenstellung der  $k_P$ -Werte zeigt, dass für die einzelnen Brunnen die  $k$ -Werte mit zunehmender Entnahmemenge teilweise grösser werden. Dies kann einerseits auf die veränderten Reibungsverluste im Filterrohr bei tiefer Pumpenlage und andererseits auf eine Veränderung der massgebenden Mächtigkeit bei der Steigerung der Entnahmemenge zurückgeführt werden. Eine eindeutige Erklärung lässt sich jedoch aufgrund der vorliegenden Untersuchungen nicht geben.

Die Versuchsorte sind in Beilage I, 6, Bilanzierungs-Grundlagen, eingezeichnet und jeweils mit den wichtigsten Angaben und dem  $k_P$ -Wert des entsprechenden Versuches ergänzt.

Tabelle I, 39

#### Kleinpumpversuche in Vertikalfilterbrunnen

Ort	WEA-Bezeichnung	Datum des Versuchsbeginns	Eintauchtiefe des Brunnenfilters z. Z. des Versuchsbeginns LV in m	Entnahmemenge QV in l/min	Wasserspiegelsenkung im Brunnen DH in m	Profil-k-Wert	
						kP in $10^{-3}m/s$	Gemittelter Profil-k-Wert kP in $10^{-3}m/s$
Trubschachen, Hasenlehmatte	630.196/20	28. 2.1972	8,7	645	0,21	3,75	3,7
				1225	0,52	3,55	
				1235	0,48	3,85	
Langnau, Nidermoos	627.198/1	14. 7.1953	16,7	500	0,19	2,05	2,1
				1090	0,50	2,05	
				1430	0,75	2,0	
				2010	0,90	2,35	
Langnau, Tuchfabrik	624.199/5	8. 3.1948	9,7	1650	1,07	1,9	2,3
				2000	1,14	2,25	
				2800	1,35	2,75	
Langnau, ARA	624.199/13	5. 7.1971	2,1	144 289	0,07 0,14	6,2 6,2	6,2
Signau, Schachen	623.197/4	5. 7.1971	18,5	1500 1700	0,19 0,224	4,0 4,2	4,1
Zollbrück, Neumühle	623.201/1	13. 5.1969	13,0	2000	0,80	2,7	
Rüderswil, Fännersmüll	621.204/32	24.10.1973	28,2	3750	0,68	2,6	
Ramsei, Obstweingensenschaft	620.205/6	26. 6.1970	10,7	850	0,19	4,85	
Lützelflüh, Farbschachen	619.205/1	18. 5.1973	7,7	850	0,24	4,35	

### 4.3.3. Grosspumpversuche

Grosspumpversuche geben bei richtiger Durchführung und Auswertung die besten Grundlagen zur Bestimmung der HK. Sie sind jedoch sehr kostspielig. Eine wirtschaftlich günstige Lösung bildet die Kombination der GPV für Schutzzonenabklärungen, Baugrubenentwässerungen usw. mit den Belangen der Siedlungswasserwirtschaftlichen Planung.

Im Untersuchungsgebiet konnte auf die Durchführung eigener GPV kostensparend verzichtet werden. Dies war möglich geworden, infolge der durch das WEA subventionierten umfangreichen hydrologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit den Schutzzonenabklärungen der öffentlichen Wasserversorgungen Trubschachen, Vennersmühle, Rüderswil und Lützelflüh (WERNER, 1972/73/74), durch die Ueberwachung und Auswertung der Baugrubenentwässerung für das neue Schulhaus Zollbrück sowie durch zusätzliche Computerauswertungen des GPV der Wasserversorgung Vennersmühle. Die Standorte der Vertikalfilterbrunnen mit den GPV gehen - ausser für Trubschachen (Hasenlehmatte) - aus Beilage I, 6, Bilanzierungs-Grundlagen, hervor.

In den folgenden vier Kapiteln sind die wichtigsten Versuchsdaten und die Resultate der GPV zusammengestellt. In einem weiteren Kapitel werden anhand von Diagrammen die Ergebnisse der entsprechenden Computerauswertungen gezeigt und besprochen.

#### 4.3.3.1. GPV Trubschachen

Zweck : Schutzzonenabklärungen

Ort : Grundwasserfassung in der Hasenlehmatte der Wasserversorgung Trubschachen; WEA Nr. 630.196/20

Objekt : unvollkommener Vertikalfilterbrunnen

Bohrradius  $r_B = 1,25$  m

Eintauchtiefe des unvollkommenen Brunnens  $L_V = 8,7$  m;

berücksichtigte Mächtigkeit des Grundwasserleiters  $H_L = 9$  m;

Mächtigkeit des Grundwasserleiters  $H$  unbekannt.

Tabelle I, 40

Grosspumpversuch Trubschachen, Hasenlehmatte

Versuchsdauer	28.2. - 3.3.72	10. - 15.3.72	26.3. - 4.4.72
Pumpmenge QV (l/min)	1225	645	1235
Absenkeverhältnisse			
- DH (m)	0,53	0,21	0,48
- $\alpha$ (m)	0,14	0,06	0,12
- $\beta$ (m)	0,07	0,03	0,06
- $\gamma$ (m)	0,07		
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität			
- kG aus $\alpha$ m (m/s)	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$
- p geschätzt	$\sim 0,2$		

#### 4.3.3.2. GPV Zollbrück (WERNER 1976)

Zweck : Baugrubenentwässerung für das Schulhaus Zollbrück

Ort : Chalchmatt, WEA Nrn. 622.202/61 - 64 a

Objekt : 4 unvollkommene Vertikalfilterbrunnen  
 $r_B = 0,60$  m;  $LV = 6,0$  m;  $HL = 7,2$  m;  $H \sim 40$  m

Tabelle I, 41

Grosspumpversuch Zollbrück, Chalchmatt

Versuchsdauer	24.4. - 5.6.74
Totale Pumpmenge $\Sigma QV$ (l/min)	9100
Absenkeverhältnisse (Mittelwerte)	
- DH (m)	2
- $\alpha$ (m)	0,48
- $\beta$ (m)	0,1 - 0,4
- $\gamma$ (m)	0,15 - 0,4
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität <sup>1)</sup>	
- kG (m/s)	$9 - 11 \cdot 10^{-3}$
- p	0,14 - 0,18

<sup>1)</sup>aus Computerberechnung vgl. 4.3.3.5.

#### 4.3.3.3. GPV Rüderswil

Zweck : Schutzzonenabklärung

Ort : Grundwasserfassung im Fassungsgebiet Fännersmüli (Rüderswil) der Wasserversorgung Vennersmühle, Gemeindeverband, Lyssach.  
 WEA Nrn. 621.204/15 und 32

Objekt : Vollkommener Vertikalfilterbrunnen (alt; 15)  
 $r_b = 0,2 - 0,3$  m;  $LV = 32$  m;  $HL = 32$  m;  $H = 32$  m

Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen (neu; 32)  
 $r_b = 0,35$  m;  $LV = 28,2$  m;  $HL = 32,6$  m;  $H \sim 32,6$  m

Tabelle I, 42

Grosspumpversuch Rüderswil, Fännersmüli

Versuchsdauer	24.10. - 3.11.73 1. Phase	10.11. - 30.11.73 2. Phase
totale Pumpmenge ΣQV (l/min)	3750 (32)	7950 (15+32)
Absenkeverhältnisse		
- DH (m)	0,83	1,11 (32)
- α (m)	0,12	0,67 (15)
- β (m)	0,08	0,28
		0,14
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität		
- kG aus α (m/s)	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
- kG } 1) (m/s)	$7 - 8 \cdot 10^{-3}$	$5,8 - 6,5 \cdot 10^{-3}$
- p }		0,16-0,18

1) aus Computerberechnung vgl. 4.3.3.5.

#### 4.3.3.4. GPV Lützelflüh

Zweck : Schutzzonenabklärung

Ort : Grundwasserfassung im Farbschachen der Wasserversorgung Lützelflüh  
WEA Nr. 619.205/1

Objekt : Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen  
rB = 1 m; LV = 7,70 m; HL = 10 m; H ~ 44 m

Tabelle I, 43

Grosspumpversuch Lützelflüh, Farbschachen

Versuchsdauer	18.5. - 29.5.73
Pumpmenge QV (l/min)	850
Absenkeverhältnisse	
- DH (m)	0,24
- α (m)	0,06
- β (m)	0,05
- γ (m)	0,04
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität	
- kG aus α (m/s)	$6,5 \cdot 10^{-3}$
- p	~0,2

#### 4.3.3.5. Computerauswertung der GPV Zollbrück und Rüderswil

Die GPV Zollbrück und Rüderswil wurden, um zusätzliche umfassende Resultate zu gewinnen, speziell mit dem Computer ausgewertet. Unsere eingesetzten Computerprogramme verwenden die Theorien der instationären Strömung und berücksichtigen die Form des Grundwasserleiters, die natürlichen Feldbewegungen des Grundwasserspiegels usw. (vgl. Kap. 4.2.). Die Berechnung von  $kG$  und  $p$  basiert auf dem Vergleich der gemessenen und der theoretisch berechneten Grundwasserspiegellagen und Grundwasserspiegelbewegungen nach der Methode der kleinsten Summe der Fehlerquadrate

$$\Delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \text{ Min.}$$

$\Delta_i$  = Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Grundwasserspiegel der Messstelle ( $i$ )

$n$  = Anzahl der berücksichtigten Messstellen

$i$  = Summenindex

Für verschiedene Zeitschnitte (Zeit ab Pumpbeginn =  $t$ ) wurden  $kG$  und  $p$  berechnet und in den Figuren I, 16 bzw. 17 als Funktion der Zeit  $t$  dargestellt,  $kG \rightarrow kG(t)$ ;  $p \rightarrow p(t)$  und  $\Delta^2 \rightarrow \Delta^2(t)$ .

Wie die Figuren zeigen sind sowohl  $kG$  als auch  $p$  und  $\Delta^2$  mit der Zeit veränderlich. Diese Zeitabhängigkeit ist vorwiegend bedingt durch die zeitlich begrenzte Gültigkeit der theoretischen Auswertungsgrundlagen. So ergeben sich beispielsweise in den ersten Stunden eines Pumpversuches infolge der noch grossen Absenkgeschwindigkeit der Grundwasseroberfläche und des unvollständigen Entleerens des Absenktrichters zu kleine nutzbare Porositäten. Mit zunehmender Pumpdauer verfälschen dann die Zuflüsse in den Absenktrichter und Ungenauigkeiten in den Modellannahmen die Resultate. Nach unseren Erfahrungen lassen sich  $kG$  und  $p$  normalerweise innerhalb eines Bereiches von  $20 \leq t \leq 100$  Stunden am zutreffendsten bestimmen.

Die Werte für die mittleren Fehlerquadrate der Einzelmessungen  $\Delta^2$  erlauben Rückschlüsse auf die Inhomogenität der durch den Pumpversuch erfassten Bodenschichten und auf die Güte der verwendeten theoretischen Auswertungsgrundlagen.

Beim GPV Rüderswil ergeben sich mittlere Abweichungen zwischen der theoretischen und der gemessenen Grundwasserspiegelfläche von 2 - 5 cm, beim GPV Zollbrück solche von 6 - 22 cm. Diese Werte deuten für den GPV Rüderswil auf zutreffende Modellannahmen.  $kG$  und  $p$  aus diesem GPV ist deshalb besonders Gewicht zuzumessen. Für den GPV Zollbrück ergeben sich grössere  $\Delta^2$ . Dies ist vor allem auf den schwer zu berücksichtigenden Hochwassereinfluss kurz nach Versuchsbeginn zurückzuführen.

Fig. I, 16

Durchlässigkeit, Nutzbare Porosität, Fehlerquadrate  
 (Computerauswertung des Grosspumpversuches Rüderswil, Fännersmüli)

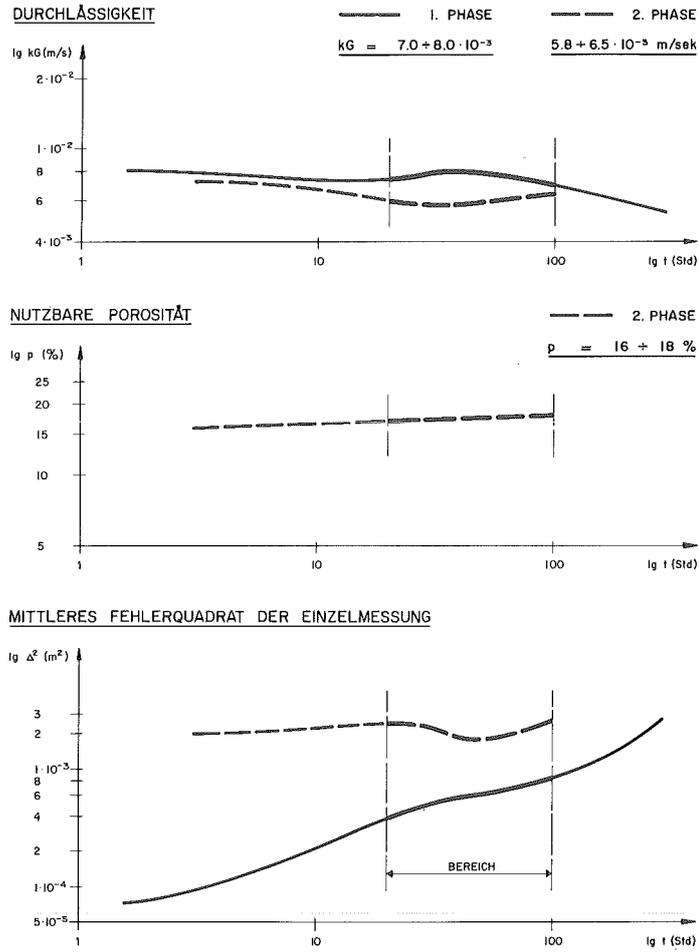
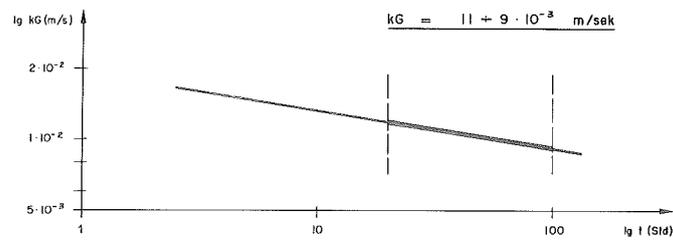


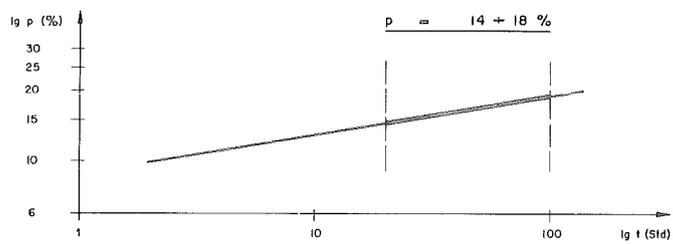
Fig. I, 17

Durchlässigkeit, Nutzbare Porosität, Fehlerquadrate  
 (Computerauswertung des Grosspumpversuches Zollbrück, Chalchmatt)

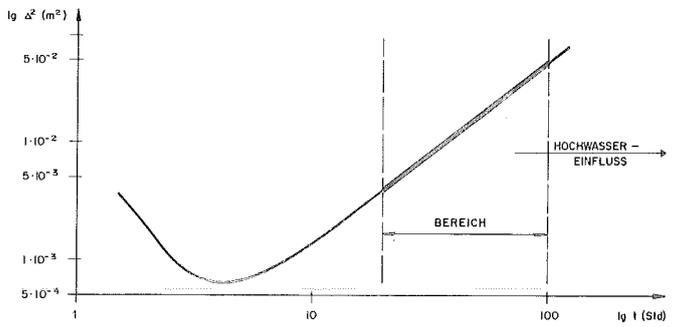
DURCHLÄSSIGKEIT



NUTZBARE POROSITÄT



MITTLERES FEHLERQUADRAT DER EINZELMESSUNG



#### 4.3.4. Markierversuche

##### 4.3.4.1. Uebersicht über die Markierversuche

Im Rahmen der Untersuchungen für die Siedlungswasserwirtschaftliche Planung wurde im Oberen Emmental nur ein kleiner Markierversuch während des Grosspumpversuches für die Schutzzonenabklärung in der Grundwasserfassung Trubschachen, Hasenlehmatte angeordnet. Auf weitere eigene Markierversuche wurde aus Kostengründen verzichtet.

Neben dem eigenen Markierversuch standen uns die Messwerte und/oder die Resultate von drei weiteren Markierversuchen zur Verfügung. Bereits im Jahre 1907 gab SCHARDT in seinem Gutachten über die Grundwasserquellen im Emmental bei Rüderswil und Zollbrück Ergebnisse über die Färbung der Emme bekannt.

Aus hydrologischen Untersuchungen bei Rüderswil, Rumpel/Moos, im Zusammenhang mit dem Projekt einer Kiesgrube und bei Langnau, Nidermoos, im Zusammenhang mit dem Bau des Schwimmbades (RUTSCH, 1963/68) konnten Messwerte oder Resultate von zwei weiteren Markierversuchen entnommen werden. Es wird hier verzichtet, diese beiden Markierversuche speziell zu beschreiben. Die Angabe der wichtigsten Daten, der Resultate und einiger eigener Interpretationen mögen genügen (vgl. 4.3.4.3.).

Tabelle I, 44 gibt eine Uebersicht über die angeführten Markierversuche. Die Markierungen, Probeentnahmen sowie der Nachweis der Markierstoffe in den Wasserproben erfolgten in Zusammenarbeit mit Fachleuten des Kantons-Chemikers, Bern oder wurden durch den Versuchsleiter und seine Mitarbeiter selbst ausgeführt.

Tabelle I, 44

Markierversuche

Ort	Datum	WEA-Bezeichnung	Markierstelle (Impfstelle)	Probenentnahmestelle	Markierstoff
Trubschachen, Hasenlehmatte <sup>1)</sup>	27. 3.72	630.196/18	Schlitz im trockenen Bachbett der Trub	Grundwasserfassung Trubschachen	S
		630.196/19	Schlitz beim Bahndamm	Grundwasserfassung Trubschachen	F
Langnau, Nidermoos <sup>1)</sup>	1. 4.68	627.198/26	Schlitz links der Ilfis	Piezometer	S
Rüderswil, Rumpel/Moos	27. 8.63	621.204/8	Bohrloch in Kiesgrube Schwitter	Kontrollbrunnstube der HW Vennersmühle	F
Rüderswil, Fännersmüli	3.12.06	621.205/32	Emme	Quellaustritt (heute versiegt)	F

<sup>1)</sup>Situation vgl. Dok. WEA

S = Sulforhodamin  
F = Fluorescein

#### 4.3.4.2. Markierversuch SCHARDT

Im Dezember 1906 färbte SCHARDT im Auftrag der Baudirektion des Kantons Bern die Emme unterhalb Schüpbach und die Ilfis oberhalb Langnau mit Fluorescein. Die Einfärbung erfolgte bei einem niederen Wasserstand. Es wurde darauf geachtet, dass der Farbstoff in der Ilfis und der Emme gleichzeitig beim Zusammenfluss der beiden Gewässer bei Emmenmatt eintraf.

Nach der Färbung wurden in 19 Grundwasseraustritten, (2 bei der Neumühle, 2 in der Hüslimatt, 2 unterhalb Lauperswil, 5 in der Chalchmatt, 1 im Tannsachen, 1 im Schachen, 6 im Moos und 1 in der Fännersmüli) periodisch Wasserproben entnommen. Bei allen emmenahen Austritten, ausgenommen der beiden unterhalb Lauperswil, konnten schon nach 1/2 Tagen erste Spuren von Fluorescein nachgewiesen werden. In den Grundwasseraustritten am Rande des Grundwasserleiters trat die Färbung nach 3 - 4 Tagen ein. Sie dauerte zwischen 11 - 13 Tage.

Wie die Nachweise von Farbspuren in den Grundwasseraustritten zeigen, wurde das Grundwasser über weite Strecken zwischen Mungnau und Fännersmüli durch Emmewasser gespiesen. Der Grundwasserspiegel dürfte nur wenig unter der Emme-sole gelegen sein. Leider lassen sich die Meereshöhen für die Messwerte des Grundwasserspiegels nicht genau eruieren. Deshalb ist es schwierig, die damaligen exakten Fließstrecken des Farbstoffes von der Emme ins Grundwasser zu bestimmen.

Unter der berechtigten Annahme, dass der Grundwasserspiegel zu jener Zeit mindestens den Höhen der Austrittsstellen entsprach, liegt die heutige Grundwasserspiegelhöhe zwischen 0,5 und 2 m tiefer (Tabelle I, 45). Diese Absenkung wurde durch die Abtiefung der Emme im beschriebenen Emmeabschnitt - insbesondere durch den Wehrbau in der Mungnau im Jahre 1917 und in der Fännersmüli im Jahre 1930 - verursacht. Das Gewässerbett der Emme dürfte zur Zeit des Markierversuches der mittleren Sohlenhöhe von 1900/01 (vgl. Beilage I, 5) noch entsprochen haben.

Für unsere folgenden Auswertungen sind die messtechnischen Angaben im Gutachten von SCHARDT lediglich für die Grundwasseraustritte in der Fännersmüli (620.205/19) genügend, sodass für die restlichen Austritte auf die weitere Behandlung und die Eintragungen in der Karte Hydrographie verzichtet werden musste.

Tabelle I, 45

Approximative Absenkung der Grundwasserspiegelfläche von 1906 bis 1974 bei den von SCHARDT, 1907, untersuchten Grundwasseraustritten

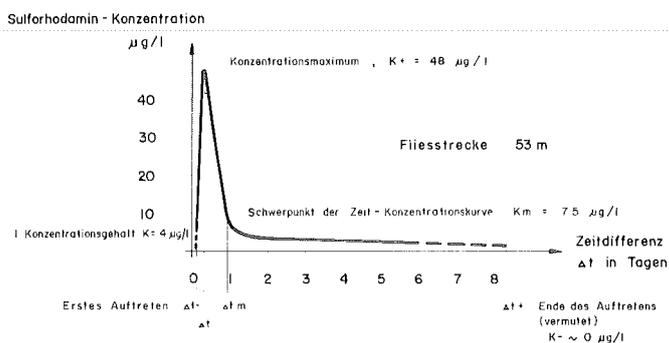
Ort	Emme-km	Approximative Absenkung des Grundwasserspiegels in m
Zollbrück, Neumühle	32,7	ca. 2
Lauperswil, Hüslimatt	32,0	1,5 - 2
Zollbrück, Tannsachen/Chalchmatt	31,25	0,5 - 1
Rüderswil, Schachen	30,25	ca. 2
Rüderswil, Moos/Fännersmüli	27,5	1 - 1,5

#### 4.3.4.3. Resultate der Markierversuche

Zur Erfassung der Fliessvorgänge des Grundwassers wurden bei der Auswertung der Markierversuche die Abstandsgeschwindigkeiten bei vier verschiedenen Markierstoffkonzentrationen anhand der Markierstoff-Intensitätskurven bestimmt. Die vier untersuchten Markierstoffkonzentrationen gehen aus Figur I, 18 für den MV Trubschachen, Hasenlehnmatte hervor.

Fig. I, 18

Markierversuch Trubschachen, Zeit-Konzentrationskurve des Sulforhodamins in der Grundwasserfassung



Eine Zusammenstellung der berechneten Abstandsgeschwindigkeiten gibt Tabelle I, 46. Daraus ist ersichtlich, dass die mittleren Abstandsgeschwindigkeiten  $v_{am}$  (1 bis 2,3 m/h) 5 bis 12 mal kleiner sind als die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten  $v_{a+}$  (10,8 bis 21 m/h).

Die grossen Unterschiede zwischen  $v_{a+}$  und  $v_{am}$  sind in erster Linie durch die unterschiedliche Form der Porenquerschnitte gegeben; so beträgt z.B. das Verhältnis der maximalen zur mittleren Fliessgeschwindigkeit für runde Porenkanäle theoretisch zwei, für alle anderen Porenkanalformen mehr als zwei. Weiter ist anzunehmen, dass die  $v_{a+}$  durch die Initialgeschwindigkeiten der Markierstoffe im Wasser vergrössert werden. Eine Abklärung dieses Problembereiches liegt jedoch nicht vor.

Tabelle I, 46

Resultate aus den Markierversuchen

Ort		Symbol	Dimen- sion	Trubschachen, Hasenlehmatte		Langnau, Nider- moos	Rüders- wil, Rumpel/ Moos	Rüders- wil, Fänners- müli
Beschreibung	Datum			27.3.72	1.4.68	27.8.63	3.12.06	
Versuchsbeginn	to	Datum	27.3.72	1.4.68	27.8.63	3.12.06		
Versuchsdauer	t	d	8/2	5	15	17		
Distanz zwischen Markier- und Probeentnahmestelle	D	m	53 158	74	130	120		
FlieBsstrecke	L	m	53 163	74	140*	200*		
Zeitdifferenz für den Markierstoff zwischen Impfung und								
- erstem Auftreten	$\Delta t-$	h	2,5 15	5	13			
- Konzentrationsmaximum	$\Delta t$	h	5 39	26	23*	168*		
- Schwerpunkt der Zeit- Konzentrationsfunktion	$\Delta t_m$	h	23 83	57	110*	200*		
- Ende des Auftretens	$\Delta t+$	h	~200 >200	>116	>360	264		
Abstandsgeschwindigkeit $v_a$ aus L und $\Delta t$								
- L : $\Delta t-$	$v_{a+}$	m/h	21 10,9	15	10,8			
- L : $\Delta t$	$v_a$	m/h	10,6 4,2	2,8	6,1	1,2		
- L : $\Delta t_m$	$v_{am}$	m/h	2,3 2,0	1,3	1,3	1,0		
- L : $\Delta t+$	$v_{a-}$	m/h	~ 0,26 <0,8	<0,6	<0,4	0,75		
Verhältnis $v_{a+} : v_{am}$			9,1 5,5	11,5	8,3			

\*eigene Schätzwerte

#### 4.4. Zusammenstellung der Resultate

##### 4.4.1. Resultattabellen

Tabelle I, 47 gibt eine Uebersicht über die Resultate der KPV und der GPV. In Tabelle I, 48 wurden die aus den GPV berechneten mittleren Sicker-  
geschwindigkeiten  $v_s$  mit den mittleren Abstandsgeschwindigkeiten  $v_{am}$  aus den MV vergli-  
che. Die einzelnen Resultate werden im folgenden Kapitel kurz diskutiert.

Tabelle I, 47

## Resultate aus Klein- und Grosspumpversuchen

Ort	WEA- Bezeichnung	k-Punkt-Wert		Profil- Punkt-k- Wert k.P. 10 <sup>-3</sup> m/s	Gemittelter Profil-k- Wert kP 10 <sup>-3</sup> m/s	Gebiets- k-Wert kG 10 <sup>-3</sup> m/s	Nutzbare Porosität p
		k.min. 10 <sup>-3</sup> m/s	k.max. 10 <sup>-3</sup> m/s				
Trubschachen, Hasenlehmmatte, Pumpwerk	630.196/20				3,7	5,9-7,3	~20
Langnau, Nidermoos, Pumpwerk	627.198/1				2,1		
Langnau, Tuchfabrik, Pumpwerk	625.199/5				2,1		
Langnau, ARA, Pumpwerk	624.199/13				6,2		
Emmenmatt, Weichelmatte	624.199/28	0,85	4,8	2,7	3,9	7,5-8,5 <sup>1)</sup>	15-17 <sup>1)</sup>
Signau, Schachen, Pumpwerk	623.197/4				4,1		
Lauperswil, Freudenhof	623.201/41	0,14	14,0	3,8	2,0		
Zollbrück, Neumühle	623.201/21	0,85	5,7	1,7	1,75		
Zollbrück, Neumühle, Pumpwerk	623.201/1				2,7		
Zollbrück, Chalchmatt	622.202/61- 64a					9,0-11,0	14-18
Ranflüh, Bahnwärterhaus	622.203/15	0,33	4,4	2,0	2,8		
Rüderswil, Jäggu	621.204/25	1,06	1,3	1,2	1,9		
Rüderswil, Siten	620.204/13	1,80	2,8	2,3	1,2		
Rüderswil, Fännersmüli, Pumpwerk	621.204/15, 32				2,6	5,8-8,0	16-18
Ramsel, Obstweingenossenschaft, Pumpw.	620.205/6				4,8		
Lützelflüh, Farbschachen (Süd)	619.205/23	0,77	4,0	1,8	2,0		
Lützelflüh, Farbschachen (Nord)	619.205/22	0,50	2,25	1,1	1,25		
Lützelflüh, Farbschachen, Pumpwerk	619.205/1				4,4	6,5	~20

<sup>1)</sup>Nachtrag Schutzzonenabklärung Gemeinde Signau, (Werner, 1975)

## 4.4.2. Diskussion der Resultate

## 4.4.2.1. Punkt-k-Werte

Der Bereich der ermittelten Punkt-k-Werte k. (vgl. Beilage I, 3) liegt zwischen  $0,14 \cdot 10^{-3}$  und  $14 \cdot 10^{-3}$  m/s. In Natur dürften die kleinsten Durchlässigkeiten des untersuchten Grundwasserleiters unter  $10^{-4}$  m/s liegen, mussten doch einige Versuche infolge des geringen Grundwasserzuflusses erfolglos abgebrochen werden.

Von unseren 48 Punkt-k-Wert-Versuchen im Grundwasserleiter unter der Emme ergeben 5 Versuche Punkt-k-Werte unter  $0,5 \cdot 10^{-3}$  m/s. Zwischen  $0,5$  und  $1,5 \cdot 10^{-3}$  m/s liegen 16 Versuchsergebnisse, zwischen  $1,5$  und  $2,5 \cdot 10^{-3}$  m/s 6 und zwischen  $2,5$  und  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m/s 10 Ergebnisse. 11 Versuchsergebnisse zeigen Punkt-k-Werte von über  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Eine Beziehung zwischen der Grösse der k. und der entsprechenden Tiefenlage der Vorbohrungen zeichnet sich nicht ab. Grosse Durchlässigkeiten sind sowohl in der Nähe der Grundwasserspiegel wie auch in Tiefen bis zu 45 m ermittelt worden. Ebenso zeigt die Verteilung der kleinen Durchlässigkeiten keinen eindeutigen Trend.

Das einfache arithmetische Mittel der 48 k. beträgt  $2,7 \cdot 10^{-3}$  m/s, das Mittel

der acht k.P  $2,1 \cdot 10^{-3}$  m/s. Beide Werte repräsentieren jedoch nicht die mittlere Durchlässigkeit innerhalb des untersuchten Grundwasserleiters, handelt es sich bei k. und k.P doch, wie in Kap. 4.3.2.1. erwähnt, um minimale Durchlässigkeitsbeiwerte. Die effektive mittlere Durchlässigkeit muss demzufolge grösser sein.

#### 4.4.2.2. Profil-k-Werte

Die in Tabelle I, 47 aufgeführten gemittelten Profil-k-Werte kP variieren zwischen  $1,2$  und  $6,2 \cdot 10^{-3}$  m/s. Dabei fällt auf, dass die Profil-k-Werte der Rotationskernbohrungen im allgemeinen kleiner sind als diejenigen der Grundwasserfassungen. Diese Tendenz lässt sich möglicherweise auf Reibungsverluste in den kleinen Filterrohren der Rotationskernbohrungen und evt. auf grössere Eintrittsverluste zurückführen. Die Profil-k-Werte müssen aus den erwähnten Gründen im Bereich der Rotationkernbohrungen als Minimalwerte der effektiven Durchlässigkeit taxiert werden. Die durchschnittliche minimale Durchlässigkeit des Grundwasserleiters beträgt demnach bei den Rotationskernbohrungen  $2,1 \cdot 10^{-3}$  m/s und bei den bestehenden Grundwasserfassungen  $3,6 \cdot 10^{-3}$  m/s.

#### 4.4.2.3. Gebiets-k-Werte

Die Gebiets-k-Werte aus den Grosspumpversuchen repräsentieren mittlere horizontale Durchlässigkeitsverhältnisse der durch Messungen in Piezometern erfassten Absenkbereiche. Sie erfassen beim GPV Rüderswil den gesamten, bei den GPV Lützelflüh und Zollbrück nur einen Teil des Querschnittes des Grundwasserleiters. Alle drei GPV zusammen erstrecken sich über ca. drei bis vier Prozent des gesamten untersuchten Grundwasserleitervolumens.

Im Vergleich zu den Punkt- und Profil-k-Werten, welche die minimalen Durchlässigkeitsverhältnisse eines 100- bis 1000- fach kleineren Bereiches des Grundwasserleiters repräsentieren, kommt den kG-Werten eine entscheidende Bedeutung zu. Unter den drei Grosspumpversuchen bringt derjenige von Rüderswil bezüglich der versuchstechnischen Gesichtspunkte und der fehlertheoretischen Ueberlegungen die zuverlässigsten Resultate.

#### 4.4.2.4. Mittlere nutzbare Porosität

Die nutzbare Porosität p konnte relativ einwandfrei mit den Computerauswertungen der Grosspumpversuche Rüderswil, Zollbrück und Signau, 1975, bestimmt werden. Die Versuche ergeben eine nutzbare Porosität der entwässerten Bodenschichten zwischen 14 und 18 % mit einem Mittelwert von 17 %.

#### 4.4.2.5. Mittlere theoretische Sicker- und mittlere Abstandsgeschwindigkeit

In Tabelle I, 48 werden die mittleren theoretischen Sicker- und mittlere Abstandsgeschwindigkeiten vs, welche aufgrund der berechneten Gebiets-k-Werte kG, der Grundwasserspiegelgefälle Jo und der nutzbaren Porosität p nach dem Gesetz von DARCY berechnet wurden, mit den mittleren Abstandsgeschwindigkeiten vam verglichen.

Diese beiden mit unterschiedlichen Versuchsmethoden bestimmten mittleren Grundwassergeschwindigkeiten stimmen gut miteinander überein und bestätigen somit die Gebiets-k-Werte.

Tabelle I, 48

Mittlere theoretische Sickergeschwindigkeiten  $v_s$  und mittlere Abstandsgeschwindigkeit  $v_{am}$

Ort			Trubschachen, Hasenlehmatte		Langnau, Nidermoos	Rüderswil, Fännersmüli	Rüderswil, Rumpel/ Moos
Aus Grosspumpversuchen:	Symbol	Dimension					
Durchlässigkeitsbeiwert	KG	$10^{-3}m/s$	6,7	6,7	~7	7	7
Grundwasserspiegelgefälle	Jo	o/oo	20	14	9,6	5	8,3
Nutzbare Porosität	p		~0,20	~0,20	~0,20	0,17	0,17
Mittlere theoretische Sickergeschwindigkeit	$v_s$	$10^{-3}m/s$ m/d	0,67 58	0,47 40	0,34 ~29	0,21 18	0,34 30
Aus Markierversuchen:							
Mittlere Abstandsgeschwindigkeit	$v_{am}$	$10^{-3}m/s$ m/d	0,64 55	0,55 48	0,36 31	0,28 24	0,36 31

## 5. GRUNDWASSERBILANZIERUNG

A. Werner, dipl. Ing. ETH; Mitarbeiter: P. Hufschmid, F. Muchenberger

### 5.1. Allgemeines und Begriffe

Eine Grundwasserbilanzierung bezweckt, Grundlagen für die Bestimmung des Grundwasserdargebotes zu erarbeiten. Sie will insbesondere die Zu- und Abflüsse in resp. aus einem Grundwasserleiter quantitativ erfassen.

Eine Grundwasserbilanzierung setzt mathematische Beziehungen voraus, welche die Strömungsvorgänge mehr oder weniger genau beschreiben. Dies erfordert die Einführung eines sogenannten Bilanzierungsmodells. Im Bilanzierungsmodell gilt es, in einem ersten Schritt den Aufbau und die Form, die Durchlässigkeit und das Speichervermögen des Grundwasserleiters, die Zu- und Abflussverhältnisse sowie die äusseren Randbedingungen festzulegen. Das Modell wird dann in einem zweiten Schritt so weit schematisiert, dass die Zu- und Abflüsse durch lösba-re Bilanzierungsgleichungen berechnet werden können, wobei zwischen stationären und instationären Zu- und Abflussverhältnissen unterschieden wird.

Erfolgt die Berechnung stationär, gilt die Bedingung, dass die zufließenden

Mengen gleich gross sind wie die abfliessenden Mengen. Aussagen über den zeitlichen Ablauf der Zu- und Abflussverhältnisse sind nicht möglich. Für die Beurteilung der zeitlichen Änderung der Strömungsverhältnisse ist eine instationäre Berechnung der Zu- und Abflussmengen notwendig. Die Lösung der instationären Bilanzierungsgleichung erfordert im Vergleich zur stationären Bilanzierungsgleichung die Berechnung der sog. Zehr- und Speichermengen und damit die Kenntnis der nutzbaren (durchströmten) Porosität.

Die Quantifizierung der in den Bilanzierungsgleichungen enthaltenen Hydrologischen Kennziffern (Durchlässigkeit, nutzbare Porosität, Mächtigkeiten des Grundwasserleiters, Grundwasserspiegelgefälle und dgl.) erfolgt vorwiegend durch hydrologische Untersuchungen. Die Genauigkeit der Bilanzierungsberechnungen richtet sich nach dem Untersuchungsaufwand sowie den entsprechenden Auswertungen und ist somit in erster Linie eine Kostenfrage.

Eine wichtige Bedeutung für das Bilanzierungsmodell hat der sog. Bilanzierungskörper K. Die Begrenzung des Bilanzierungs-Körpers, die sog. Bilanzierungsgrenzfläche O, ist für die stationäre Bilanzierung durch die Oberfläche des Grundwasserstauers und den mittleren Grundwasserspiegel über eine zu bilanzierende Zeitperiode gegeben. Der Bilanzierungskörper umfasst somit den gesättigten Teil des Grundwasserleiters, die sog. Unterwasserspiegelzone. Für die instationäre Bilanzierung muss die Unterwasserspiegelzone beim höchsten zu untersuchenden Grundwasserstand berücksichtigt werden, wobei bei einem tieferen Grundwasserstand zur Vereinfachung der Bilanzierungsgleichungen der Grundwasseranteil des ungesättigten Schwankungsbereiches vernachlässigt werden kann.

Erfolgt die Bilanzierung in einem Grundwasserstrom für einzelne Stromabschnitte, erfordert dies die Einführung der sog. Bilanzierungsprofilen BP. Die Bilanzierungsprofile werden in den bilanzierungstechnisch interessanten und möglichst in hydrogeologisch gut erforschten Gebieten gewählt. Dabei vereinfacht ein ungefähr senkrecht zur örtlichen Hauptstromrichtung und zur seitlichen Grundwasserleiterbegrenzung liegendes Profil die Auflösung der Bilanzierungsgleichung wesentlich. Verzweigungen eines Grundwasserstromes werden durch eine Unterteilung der Bilanzierungsprofile in einzelne Bilanzierungsprofilabschnitte BPA berücksichtigt.

Der Bilanzierungskörper oder seine einzelnen, durch Bilanzierungsprofile unterteilten Bilanzierungskörperabschnitte BKA liegen innerhalb des sog. Bilanzierungsgebietes BG. Das Bilanzierungsgebiet wird durch die seitliche Begrenzung der Grundwasserleiter und von mindestens zwei Bilanzierungsprofilen abgegrenzt. Ein durch mehrere Bilanzierungsprofile aufgeteiltes Bilanzierungsgebiet setzt sich aus den sog. Bilanzierungsgebiets-Abschnitten BGA zusammen.

## 5.2. Bilanzierungsgleichungen

### 5.2.1. Allgemeine instationäre Bilanzierungsgleichungen

Die Grundgleichungen der Grundwasserströmung, das Kraftgleichgewichtsgesetz und das Gesetz der Massenerhaltung, werden normalerweise als Differentialgleichungen

chungen angegeben. (z.B. BUSCH/LUCKNER, 1972). In dieser Form stellen die Gleichungen Beziehungen von Funktionen ( $f$ ) des Ortes ( $P(\underline{r})$ ) und der Zeit ( $t$ ) dar. ( $f \rightarrow f(\underline{r}, t)$ ).

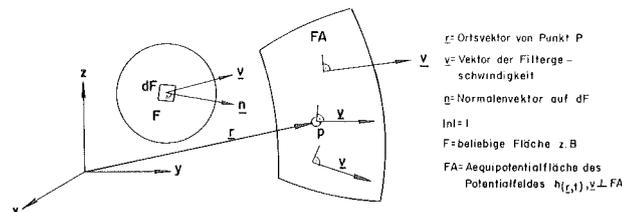
Bei der Bilanzierung von stationären und instationären Grundwasserströmungen betrachten wir jedoch meistens Strömungen durch Flächen  $F$  (z.B. Durchflussfläche eines Bilanzierungsprofils) und Massenänderungen  $\frac{\partial M}{\partial t}$  in Körpern  $K$  (z.B. Bilanzierungskörper).

Die folgenden Bilanzierungsgleichungen der inkompressiblen Filterströmung sind deshalb vorwiegend Integral- oder Summengleichungen. Die entsprechenden Zusammenhänge sind somit Funktionen ( $W$ ) von Flächen ( $W \rightarrow W(F, t)$ , z.B. die Durchflussmenge durch ein Bilanzierungsprofil), von Körpern ( $W \rightarrow W(K, t)$ , z.B. Volumen des nutzbaren Grundwassers in einem Bilanzierungskörper) und der Zeit ( $t$ ).

#### 5.2.1.1. Das Kraftgleichgewichtsgesetz der gesättigten Filterströmung (DARCY-Gesetz)

Fig. I, 19

Gesättigte Filterströmung durch beliebige Flächen  $F$  und durch Aequipotentialfläche des Potentialfeldes  $h$



$\underline{r}$  = Ortsvektor von Punkt P

$\underline{v}$  = Vektor der Filtergeschwindigkeit

$\underline{n}$  = Normalvektor auf  $dF$

$|\underline{n}| = 1$

$F$  = beliebige Fläche z.B.

$FA$  = Aequipotentialfläche des Potentialfeldes  $h(\underline{r}, t)$ ,  $\underline{v} \perp FA$

Die Filtergeschwindigkeit  $\underline{v}$  berechnet sich zu:

$$\underline{v} = -k \cdot \text{grad } h = -k \cdot \underline{j} = -k \cdot (i_x, i_y, i_z) \quad (\text{m/s}) \quad (\text{I,27})$$

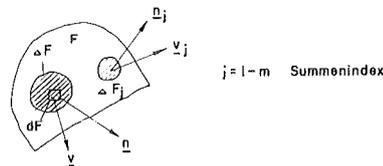
Die Wassermenge  $Q$ , welche durch eine Fläche  $F$  fließt, beträgt:

$$Q = \int_F \underline{v} \cdot \underline{n} \cdot dF = - \int_F k \cdot \text{grad } h \cdot \underline{n} \cdot dF = - \int_F k \cdot \underline{i} \cdot \underline{n} \cdot dF \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 28})$$

Besteht die Fläche  $F$  aus mehreren Teilflächen  $\Delta F$ , (z.B. Teiloberflächen eines Bilanzierungskörpers) so kann Gleichung I, 28 auch in Summenform geschrieben werden.

Fig. I, 20

Fluss durch Fläche  $F$  als Summe des Flusses durch Teilflächen  $\Delta F$



$j = 1 - m$  Summenindex

$$Q = \sum_F \int_{\Delta F} \underline{v} \cdot \underline{n} \cdot dF = \sum_F - \int_{\Delta F} k \cdot \underline{i} \cdot \underline{n} \cdot dF \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 29})$$

und bei der Verwendung von Mittelwerten  $k_j$ ,  $\underline{i}_j$  und  $\underline{n}_j$

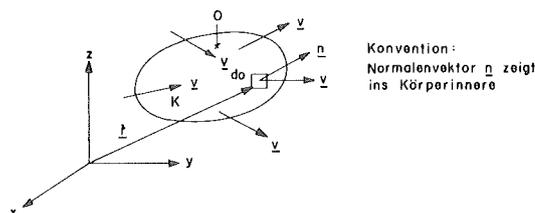
$$Q = - \sum_m k \cdot \underline{i}_j \cdot \underline{n}_j \cdot \Delta F_j = \sum_m Q_j \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 30})$$

### 5.2.1.2. Das Massenerhaltungsgesetz

Wir betrachten einen geschlossenen Körper  $K$  (Bilanzierungskörper) mit der Oberfläche  $O$  (Bilanzierungsgrenzfläche) ( $F \rightarrow O$ ).

Fig. I, 21

Fluss durch geschlossenen Körper



Die Masse des im Körper K vorhandenen Wassers berechnet sich allgemein zu

$$M^* = \rho \cdot \int_K n \cdot S \, dV \quad (\text{kg}) \quad (\text{I, 31})$$

$$\rho = \text{Dichte (kg m}^{-3}\text{)}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial r} = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$n \rightarrow n(\underline{r}, t) = \text{Porosität}$$

$$S \rightarrow S(\underline{r}, t) = \text{Sättigungsgrad}$$

Die Masse des im Körper K vorhandenen gravitär nutzbaren Wassers ist

$$M = \rho \cdot \int_K p \cdot dV \quad (\text{kg}) \quad (\text{I, 32})$$

$$p \rightarrow p(\underline{r}, t) = \text{nutzbare Porosität}$$

Aus der Forderung der Massenerhaltung ergibt sich bei ungespannten Strömungsverhältnissen die Differentialgleichung

$$\text{div } \underline{v} = \frac{\partial p}{\partial t} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (\text{I, 33})$$

Der Zusammenhang zwischen dem Durchfluss durch die Oberfläche  $\Delta$  und der Massenänderung  $\left(\frac{\partial M}{\partial t}\right)$  im Körper K ergibt sich nach GAUSS:

$$\int_{\Delta} \underline{v} \cdot \underline{n} \cdot d\Delta = \int_K \text{div } \underline{v} \cdot dV = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_K p \cdot dV \right] \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 34})$$

Mit Teilflächen  $\Delta \Delta = \Delta F$  ergibt sich die analoge Gleichung

$$- \sum_m k_j \cdot \underline{i}_j \cdot \underline{n}_j \cdot \Delta \Delta = \sum_m Q_j = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_K p \cdot dV \right] \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 35})$$

Bezeichnen wir die in einem Zeitpunkt  $t$  in K einströmende Wassermenge mit  $Q_{\text{EIN}}$ , die im gleichen Zeitpunkt ausströmende Menge mit  $Q_{\text{AUS}}$ , so gilt

$$\sum_m Q_j = Q_{\text{EIN}} - Q_{\text{AUS}} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_K p \cdot dV \right] = \frac{r}{S} \cdot \frac{\partial M}{\partial t} \quad (\text{I, 36})$$

### 5.2.2. Die stationäre Bilanzierungsgleichung

Definieren wir den stationären Zustand mit  $\frac{\partial M}{\partial t} = 0$ , so ergibt sich Gleichung I, 34 resp. I, 35 zu

$$\int_0 \underline{v} \cdot \underline{n} \cdot d0 = 0 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 37})$$

$$- \sum_m k_j \cdot i_j \cdot n_j \cdot \Delta F = \sum_m Q_j = 0 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{I, 38})$$

$$\sum_m Q_j = \text{QEIN} + \text{QAUS} = 0 \quad (\text{I, 39})$$

---


$$\underline{\text{QEIN}} = -\text{QAUS} \quad (\text{I, 40})$$

### 5.3. Bilanzierungskennziffern BK

Bilanzierungskennziffern, abgekürzt BK sind Zahlenwerte, welche die in den Bilanzierungskörper einströmende Wassermenge (QEIN) resp. die ausströmende Wassermenge (QAUS) beschreiben.

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen BK sind in Tabelle I,48a zusammengestellt. Es sind Mengenbegriffe, (z.B. in l/s oder  $\text{m}^3/\text{s}$ ), welche sich mit den in der Karte Bilanzierungs-Grundlage, Beilage I, 6, aufgeführten Mengenangaben decken.

Tabelle I, 48a

#### Bilanzierungskennziffern

QEIN : einströmende Wassermengen (Vorzeichen +)		QAUS : ausströmende Wassermengen (Vorzeichen -)	
Symbol	Beschreibung	Symbol	Beschreibung
QA	Anreicherungsmenge	QN	genutzte Grundwassermenge
QI	Infiltrationsmenge (total)	QX	Exfiltrationsmenge (total)
QIO	Infiltrationsmenge aus Oberflächengewässer	QXO	Exfiltrationsmenge in Oberflächengewässer
		QXOM	Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmenge
QIR	Infiltrationsmenge aus randlichem unterirdischem Zufluss	QXR	Exfiltrationsmenge infolge randlichem unterirdischem Abfluss (Uebertritt)
QIM	Infiltrationsmenge aus Niederschlag auf den Grundwasserleiter	QXM	Exfiltrationsmenge infolge Zehrung des Grundwassers durch Evapo-Transpiration
QO	Durchflussmenge durch das obere Bilanzierungsprofil	QU	Durchflussmenge durch das untere Bilanzierungsprofil
QS	Speichermenge	QZ	Zehrmenge

## 5.4. Grundwasserbilanzierung Oberes Emmental

---

### 5.4.1. Bilanzierungskörper

Der Bilanzierungskörper für die Grundwasserbilanzierung Oberes Emmental umfasst generell

- die Grundwasserleiter der Ilfis und der Emme im Bereiche ihres Zusammenflusses
- den Grundwasserleiter der Emme zwischen Emmenmatt und Ramsey
- die Grundwasserleiter der Grüene und der Emme im Bereiche ihrer Zusammenflüsse.

Er wird abgegrenzt durch die Bilanzierungsprofile 1, 2, 8 und 9 (vgl. Beilage I, 6), durch den Grundwasserstauer und die Grundwasserspiegelfläche (Beilage I, 2) und unterteilt durch die Bilanzierungsprofile 3 bis 7.

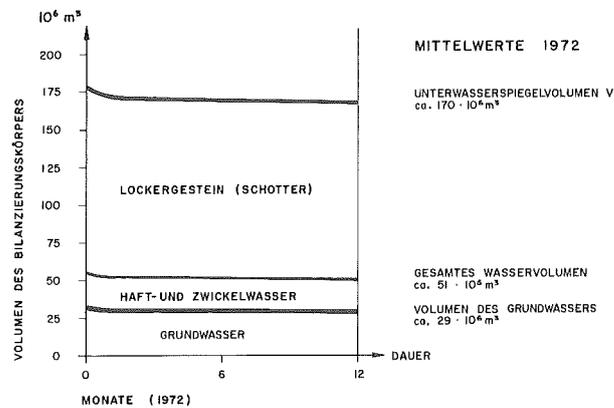
Figur I, 22 gibt eine Uebersicht über die Volumenverhältnisse im Bilanzierungskörper. Sie zeigt die approximative Dauerlinie der Mittelwerte des Jahres 1972 für das

- Unterwasserspiegelvolumen  $V$   
(Volumen des Grundwasserleiters zwischen Grundwasserstauer und Grundwasserspiegelfläche)
- gesamte Wasservolumen  $\frac{1}{\gamma} \cdot M^*$   
unter Annahme einer Porosität  $n = 30 \%$
- Grundwasservolumen  $VG = \frac{1}{\gamma} \cdot M$   
unter Annahme der nutzbaren Porosität  $p = 17 \%$ .

Daraus ist ersichtlich, dass die aufgeführten Volumen infolge der Grundwasserspiegelschwankungen keinen grossen Veränderungen unterworfen sind. So verändert sich beispielsweise das Volumen des Grundwassers bei einem hohen Grundwasserspiegel im Vergleich zu einem tiefen Grundwasserspiegel lediglich um ca. 7 %.

Fig. I, 22

Volumenverhältnisse im Bilanzierungskörper Oberes Emmental 1972



Die stationäre Bilanzierung erfordert die Berücksichtigung von Mittelwerten über eine längere Messperiode für die einzelnen Volumenanteile innerhalb des Bilanzierungskörpers. Die Volumenverhältnisse für unseren Bilanzierungskörper basieren auf der durchschnittlichen Grundwasserspiegelhöhe des Jahres 1972.

Die wichtigsten Masse der Ausdehnung des Bilanzierungskörpers gehen aus Tabelle I, 49 hervor (vgl. Beilage I, 6). Aufgeführt werden:

- die mittleren Fließstrecken L in der Hauptströmungsrichtung der Grundwasserleiter der Emme, Ilfis und Grüene
- die mittlere Breite B der Grundwasserspiegelhöhe zwischen den seitlichen Grundwasserleiterbegrenzungen
- die maximale Grundwassermächtigkeit HMAX
- die Grundwasserspiegelhöhe OS

Tabelle I, 49

Ausdehnung des Bilanzierungskörpers

BGA	BP - BP	L m	B m	HMAX m	OS km <sup>2</sup>
Zusammenfluss Ilfis/Emme	1/2 - 3	1030	890	~48	0,92
Emme	3 - 8	6400	850	~51	5,46
Zusammenfluss Grüene/Emme	7/8 - 9	1440	825	~47	1,19
Bilanzierungsgebiet	1/2 - 8/9	8870	850	~50	7,57

#### 5.4.2. Erweiterte stationäre Bilanzierungsgleichung

Für den Bilanzierungskörper resp. die einzelnen Bilanzierungskörperabschnitte kann im Untersuchungsgebiet die stationäre Bilanzierungsgleichung (I, 40) mit den Bilanzierungskennziffern für QAUS und für QEIN wie folgt erweitert werden:

$$\underbrace{Q_0 + Q_{IM} + \overbrace{Q_{IR} + (Q_{IO})}^{QEIN (+)} + \overbrace{(Q_{XO}) + Q_U + \overbrace{Q_{XOM} + Q_N}^{QAUS (-)}}}_{=} = 0 \quad (I, 41)$$

vgl. Tab. I, 48

Die Bilanzierungskennziffern werden wie die folgenden Kapitel zeigen, teilweise aus den Hydrologischen Kennziffern ermittelt, aus Mittelwerten einer Messperiode oder Messreihe bestimmt oder durch Vergleichsbetrachtungen geschätzt. Die Bilanzierungskennziffern für die Infiltrations- resp. Exfiltrationsmengen aus den Oberflächengewässern lassen sich jedoch, da spezielle hydrologische Untersuchungen fehlen, nicht separieren.

#### 5.4.3. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, stationär

##### 5.4.3.1. Durchflussmengen $Q_0$ , $Q_U$

Die Berechnung der Durchflussmengen  $Q$  durch die Bilanzierungsprofile ( $Q_0$  = Durchflussmenge durch oberes,  $Q_U$  = Durchflussmenge durch unteres Bilanzierungsprofil) beruht auf dem Gesetz von DARCY (I, 42), das unter Annahme von Mittelwerten wie folgt vereinfacht werden kann:

$$Q = k \cdot J \cdot F \quad (I, 42)$$

Im folgenden werden die massgebenden Hydrologischen Kennziffern (HK) zur Bestimmung der Durchflussmengen durch die Bilanzierungsprofile 1 - 9 angegeben und kommentiert.

Wie in Kap. 4. erläutert wurde, resultieren aus den Grosspumpversuchen aufgrund unserer Auswertungen die zuverlässigsten Durchlässigkeitsbeiwerte, die sog. Gebiets- $k$ -Werte ( $k_G$ ). Für die Bestimmung des mittleren Durchlässigkeitsbeiwertes  $k$  für die Bilanzierungsprofile muss deshalb der Schwerpunkt auf den Auswertungen der GPV liegen. Innerhalb unseres Bilanzierungskörpers steht einzig aus dem GPV Rüderswil ein umfassender  $k_G$ -Wert zur Verfügung. Die Computerauswertung (Kap. 4.3.3.5.) ergibt unter Einbezug der örtlichen hydrologischen Verhältnisse einen  $k_G$ -Wert zwischen 6 bis  $8 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$  bei einem Mittelwert von ca.  $7 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ .

Die beiden weiteren GPV innerhalb des Bilanzierungskörpers erfassen nicht die

gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters. Der GPV Zollbrück (Kap. 4.3.3.2.) wie auch der GPV Lützelflüh (Kap. 4.3.3.4.) wurden in unvollkommenen Brunnen durchgeführt, welche die Unterwasserspiegelzone nur bis in eine Tiefe von 7,5 resp. 10 m beanspruchten. Die Pumpversuchsauswertungen ergaben für den GPV Lützelflüh  $k_G = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$  und für den GPV Zollbrück 9 bis  $11 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ .

Für die Bilanzierungsprofilabschnitte in den Grundwasserleitern unter Emme, Ilfis und Grünenwird daher mit dem mittleren  $k_G$  aus dem GPV Rüderswil von  $7 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$  gerechnet.

Im Bereiche der beiden Terrassen Ried und Waldhaus stehen leider keine Durchlässigkeitsversuche zur Verfügung. Wir erachten es daher als sinnvoll, den  $k$ -Wert für die Bilanzierungsprofilabschnitte 5R, 8W, 9W ebenfalls im Mittel zu  $7 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$  anzunehmen. In der Terrasse von Rüderswil wurden in zwei Rotationskernbohrungen einige Punkt- und Profil- $k$ -Werte bestimmt, die jedoch keinen eindeutigen Schluss auf den massgebenden  $k$ -Wert für die Bilanzierung zulassen. Der mittlere  $k$ -Wert für BPA 5R1 wurde deshalb ebenfalls zu  $7 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$  angenommen. Im Gebiet der Bilanzierungsprofilabschnitte 6R1 und 6R2 im Schachen bei Rüderswil werden auf Grund von geophysikalischen Untersuchungen stark silting tonige Einschlüsse mit kleinen  $k$ -Werten vermutet. Den  $k$ -Wert beim BPA 6R1 schätzen wir zu  $5 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ , denjenigen beim BPA 6R2 zu  $1 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ .

Das mittlere Grundwassergefälle  $J$  in den einzelnen Bilanzierungsprofilen (JO Grundwassergefälle für oberes, JU für unteres Bilanzierungsprofil) wurde dem Grundwasserspiegelgefälle  $J_0$  gleichgesetzt, welches sich aufgrund der Isohypsen des Grundwasserspiegels vom 20.3.74 mit der Beziehung  $J_0 = \frac{\Delta h}{\Delta L}$  ergab.

$L$  entspricht der Horizontalprojektion der mittleren Fließstrecke zwischen den gewählten profilmahen Grundwasserspiegelisohypsen unter Ausschaltung der Infiltrations- oder Exfiltrationsbeeinflussungen durch die Oberflächengewässer. Die für die Gefällsberechnung gewählten zwei bis drei Isohypsen liegen normalerweise unterhalb und oberhalb des entsprechenden Bilanzierungsprofils und die Höhendifferenzen  $\Delta h$  betragen in der Regel ein oder zwei Meter.

In den Bilanzierungsprofilen 1 und 2 wurden Vergleichsgefälle aus Einzelmessungen von WEBER, 1974, unmittelbar oberhalb des Bilanzierungsgebietes beigezogen.

Das Gefälle im Bilanzierungsabschnitt Rumpel/Moos, Rüderswil wird durch die in der Nähe liegende Sickerleitung der Vennersmühle Wasserversorgung stark beeinflusst. Für die Berechnung der Durchflussmenge im Profil 7R1 wurde daher  $J_0$  für den Grundwasserleiter unter dem Rüderswilerfeld zugrunde gelegt.

In Tabelle I, 50 sind die Grundwasserspiegelgefälle  $J_0$  für die Bilanzierung getrennt nach den Bilanzierungsprofilabschnitten der Haupttäler und der Terrassen zusammengestellt. Die grösseren Gefälle in den Grundwasserleitern unter den Terrassen ergeben sich aus den kürzeren Fließstrecken des Grundwassers.

Tabelle I, 50

Mittleres Grundwasserspiegelgefälle Jo für die Bilanzierungsprofile resp. Bilanzierungsprofilabschnitte (vgl. Beilage I, 2 und 6)

Grundwasserleiter unter Emme, Ilfis und Grüene										Durchschnitt	Mittel	
BPA	1E	2I	3E	4E	5E	6E	7E	8G	9E	1/2 bis 8/9		
Jo (o/oo)	6,9	8,3	8,4	7,6	6,4	6,4	6,5	7,1	6,7	7,1	7,0	
Grundwasserleiter unter Terrassen										Durchschnitt	Mittel	
BPA					5R	6R1	6R2	7R1	8W	9W	1/2 bis 8/9	
Jo (o/oo)					6,4	8,3	9,0	10,0	9,3	9,0	8,7	8,85

Für die Bilanzierung nehmen wir an, dass das Gefälle innerhalb der einzelnen BP resp. BPA konstant ist und das Grundwasserspiegelgefälle Jo vom 20.3.74, von lokalen Infiltrations- und Exfiltrationseinflüssen in der Nähe der Oberflächengewässer abgesehen, den mittleren Gefällsverhältnissen von 1972 entspricht.

Als Durchflussfläche F (F0 Durchflussfläche des oberen, FU des unteren Bilanzierungsprofils) wurde generell die Fläche zwischen dem Grundwasserstauer und dem mittleren Grundwasserspiegel von 1972 gewählt. Der Grundwasserstauer konnte mit Ausnahme im Bilanzierungsprofilabschnitt 5E identisch der Molasseoberfläche (vgl. Kap. 1.5.) angenommen werden. Die mittleren Durchflussflächen für die Bilanzierungsprofilabschnitte und Bilanzierungsprofile sind in Tabelle I, 51 aufgeführt.

Tabelle I, 51

Durchflussflächen F der Bilanzierungsprofile resp. Bilanzierungsprofilabschnitte für einen mittleren Grundwasserstand 1972 (vgl. Beilage I, 6)

Grundwasserleiter unter Emme (E), Ilfis (I) und Grüene (G)										
BPA	1E	2I	3E	4E	5E	6E	7E	8G	9E	
F(m <sup>2</sup> )	8800	17500	24250	18300	12000	14000	9900	10500	16600	
Grundwasserleiter und Terrassen Zollbrück (R), Rüderswil (R1, 2), Waldhaus (W)										
BPA					5R	6R1	6R2	7R1	8W	9W
F(m <sup>2</sup> )					3900	5450	1500	3800	10300	7700
Total										
BP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
F(m <sup>2</sup> )	8800	17500	24250	18300	15900	20950	13700	20800	24300	

Die durchschnittliche Durchflussfläche der aufgeführten Bilanzierungsprofile beträgt 18 278 m<sup>2</sup> und die mittlere Durchflussfläche aus

$$\frac{V}{L} = \frac{170 \cdot 10^6}{8870} = 19\,166 \text{ m}^2$$

V = mittleres Unterwasserspiegelvolumen 1972 (vgl. Fig. I, 22)

L = mittlere Fließstrecke in Hauptströmungsrichtung von BP 1/2 - 8/9

Die kleine Abweichung von 4,6 % der durchschnittlichen Durchflussflächen von der mittleren zeigt, dass die gewählten Bilanzierungsprofile die Form des Bilanzierungskörpers gut beschreiben.

Mit dem modifizierten Gesetz von DARCY ergeben die Durchflussmengen die in Tabelle I, 52 aufgeführten Werte.

Tabelle I, 52

Mittlere Durchflussmengen Q 1972 durch die Bilanzierungsprofile resp. Bilanzierungsprofilabschnitte (vgl. Beilage I, 6)

Grundwasserleiter unter Ilfis, Emme, Grüene									
BPA	1E	2I	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E
Q(l/s)	425	1017	1425	974	538	627	450	522	779
Grundwasserleiter unter Terrassen									
BPA				5R	6R1	6R2	7R	8W	9W
Q(l/s)				175	226	14	266	671	485
Total									
BP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q(l/s)	425	1017	1425	974	713	867	716	1193	1264

#### 5.4.3.2. Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen QIR

Die Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen QIR in den Bilanzierungskörper entstehen aus der Niederschlagsversickerung und der Oberflächengewässerinfiltration in den angrenzenden hydrologischen Einzugsgebieten (vgl. Kap. 3.6.5.).

Tabelle I, 53 gibt einen Ueberblick über die mittleren Niederschlagsmengen N von 1972 auf die einzelnen hydrologischen Einzugsgebiete E und die entsprechenden unterirdischen Zuflüsse QIR in den Bilanzierungskörper. Den Berechnungen der mittleren Niederschlagsmenge N liegt die durchschnittliche Niederschlagshöhe des Jahres 1972 von 1000 mm in den drei innerhalb des Untersuchungsgebietes liegenden Niederschlags-Messstationen von WEBER, 1974, zugrunde. (Vgl. Tabelle I, 13).

Tabelle I, 53

Randliche unterirdische Zuflüsse QIR aus den Einzugsgebieten E in den Bilanzierungskörper, 1972, (vgl. Beilage I, 6)

BGA Seite* BP - BP	E		N (1972)		QIR		
	l km <sup>2</sup>	r km <sup>2</sup>	l l/s	r l/s	l l/s	r l/s	Total l/s
1/2 - 3	3,01	0,68	95,5	21,6	19,1	4,3	23,4
3 - 4	0,22	2,51	7,0	79,6	1,4	15,9	17,3
4 - 5	3,96	7,54	125,6	239,0	25,1	47,8	72,9
5 - 6	1,24	2,26	39,3	71,7	7,9	14,3	22,2
6 - 7	1,39	1,80	44,1	57,0	8,8	11,4	20,2
7/8 - 9	0,82	1,08	26,0	34,2	5,2	6,9	12,1
1/2 - 9	10,64	15,87	337,5	503,1	67,5	100,6	168,1

\* l = linke Seite, r = rechte Seite des Bilanzierungskörpers

N = mittlere Niederschlagsmenge 1972 auf die hydrologischen Einzugsgebiete E

Die unterirdischen randlichen Zuflüsse in den Bilanzierungskörper wurden für das gesamte Untersuchungsgebiet zu 20 % der mittleren Niederschlagsmenge N angenommen (vgl. Kap. 3.6.5.).

Unter den Terrassen Lauperswil, Ried und Rüderswil, bei denen teilweise der gesamte oberflächliche Abfluss aus den seitlichen Einzugsgebieten in den Grundwasserleiter versinkt, dürften unsere Schätzungen der unterirdischen Zuflüsse eher zu klein, für die übrigen Einzugsgebiete eher zu gross sein. Diesen Tendenzen wurde jedoch bei der Rundung und Verteilung der Anteile von QIR Rechnung getragen (vgl. Beilage I, 6).

#### 5.4.3.3. Infiltrationsmengen aus Niederschlag auf den Grundwasserleiter QIM

Die Grundwasserneubildung durch die Infiltrationsmengen aus dem Niederschlag auf den Grundwasserleiter QIM wie sie aus Tabelle I, 54 hervorgeht, wurde zu 50 % der Niederschlagsmenge von 1972 angenommen. Diese Annahme stützt sich auf die Schätzung der mittleren Verdunstungsmenge im Oberen Emmental zu 40 % (WEBER, 1974) und auf unsere Schätzung des oberflächlichen Abflussanteils aus dem Bilanzierungsgebiet von 10 %.

Es ist uns klar, dass für die Bestimmung der Grundwasserneubildung durch die Infiltrationsmenge aus dem Niederschlag auf den Grundwasserleiter noch einige Fragen offen bleiben. Insbesondere wäre noch abzuklären, wie gross die Zehrung vom Grundwasser durch die Evapo-Transpiration in den Gebieten mit kleinen Flurabständen (z.B. Eyschachen, Fännersmüli, Farbschachen) ist. Allerdings dürften diese vernachlässigten Zehrmengen QXM für das vorliegende relativ kleine Bilanzierungsgebiet - im Vergleich zu den Exfiltrationsmengen in die Oberflächengewässer - von untergeordneter Bedeutung sein.

Tabelle I, 54

Infiltrationsmengen QIM aus dem Niederschlag N auf die Bilanzierungsgebietsabschnitte BGA (vgl. Beilage I, 6)

BP - BP	BGA km <sup>2</sup>	N (1972) l/s	QIM l/s
1/2 - 3	0,92	29,2	14,6
3 - 4	1,06	33,6	16,8
4 - 5	1,35 <sup>1)</sup>	42,8	21,4
5 - 6	1,13 <sup>1)</sup>	35,8	17,9
6 - 7	2,34 <sup>1)</sup>	74,2	37,1
7/8 - 9	1,29 <sup>1)</sup>	40,9	20,4
1/2 - 9	8,09 <sup>1)</sup>	256,5	128,2

<sup>1)</sup> incl. Terrainoberfläche des nicht unterströmten Teils der Terrassen

#### 5.4.3.4. Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmengen QXOM

Unter QXOM verstehen wir die Grundwassermenge, welche als natürlicher Grundwasseraustritt (in Oberflächengewässer, Grundbäche etc.) abfließt oder infolge einer künstlich erzeugten, bleibenden Grundwasserabsenkung (Sickerleitung, Drainage, Flussolekorrekturen etc.) oberflächlich abgeleitet und gemessen wird.

Innerhalb unseres Bilanzierungsgebietes wurden oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmengen während längerer Beobachtungszeit lediglich in der Winkelmatte und im Tannschachen gemessen.

Für den Grundwasseraustritt im Tannschachen 622.202/24 - 27 liegen Abflussmengenmessungen während der Untersuchungsperiode von 1968 bis 1974 bei unterschiedlichen Grundwasserständen vor (vgl. Kap. 3.6.4.4.). Die mittlere Exfiltrationsmenge QXOM für das Jahr 1972 beträgt 60 l/s.

Die Abflussmengen der Quellfassung Winkelmatte (623.199/4 - 7 und 624.199/3) der Wasserversorgung der Stadt Bern betragen auf Grund langjähriger Messungen vor 1929 im Mittel 96,3 l/s. Heute wird dieses Grundwasser oberhalb Emmenmatte ungenutzt in die Emme abgeleitet.

#### 5.4.3.5. Grundwassernutzung QN (vgl. NIGGLI 1972c)

Zur Bestimmung der genutzten Grundwassermengen QN, wurden die Grundwasserbezüger in drei Kategorien unterteilt:

- Hauswasserversorgungen
- Kleinverbraucher
- Grossverbraucher und öffentliche Wasserversorgungen.

Die Hauswasserversorgungen bestehen meistens aus einem Rammbrunnen oder Schacht mit einer elektrischen Pumpe, die mit einem Windkessel den nötigen Druck im Wasserleitungsnetz eines Hauses erzeugt. In der Regel sind keine Wasseruhren

vorhanden, sodass der durchschnittliche Verbrauch pro Fassung auf 1000 l/d (4 Personen pro Hauswasserversorgung à 250 l/d) geschätzt werden musste.

Als Kleinverbraucher werden Bezüger bezeichnet, deren Fassungsanlage meistens aus einem Schacht, seltener aus einem Ramm- oder Filterbrunnen besteht und eine Grundwassermenge  $\geq 10$  l/min und  $< 100$  l/min fördern kann. Solche Fassungsanlagen werden in der Regel von kleinen gewerblichen Betrieben mit geringem Wasserverbrauch benützt. Auch hier sind selten Wasseruhren installiert, sodass der Wasserverbrauch auf Grund von mündlichen Aussagen der Bezüger oder durch einen Vergleich mit dem Wasserverbrauch ähnlicher Betriebe einzeln geschätzt werden musste.

Als Grossverbraucher werden Bezüger bezeichnet - vorwiegend öffentliche Wasserversorgungen oder industrielle Betriebe -, deren Fassungsanlagen meistens als Filterbrunnen oder als Sickerleitungen ausgebaut sind und eine Grundwasserentnahme  $\geq 100$  l/min zulassen. Die tatsächlich entnommenen Grundwassermengen konnten bei den öffentlichen Wasserversorgungen auf das Mittel langfristiger Messungen abgestützt werden. Bei den technischen Betrieben fehlen grösstenteils Wasseruhren, sodass die mittleren Grundwasserentnahmemengen auf Grund der konzessionierten Wassermenge oder durch mündliche Angaben der Bezüger abzuschätzen waren.

Tabelle I, 55 zeigt die einzelnen Anteile der genutzten Grundwassermengen der drei Verbrauchertypen. Die den aufgeführten Werten zugrunde liegenden mittleren Grundwasserentnahmemengen der einzelnen Fassungsanlagen wurden von NIGGLI, 1972, erhoben. Die grösste Grundwassermenge von ca. 117 l/s in unserem Bilanzierungsgebiet wurde vom Gemeindeverband Wasserversorgung Vennersmühle aus dem Fassungsgebiet Fännersmüli bei Rüderswil entnommen.

Tabelle I, 55

Mittlere Grundwassernutzung QN 1972 (vgl. Beilage I, 6)

BGA	Hauswasserversorgung		Kleinverbraucher		Grossverbraucher		Grundwassernutzung QN (l/s)	
	Anzahl	QN (l/s)	Anzahl	QN (l/s)	industrielle Betriebe Anzahl	öffentl. Wasserversorgungen QN (l/s)		
1/2-3	24	0,28	2	1,00	3	3,50	-	4,78
3-7	93	1,06	2	0,08	-	-	1	0,33
7/8-9	7	0,08	-	-	2	71,30	2	122,67
1/2-9	124	1,42	4	1,08	5	74,80	3	123,00

#### 5.4.3.6. Differenz zwischen den Infiltrations- und Exfiltrationsmengen aus den resp. in die Oberflächengewässer ( $Q_{I0} + Q_{X0}$ )

Wie bereits erwähnt wurde, lassen sich mit unserem Bilanzierungsmodell die Exfiltrations- und Infiltrationsmengen nicht separieren. Sie können deshalb unter Anwendung der stationären Bilanzierungsgleichung lediglich als Differenzmenge ( $Q_{I0} + Q_{X0}$ ) berechnet werden.

Für die im folgenden Kapitel durchgeführte stationäre Bilanzierung (Tabelle I, 56) ergibt sich im Jahre 1972 ein Exfiltrationsüberschuss von 1170 l/s, welcher vorwiegend in die Emme fließt. Da bei der Festlegung der Bilanzierungsprofile darauf geachtet wurde, dass Exfiltrations- und Infiltrationsstrecken der Emme für tiefe bis mittlere Wasserstände möglichst getrennt werden, entspricht die Differenz zwischen der In- und Exfiltrationsmenge für die Bilanzierungsgebietsabschnitte bei positivem Vorzeichen ungefähr der mittleren Infiltrationsmenge, bei negativem Vorzeichen ungefähr der mittleren Exfiltrationsmenge. Die mittlere Infiltrationsmenge beträgt somit zwischen Profil 1-9 ca. 180 l/s, die mittlere Exfiltrationsmenge ca. 1350 l/s.

Der Abschnitt zwischen den Bilanzierungsprofilen 3 und 9 weist für das Jahr 1972 einen mittleren Exfiltrationsüberschuss von ca. 1240 l/s auf. Der am 8.11.1972 gemessene Exfiltrationsüberschuss betrug ca. 860 l/s (Tabelle I, 20).

#### 5.4.3.7. Stationäre Bilanzierung

Die Grundlagen für die stationäre Bilanzierung bilden die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Bilanzierungskennziffern und der Bilanzierungskörper K mit einem mittleren Volumen von ca.  $170 \cdot 10^6 \text{m}^3$ .

Tabelle I, 56 gibt eine Zusammenstellung der massgebenden Hydrologischen Kennziffern zur Berechnung der Durchflussmengen durch die Bilanzierungsprofile sowie die Auflösung der erweiterten Bilanzierungsgleichung (I, 41) mit den Bilanzierungskennziffern für die Bilanzierungsgebietsabschnitte. Die ein- und ausströmenden Grundwassermengen gehen aus der Schemaskizze des Bilanzierungsgebietes, Figur I, 23, hervor. Sämtliche Bilanzierungskennziffern sind in der Beilage I, 6 ersichtlich.

Tabelle I, 56

Stationäre Grundwasserbilanzierung 1972, Oberes Emmental

Allgemeine stationäre Bilanzierungsgleichung:

$$\sum_0^0 Q_j = Q_{EIN} + Q_{AUS} = 0$$

Erweiterte stationäre Bilanzierungsgleichungen

- für Bilanzierungsgebietsabschnitte gilt:

$$QU + QO + QIM + QIR + QXOM + QN + (QIO + QXO) = 0$$

- für Durchflussmengen durch Bilanzierungsprofile oder -profilabschnitte gilt:

oben:  $QO = FO \cdot JO \cdot k$

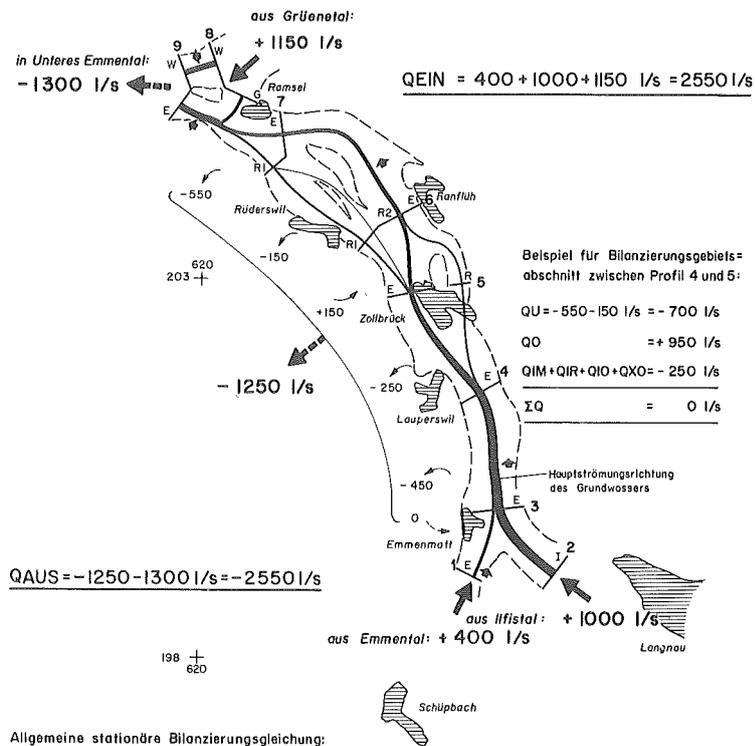
unten:  $QU = FU \cdot JU \cdot k$

Bilanzierungsprofil						Bilanzierungsgebietsabschnitte										
Bezeichnung	Hydrologische Kennziffern (Mittelwerte)				Bilanzierungskennziffern (Mittelwerte)											
Profilnummer	Profilabschnitt, Buchstabe = Grundwasserleiter unter dem er liegt, Grundwasserleiter, Zone, RZ, W = Waldhohle, W = Waldhohle	Oberflächengewässer - km	Durchflussfläche FO, FU m <sup>2</sup>	Mittlere Grundwasserabflugesfälle JO, JU ‰	Durchfließzeitkoeffizient k 10 <sup>3</sup> m/A	Durchflussmenge durch Profilabschnitt QO(E, R...), QU(R1, R2, E...) l/s	Durchflussmenge durch Profilabschnitt QO, QU l/s	Summe der Durchflussmengen bei Profilvereinerung QO, QU l/s	Differenz zwischen den Durchflussmengen QU + QO l/s	Infiltration aus Niederschlag QIW l/s	Infiltration aus randlichen unterirdischen Zuflüssen QIR l/s	Gemessene, oberflächlich abgelagerte Exfiltrationsmenge QXOM l/s	Gewinn Grundwassermenge QN l/s	Differenz zwischen der In- und der Exfiltrationsmenge aus resp. in Oberflächengewässern QIO+QXO l/s		
1	E	35.090	8800	6.9	7.0		400									
2	I	1.150	17500	8.3	7.0		1000	1400	0	15	20	-100	-5	+70		
3	E	34.250	24250	6.4	7.0			1400	+450	15	15	0	(0)	-480		
4	E	32.650	18300	7.6	7.0			950	+250	20	70	-60	(0)	-280		
5	E	31.050	12000	6.4	7.0	550		700								
	R		3900	6.4	7.0	150										
6	R1		5450	8.3	5.0	250										
	R2		1500	9.0	1.0	0										
	E	30.000	14000	6.4	7.0	600		850	-150	20	20	0	(0)	+110		
7	R1		3800	10.0	7.0	250			+150	35	20	0	(0)	-205		
	E	27.750	9900	6.5	7.0	450		700								
8	G	0.560	10500	7.1	7.0	500										
	W		10300	9.3	7.0	650		1150								
9	E	26.365	16600	6.7	7.0	800			+550	20	10	0	-195	-385		
	W		7700	9.0	7.0	500		1300								
Durchschnitt aus E						14500	7.0	7.0	700	Total	+1250	125	155	-160	-200	-1170

Rundungsgrößen: F, QO, QU auf 50  
 QIM, QIR, QXOM, QN auf 5

Fig. I, 23

Schema der stationären Grundwasserbilanzierung Oberes Emmental (1: 100 000)



Allgemeine stationäre Bilanzierungsgleichung:

$$QEIN + QAUS = 0$$

- + Einströmende Grundwassermenge (QEIN)
- Auströmende Grundwassermenge (QAUS)

Die Strichstärke der Hauptströmungsrichtung des Grundwassers ist proportional zur Durchflussmenge durch die Bilanzierungsprofile.

#### 5.4.3.8. Genauigkeit der Durchflussmengen Q<sub>0</sub>, Q<sub>U</sub> im Grundwasserleiter unter der Emme

Auf Grund der stationären Grundwasserbilanzierung weisen die Durchflussmengen Q<sub>0</sub>, Q<sub>U</sub> im Oberen Emmental die grössten Werte auf. Die Genauigkeit von Q<sub>0</sub>, Q<sub>U</sub> ist daher für die Auflösung der Bilanzierungsgleichung wichtiger als diejenige der übrigen Bilanzierungskennziffern. So wirken sich z.B. Ungenauigkeiten von + 100 % an Q<sub>IM</sub> oder Q<sub>IR</sub> auf die Berechnung von (Q<sub>IO</sub> + Q<sub>XO</sub>) kaum aus, während die gleiche Ungenauigkeit an Q<sub>0</sub>, Q<sub>U</sub> die Bilanzierung unbrauchbar machen würde. Ebenso sind bei Q<sub>XOM</sub>, Q<sub>N</sub> relativ grosse Ungenauigkeiten zulässig.

Die Berechnung von Q<sub>0</sub>, Q<sub>U</sub> basiert, wie in Kap. 5.4.3. erwähnt, auf den Hydrologischen Kennziffern k, J<sub>0</sub> resp. J<sub>U</sub> und F<sub>0</sub> resp. F<sub>U</sub> und auf dem Gesetz von DARCY. Jede dieser drei Hydrologischen Kennziffern ist mit Fehlern behaftet. Die Fehler des k-Wertes Δk wurden auf Grund der Auswertungen des Grosspumpversuches Rüderswil mit  $+ 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  resp.  $+ 15 \%$  des verwendeten Mittelwertes  $k = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  eingesetzt. Die Ungenauigkeit von J<sub>0</sub> resp. J<sub>U</sub> hängt mit der Gefällsbestimmung aus den Grundwasserspiegelisohypsen und der Gefällsübertragung auf das ganze Bilanzierungsprofil zusammen. Bei einer mittleren Abweichung der Distanz zwischen den Grundwasserspiegelisohypsen von 10 m und einem durchschnittlichen Grundwasserspiegelgefälle von 7 o/oo beträgt der mittlere Fehler ΔJ an J<sub>0</sub> resp. J<sub>U</sub> ca.  $+ 7 \%$ . Die Ungenauigkeiten an F<sub>0</sub>, F<sub>U</sub> entstehen durch falsche Extrapolation des Grundwasserstauer-Verlaufes und durch ungenügende Kenntnisse der seitlichen Grundwasserleiter-Begrenzung. Der mittlere Fehler ΔF wird zu  $\pm 10 \%$  der durchschnittlichen Durchflussfläche geschätzt.

Mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz von GAUSS

$$\Delta Q = \sqrt{(f_a \cdot \Delta k)^2 + (f_b \cdot \Delta J)^2 + (f_c \cdot \Delta F)^2} \quad (\text{I, 43})$$

$$f_a = J \cdot F$$

$$f_b = k \cdot F$$

$$f_c = k \cdot J$$

berechnet sich für

- eine durchschnittliche Durchflussfläche  $F = 14500 \text{ m}^2$
- ein durchschnittliches Gefälle  $J = 7 \text{ o/oo}$
- einen mittleren k-Wert  $= 7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- $\Delta k = \pm 0,15 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- $\Delta J = \pm 0,07 \cdot 0,007$  und
- $\Delta F = \pm 0,10 \cdot 14500 \text{ m}^2$

der mittlere Fehler

$$\Delta Q = \pm 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dies sind 20 % der durchschnittlichen Durchflussmenge im Grundwasserleiter unter dem Emme.

Wegen der Bedingung  $\Sigma Q = 0$  ist es ausgeschlossen, dass in einem Bilanzierungsgebietsabschnitt für ein Bilanzierungsprofil der grösste positive und für das andere Bilanzierungsprofil der grösste negative Fehler auftreten kann.

#### 5.4.4. Modifizierte instationäre Bilanzierungsgleichung

Unter der Annahme von Mittelwerten für einen Zeitabschnitt  $\Delta t$  lässt sich Gleichung I, 36 wie folgt modifizieren.

$$\frac{\overbrace{Q_0 + Q_I}^{QEIN} + \overbrace{(Q_X + Q_N + Q_U)}^{QAUS}}{\Delta t} = p \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = (Q_S - Q_Z) \quad (I, 44)$$

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$  Speichervolumenänderung pro Zeitabschnitt

Die Bilanzierungskennziffern für die Infiltration  $Q_I$  und für die Exfiltration  $Q_X$  sowie für die Speichermenge  $Q_S$  und die Zehrmenge  $Q_Z$  liessen sich, da spezielle hydrologische Untersuchungen für unseren Untersuchungsabschnitt fehlen, nicht separieren, jedoch immerhin als Differenzmengen erfassen.

#### 5.4.5. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, instationär

Für die Berechnung der Durchflussmengen  $Q_0$ ,  $Q_U$  wurden bei der instationären Bilanzierung die gleichen Annahmen getroffen wie bei der stationären Bilanzierung (Kap. 5.4.3.1.).

Die Beurteilung des Speichervermögens basiert auf dem extremen Grundwasserspiegelanstieg zwischen 22.11.1972, 6.00 Uhr und 23.11.1972, 12.00 Uhr ( $\Delta t = 30$  Stunden) in den beiden Messstellen mit Schreibpegeln (Mungnau, Steiner und Rüderswil, Moos). Die sich daraus ergebende Differenz zwischen der Speichermenge  $Q_S$  und der Zehrmenge  $Q_Z$  wurde bei einer mittleren Porosität  $p$  von 17 % berechnet.

Die während des Zeitabschnittes  $\Delta t$  genutzte Grundwassermenge  $Q_N$  ist nicht bekannt. Sie wird daher der mittleren Nutzung von 1972 gleichgesetzt.

Die Auflösung der Gleichung I, 44 erfolgt nach der Menge aus der gesamten Infiltration und Exfiltration ( $Q_I + Q_X$ ). Es ist wahrscheinlich, dass auf dem Emmeabschnitt bei der Mungnau auch während des Hochwasserabflusses Grundwasser exfiltriert. Unter der Annahme, dass der Infiltrationsanteil aus dem Niederschlag auf den Grundwasserleiter für den Zeitabschnitt  $\Delta t$  vernachlässigbar ist, beträgt der minimale Infiltrationszuwachs aus den Oberflächengewässern



#### 5.4.6. Natürlicher Grundwasserzuwachs

Unter dem natürlichen Grundwasserzuwachs verstehen wir die Vergrößerung des Grundwasservolumens innerhalb einer gewissen Zeitspanne. Ein Grundwasserzuwachs entsteht in der Regel immer beim Wasserspiegelanstieg der Oberflächengewässer infolge Niederschlag oder Schneeschmelze.

Tabelle I, 58

Natürlicher Grundwasserzuwachs (vgl. Beilage I, 6)

BGA	Volumen des natürlichen Grundwasserzuwachses in $10^6 \text{ m}^3$ für:			Mittlerer natürlicher Grundwasserzuwachs in l/s für:			
	30h	720h	1972	30h	720h	2300h	1972
1/2-3	0,156	0,704	0,89	1450	270	110	28
3-4	0,170	0,811	1,03	1575	310	120	32
4-5	0,204	1,018	1,29	1890	390	160	41
5-6	0,150	0,788	1,00	1385	300	120	32
6-7	0,296	1,568	1,99	2740	610	240	63
7/8-9	0,162	0,910	1,15	1495	350	140	36
1/2-9	1,138	5,799	7,35	10535	2230	890	232

Wie in Figur I, 22 dargestellt wurde, befanden sich im Bilanzierungskörper im Jahre 1972 bei einem tiefen Grundwasserstand 28,6 Millionen  $\text{m}^3$  Grundwasser. Das maximale Grundwasservolumen betrug ca. 30,6 Millionen  $\text{m}^3$  und der Grundwasserzuwachs somit ca. 2 Millionen  $\text{m}^3$ .

Zur Beurteilung des gesamten natürlichen Grundwasserzuwachses innerhalb eines Jahres wurden die theoretischen Summen der Grundwasserspiegelanstiege in den Beobachtungspunkten mit wöchentlichen Abstichen für 1972 beigezogen (Kap. 3.6.3.). Die Berechnung der Werte, in Tabelle I, 59, basiert auf der nutzbaren Porosität von 17 % und auf der durchschnittlichen Summe der Anstiege von 5,70 m für alle Bilanzierungsgebietsabschnitte. Um zu zeigen, dass ein grosser Teil des gesamten Zuwachses innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne stattgefunden hat, wurden die Werte für den extremen Anstieg vom 22./23.11.1972 während 30 h, für 4/5 der Anstiegssumme während 720 h und für den gesamten Anstieg während ca. 2300 h aufgeführt (vgl. auch Figur I, 4 und Beilage I, 6).

## 6. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

---

A. Werner, dipl. Ing. ETH / Dr. R.V. Blau, WEA

### 6.1. Die Grundwassernutzung heute

Im Untersuchungsgebiet beträgt die mittlere Grundwassernutzung QN heute ca.  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$  (vgl. Kap. 5.4.3.5., Tab. I, 55). Mehr als die Hälfte davon (ca. 55 %) wird durch den Gemeindeverband Vennersmühle in der Fännersmüli, Rüderswil entnommen und aus dem Untersuchungsgebiet ins Untere Emmental abgeleitet. Im Weiteren nutzen die öffentlichen Wasserversorgungen Lützelflüh und untergeordnet auch Zollbrück das Vorkommen.

Die Quellwassernutzung beläuft sich für die angrenzenden Einzugsgebiete lediglich auf ca.  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Der Gemeindeverband Wasserversorgung Vennersmühle hat für sein Fassungsgebiet (vgl. Kap. 4.3.3.3.) bereits das Schutzzonenverfahren gemäss dem bernischen Wassernutzungsgesetz von 1950/64/71 eingeleitet. Für die Grundwasserfassung Farbschachen der Wasserversorgung Lützelflüh (Kap. 4.3.3.4.) liegt ebenfalls ein Schutzzonenbericht vor. Für die übrigen Grundwasserfassungen des Untersuchungsgebietes fehlen Schutzzonenabklärungen.

### 6.2. Totales Grundwasserdargebot QT

Unter dem totalen Grundwasserdargebot QT verstehen wir die maximale Grundwassermenge (z.B.  $\text{m}^3/\text{s}$ ), welche aus einem Grundwasserleiter (ev. aus einem Teil des Grundwasserleiters) dauernd entnommen werden kann.

Das totale Grundwasserdargebot lässt sich für einen Grundwasserstrom (wie z.B. im Oberen Emmental), welcher oben und unten durch zwei Profile begrenzt wird, in folgende Mengenanteile unterteilen:

QO : Grundwasserzufluss durch das obere Profil

QU : Grundwasserabfluss durch das untere Profil

QN : Heute genutzte Grundwassermenge

QIN: Nutzbare Infiltrationsmenge aus  
- Oberflächengewässern  
- randlichem unterirdischem Zufluss (z.B. Hangwasser...)  
- Niederschlägen auf den Grundwasserleiter

QXN: Nutzbare Exfiltrationsmenge durch  
- Verhinderung oder Verminderung der Exfiltration in die Oberflächengewässer  
- Verkleinerung der Evapo-Transpiration (Verdunstung)

QDH: Entnahmemenge infolge Gefällsvergrösserung und Entleerung bei zusätzlicher Nutzung

QP : Pflichtwassermenge für Unter- und Oberlieger

QAN: Nutzbare Anreicherungsmenge

Formelmässig kann der Zusammenhang zwischen den einzelnen Mengenanteilen des totalen Grundwasserangebotes QT am besten als Funktion der Dargebotskennziffern DK dargestellt werden.

$$\underline{QT = f(QO, QN, QIN, QXN, QDH, QP, QAN, QU)} \quad (I, 45)$$

Diese Darstellung will den Einflussbereich auf QT aufzeigen. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit noch vermittelt sie Hinweise über die gegenseitige Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wassermengen.

Ein erster Schritt zur Bestimmung der einzelnen Werte besteht in der Ermittlung der einströmenden und ausströmenden Grundwassermengen in resp. aus dem betrachteten Grundwasserleiter, wie sie z.B. mit der stationären Bilanzierung von 1972 berechnet worden sind (Tab. I, 56).

In einen zweiten Schritt gilt es, für eine gesteigerte Grundwassernutzung unter Beachtung der vorhandenen und unter Einbezug neuer Fassungsköglichkeiten (evt. auch Anreicherungsanlagen) die Grenzen des Grundwasserangebotes und damit QT durch eine rechenmässige Simulation abzutasten und durch Grosspumpversuche zu erhärten. Da der notwendige Rechenaufwand für die Simulationen von Hand nicht zu bewältigen wäre, ist der Einsatz von Grosscomputern mit Programmen, wie sie z.B. von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH-Z (TROESCH, 1975) entwickelt worden sind, notwendig.

Für das vorliegende Untersuchungsgebiet betragen die ein- und ausströmenden Grundwassermengen im Jahre 1972 im Mittel 2550 l/s bei der vorhandenen Grundwassernutzung von ca. 200 l/s. Die mittlere Grundwassernutzung beträgt somit heute ca. 8 % der strömenden Grundwassermengen. Dabei kann angenommen werden, dass im Untersuchungsgebiet die heutige Grundwassernutzung hauptsächlich eine Veränderung der Infiltrations- resp. der Exfiltrationsströmungen bewirkt. Wie aus der stationären Bilanzierung hervorgeht (vgl. Tab. I, 56) hat die Exfiltration in die Emme mit einer mittleren Menge von ca. 1350 l/s die grösste Bedeutung. Die derzeitige mittlere Grundwasserentnahmemenge erreicht ca. 15 % dieser mittleren Exfiltrationsmenge.

### 6.3. Nutzbares Grundwasserangebot QDN

Das totale Grundwasserangebot QT steht heute selten voll für die Grundwassernutzung zur Verfügung. So können qualitative und quantitative Randbedingungen die der Grundwassergewinnung zur Verfügung stehenden Wassermengen einschränken und eine Reduktion von QT auf das sog. nutzbare Grundwasserangebot QDN bewirken.

Für die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes müssen neben den hydrogeologischen Randbedingungen, wie sie im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurden, zusätzlich gewässerschutztechnische, rechtliche und oekologische Gesichtspunkte beurteilt werden. Dazu zählen vor allem die Probleme im Zusammenhang mit folgenden Dargebotskennziffern:

QG : Gewässerschutztechnisch zulässige Entnahmemengen

QOE: Oekologisch zulässige Entnahmemenge

Sie erfassen beispielsweise die Ausscheidung von Schutzzonen und Schutzarealen, Gefahrenherde für Grund- und Oberflächenwasser, die Ueberbauung und Besiedlung, den Kiesabbau, die Pflichtwassermengen für Oberflächengewässer und Grundwasser-  
austritte, die land- und forstwirtschaftliche Nutzung usw.

Das nutzbare Grundwasserdargebot lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$\underline{QDN = f(QT, QG, QOE)} \quad (I, 46)$$

Wie schon in der Gleichung für QT ist die Bestimmung der einzelnen Parameter sowie ihr gegenseitiger Zusammenhang noch undefiniert. Vor allem stehen dabei nicht nur naturwissenschaftliche und technische Ueberlegungen im Vordergrund sondern auch volkswirtschaftliche und politische. Gilt es doch, die verschiedenen bestehenden und künftigen Nutzungsinteressen an den Oberflächengewässern, am Grundwasser und an den Grundwasserleitern zu erfassen, einander gegenüberzustellen und zu gewichten.

#### 6.4. Ausblick

Die bisherigen Untersuchungen im Rahmen der Siedlungswasserwirtschaftlichen Planung im oberen Emmental geben einen Einblick in die hydrogeologischen Verhältnisse und führen zu einer Grundwasserbilanzierung. Auf die Bestimmung des totalen und des nutzbaren Grundwasser-Dargebotes kann vorläufig verzichtet werden. Der Ausnutzungsgrad (vgl. 6.2.) ist heute noch so gering, dass die in diesem Gebiet zu erwartende geringfügige Entwicklung der Wassernutzung allein mit Hilfe der vorliegenden Resultate gesteuert werden kann.

Mit geeigneten Schutzarealen im Sinne des eidg. Gewässerschutzgesetzes von 1971 hat der Kanton dafür zu sorgen, dass die vorläufig nur in der Grössenordnung abschätzbaren Dargebote auch künftig voll nutzbar bleiben. Sollte es sich zeigen, dass das obere Emmental für eine überregionale Wasserversorgung Fassungen aufnehmen sollte, müsste allerdings das nutzbare Grundwasserdargebot ermittelt werden. Wie die Dargebotskennziffern zeigen, werden politische Ueberlegungen mitbestimmend, die Einflüsse der Grundwassernutzung auf die Umwelt und die Rechte und Interessen der Nachbarn müssen berücksichtigt und vor allem gewichtet werden. Die Bedeutung von QOE und QP lässt sich kaum genug hervorheben.

Die Infiltrations- und Exfiltrationsmengen (QIN, QXN), die Wassermenge aus zusätzlicher Nutzung (QDH), die gewässerschutztechnisch zulässige (QG) wie auch

die oekologisch zulässige Entnahmemenge (QOE) stehen in engem Zusammenhang mit der Wasserführung der Emme.

Als vorbereitende Schritte sind neben der Festlegung der Schutzareale sobald als möglich folgende Aufgaben an die Hand zu nehmen:

- Die Schutzzonen-Verfahren sind für alle wichtige Fassungen aufzunehmen oder weiterzuführen.
- Es muss geprüft werden, wie die bestehenden Fassungen in ein Verbundnetz integriert werden können, bevor weitere Brunnen für die regionale Versorgung erstellt werden.
- Der heutige Wasserverbrauch ist exakter zu erfassen.
- Der Grundwasserspiegelgang ist an den signifikanten Stellen permanent zu beobachten.
- Künftige Nutzungsinteressenten sind rechtzeitig auf die vorliegende Studie aufmerksam zu machen. Sie muss begleitend sein für die Anordnung und Ausnutzung künftiger Fassungen.

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Zielsetzung  
E 3\* - Erarbeiten eines Konzeptes für den mengen- und gütemässigen Schutz  
- Berechnen einer stationären Grundwasserbilanz

Bearbeiter  
E 4 Dr. C.R. Niggli, Rüfenacht; dipl. Geol. ETH N. Huonder im Büro petraqua Münsingen/Bern; dipl. Ing. A. Werner und Mitarbeiter, Burgdorf. Mit verwendet worden sind die Resultate der Dissertation WEBER 1974.

Untersuchtes Gebiet  
E 6 Grundwasserleiter der Emmentalsole und der sie begleitenden Terrassen im Raum zwischen den Zusammenflüssen Emme-Ilfis und Emme- Grüene.

Hydrogeologie  
1. Die vermutlich würmeiszeitlichen Schotter des 29 bis 54 m mächtigen Hauptgrundwasserleiters im Emmental lassen sich nicht untergliedern.

Für die Grundwassernutzung interessant sind, abgesehen vom Hauptgrundwasserleiter, nur die Terrassen, in die ein steter Zufluss aus dem Haupttal erfolgt (Zollbrück, Rüderswil und Waldhus).

Hydrochemie  
2. (I, 4)

Die in 54 Beobachtungsstellen durchgeführten Analysenreihen zeigen, dass das Grundwasser im allgemeinen Trinkwasserqualität aufweist. Allerdings machen sich lokal zu dieser Zeit noch Abwasserversickerungen bemerkbar. Auch ist in einzelnen Infiltrationsgebieten wegen der damals noch starken organischen Belastung der Oberflächengewässer das Grundwasser beeinträchtigt worden.

Hydrometrie  
Hydrographie  
3.1.

Die Untersuchungen berücksichtigen, abgesehen von einigen Beobachtungswerten, welche bis ins Jahr 1887 zurückgehen, vorwiegend Messdaten von Ende September 1968 bis Juni 1974 mit dem Schwerpunkt für das Jahr 1972.

Messstellen  
3.4.1. (I, 5)

Während der Zeit von 1968 - 1974 erfolgte der Aufbau eines umfangreichen Messstellennetzes für Niederschläge, Abflüsse und Grundwasserspiegelbeobachtungen.

Die Messresultate werden teilweise in der Dissertation WEBER, 1974, dargestellt und auszugsweise in unseren Tabellen und Beilagen aufgeführt, durch weitere Daten ergänzt und zusätzlich ausgewertet.

Niederschläge  
3.5.1. (I, 5)

Die Niederschlagshöhen betragen im Untersuchungsgebiet ca. 1000 mm im Jahr. Die Niederschläge konzentrieren sich vorwiegend auf das Sommerhalbjahr. Ungefähr 160 Tage pro Jahr weisen Niederschlagshöhen  $\geq 0,1$  mm auf.

Emmeabfluss  
3.6.2.3. (I, 5)

Für den Abfluss der Emme mit Ilfiskanal bei Emmenmatt ergibt das Jahresmittel für 1918 - 1967 wie für 1918 - 1973  $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die mittleren Monatsabflussmengen für 1918 - 1968 variieren zwischen  $7,7$  bis  $18,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Für die Monate März bis August liegen sie über dem Durchschnitt von  $11,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Während der Niederwasserperiode vom September 1971 bis März 1972 ergeben sich Monatsabflussmengen zwischen  $2,3$  bis  $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der minimale tägliche Abfluss erreicht für die Messperiode 1968 bis 1974 lediglich  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die maximale Abflussmenge bei der Hochwasserspitze vom 7.8.70 beträgt  $360$  bis  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die Dauerlinie der Wasserspiegeländerungen für 1972 ergeben einen Anstieg von  $33$  m in  $82$  Tagen und einen entsprechenden Rückgang in  $284$  Tagen. Das Hochwasser vom 22.9.68 bewirkte einen Anstiegs-

geschwindigkeit von 25 cm/h.

Grundwasser-  
spiegel  
3.6.3.2.  
(I, 2,5)

Der Schwankungsbereich zwischen dem maximalen und dem minimalen Grundwasserspiegel variiert örtlich zwischen 0,8 und 1,7 m. Die jährlichen durchschnittlichen Grundwasserspiegelanstiege liegen für die Jahre 1969 bis 1972 zwischen 5,0 und 6,5 m.

Extreme Anstiegs- und Rückgangsgeschwindigkeiten des Grundwasserspiegels liegen für den Schreibepegel Mungnau bei ca. 4 und ca. 1 cm/h; für den Schreibepegel Rüderswil, Moos, bei ca. 2,5 und 0,5 cm/h.

Die Darstellung der Grundwasserspiegelfläche erfolgt mit Isohypsen für die Simultanmessung vom 20.3.74.

Infiltrationen  
und Exfiltra-  
tionen im  
Emmegebiet  
3.6.2.2.  
3.6.4.2.  
(I, 2,5,6)

Aus den Auswertungen der Abflussmengenmessungen vom 8.11.72 geht hervor, dass zwischen Emmenmatt und Lützelflüh ca. 860 l/s Grundwasser in die Oberflächengewässer exfiltrieren. In den Bleichebach zwischen Pumpwerk Lützelflüh und Bleiche exfiltrieren ca. 250 l/s aus dem Emmegrundwasserstrom und der Waldhusterrasse (28.7.72; 12.5.73).

Die Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse sind hauptsächlich gestützt auf die Längen- und Querprofil Darstellungen für die Emme und den Grundwasserspiegel beurteilt worden.

Bei Hochwasser liegt der Emmewasserspiegel praktisch überall höher als der flussnahe Grundwasserspiegel und eine Infiltration ist solange möglich bis sich der Höhenunterschied abgebaut hat. Mit dem Rückgang des Emmewasserspiegels unter den durch die Hochwasserinfiltration angehobenen Grundwasserspiegel beginnt die Exfiltration.

Auch während Niederwasserperioden lassen sich eindeutig Exfiltrationszonen abgrenzen, Infiltrationszonen jedoch lediglich auf Grund der Wasserspiegeldifferenzen vermuten. Da aber bei lang andauernden Trockenperioden der Grundwasserspiegel, wie z.B. die Ganglinien zeigen, bei einem bestimmten Tiefstand praktisch nicht mehr weiter absinkt, obwohl in den Exfiltrationsstrecken eine sichtbare Exfiltration stattfindet, ist anzunehmen, dass auch während Niederwasserperioden die Infiltration nicht vollständig versiegt.

Das Emmehochwasser vom 21./23.11.72 gibt Hinweise über den Infiltrationsverlauf. Der Grundwasserspiegel steigt mit einer Verzögerung von ca. 6 bis 12 Stunden gegenüber dem Emmespiegel in ca. 35 Stunden ca. 1 m an. Eine Ueberschlagsrechnung ergibt dabei für das Gebiet Rüderswil, Moos, einen hochwasserbedingten

Infiltrationszuwachs von ca. 3 m<sup>3</sup>/h und Laufmeter Emme. Für das Gebiet Mungnau beträgt die Abnahme der Exfiltrationsmenge ca. 3,5 m<sup>3</sup>/h und Laufmeter Emme.

Der Zusammenhang zwischen Abflussvolumenzuwachs der Emme und Grundwasserspiegelanstieg erweist sich ungefähr als linear. Pro 1 Million m<sup>3</sup> Hochwasserabfluss entsteht in der Mungnau ein Grundwasserspiegelanstieg von 3 bis 5 cm.

3.3.3.  
(I, 5)

Interessante Auswertungen lassen sich mit den seit 1900 periodisch vom ASF durchgeführten Längenprofilaufnahmen der Emme vornehmen. Sie zeigen, dass die Emmesohle heute im Vergleich zu 1900/01 an der Oberwasserseite der Querswellen (ausgenommen beim Wehr in Emmenmatt) 0,4 - 2,5 m und an der Unterwasserseite 0,7 - 4,6 m tiefer liegt.

Für die Abflussmengen-Messstation des A+W an der Emme bei Emmenmatt sind ebenfalls langjährige Messergebnisse vorhanden. Für die Messperiode 1918 - 1967 beträgt die durchschnittliche Jahresabflussmenge 11,7 m<sup>3</sup>/s; die grösste mittlere 16,7 m<sup>3</sup>/s; die kleinste mittlere 4,9 m<sup>3</sup>/s.

Die ersten bekannten Grundwasserspiegelmessungen gehen bis ins Jahr 1887 zurück. Leider fehlen Angaben über Meereshöhen, sodass erst die Messungen von 1924 aufgeführt im "Expertenbericht zu Handen der Baudirektion des Kantons Bern betreffend Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern" einige Höhenkoten bringen. In ihm wird darauf hingewiesen, dass Fluss- und Grundwasser ein einheitliches Ganzes bilden und für den Rückgang des Grundwassers bis 1924 ohne Zweifel die Sohlenvertiefung der Emme in weitaus überwiegender Masse verantwortlich ist.

Grundwasser-  
Spiegelge-  
fälle  
3.6.4.5.  
(I, 2,5)

Das Grundwasserspiegelgefälle wird von der räumlichen Ausdehnung und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und von der Infiltration und Exfiltration sowie der sich vereinigenden Grundwasserströme der Emme, Ilfis und Grüene beeinflusst. Das mittlere Spiegelgefälle in der Längenprofilaxe beträgt zwischen Emmenmatt und Ramsei 7 o/oo.

Infiltration  
randlicher  
Zuflüsse  
3.6.5.  
(I, 6)

Die Infiltration aus randlichen Zuflüssen lässt sich lediglich abschätzen. Aus Vergleichsbetrachtungen zeigt sich, dass sie zu ca. 20 % des Niederschlages auf das seitliche Einzugsgebiet angenommen werden kann.

Grundwasser-  
hydraulik

Die Hydrologischen Kennziffern werden mit Gross- und Kleinpumpversuchen sowie Markierversuchen bestimmt.

Methodik  
4.1. u. 2.

Die Berechnung des Punkt-k-Wertes erfolgt nach der Theorie von KOERNER.

Die Berechnung des Profil-k-Wertes berücksichtigt die modifizierte DUPUITformel und eine Korrekturrechnung für die Reibungsverluste innerhalb des Filterrohres sowie teilweise die Theorie von KOERNER.

Der Gebiets-k-Wert und auch die nutzbare Porosität können lediglich mit Grosspumpversuchen unter Anwendung von Auswertverfahren, welche die instationären Strömungszustände (Differentialgleichung von THEIS) berücksichtigen, einwandfrei bestimmt werden. Unter Einsatz des Computers lassen sich zudem wesentliche Feldgrössen in die Berechnung einführen und die Berechnungsergebnisse mit den gemessenen Werten vergleichen und fehlertheoretisch beurteilen.

Resultate  
4.3.  
(I, 5,6)

Die ermittelten Punkt-k-Werte liegen zwischen  $0,14 \cdot 10^{-3}$  und  $14 \cdot 10^{-3}$  m/s mit dem einfachen arithmetischen Mittel von  $2,7 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Die Profil-k-Werte variieren zwischen  $1,2 \cdot 10^{-3}$  und  $6,2 \cdot 10^{-3}$  m/s. In den Rotationskernbohrungen liegt der Durchschnittswert bei  $2,1 \cdot 10^{-3}$  m/s, in den bestehenden Grundwasserfassungen bei  $3,6 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Die Punkt-k-Werte wie auch die Profil-k-Werte vermitteln infolge der angewandten resp. zur Verfügung stehenden Auswertungsverfahren zu kleine Durchlässigkeitsbeiwerte .

Die Gebiets-k-Werte aus den 5 Grosspumpversuchen liegen zwischen  $5,8 \cdot 10^{-3}$  und  $11,0 \cdot 10^{-3}$  m/s. Sie charakterisieren die mittleren Durchlässigkeitsverhältnisse im Emmental wohl am zutreffendsten.

Die nutzbare Porosität ergibt sich aus den Computerauswertungen der Grosspumpversuche Rüderswil, Zollbrück und Signau zu 14 bis 18 % bei einem Mittelwert von 17 %.

Die Resultate der 4 Markierversuche deuten generell darauf hin, dass die mittleren Abstandsgeschwindigkeiten 1 bis 2,3 m/h betragen und 5 bis 12 mal kleiner sind als die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten von 10,8 bis 21 m/h.

Der Vergleich der mittleren Abstandsgeschwindigkeiten mit den mittleren Sickergeschwindigkeiten, berechnet aus den betreffenden Gebiets-k-Werten, Grundwasserspiegelgefällen und nutzbaren Porositäten, ergibt eine sehr gute Uebereinstimmung.

Grundwasser-  
Bilanzierung  
Allgemeines  
5.1.3.

Die Grundwasserbilanzierung bezweckt, Grundlagen für die Bestimmung des Grundwasserangebotes zu erarbeiten. Sie will insbesondere die Zu- und Abflüsse in und aus dem Bilanzierungskörper d.h. der Unterwasserspiegelzone des Grundwasserleiters quantitativ erfassen. Dies erfordert die Einführung eines Bilanzierungsmodells mit lösbaren Bilanzierungsgleichungen für stationäre und instationäre Zu- und Abflussverhältnisse.

Die Bilanzierungskennziffern werden teilweise aus den Hydrologischen Kennziffern ermittelt, aus Mittelwerten von Messungen bestimmt oder durch Vergleichsbetrachtungen geschätzt. Mangels entsprechender Untersuchungen lassen sich die Bilanzierungskennziffern für die Infiltrations- resp. Exfiltrationsmengen der Oberflächengewässer nicht voneinander trennen.

Resultate  
5.4.  
(I, 2,6)

Die Grundwasserbilanzierung Oberes Emmental umfasst den Grundwasserleiter zwischen den Zusammenflussgebieten Emme/Ilfis und Emme/Grüne, unterteilt in 6 Bilanzierungsgebietsabschnitte.

Das Unterwasserspiegelvolumen des Bilanzierungskörpers beträgt ca. 170 Millionen m<sup>3</sup>. Bei einer nutzbaren Porosität von 17 % ergibt sich ein entsprechendes Grundwasservolumen von 29 Millionen m<sup>3</sup>. Infolge der natürlichen Grundwasserspiegelschwankungen verändert sich das Volumen des Grundwassers lediglich um ca. 7 %.

Die Berechnung der Durchflussmengen durch die Bilanzierungsprofile und -Profilabschnitte erfolgt nach dem Gesetz von DARCY beinahe durchwegs mit einem k-Wert von  $7 \cdot 10^{-3}$  m/s, mit den mittleren Grundwasserspiegelgefällen vom 20.3.74, welche zwischen 6,4 und 10,0 o/oo liegen und mit den Durchflussflächen bei einem mittleren Grundwasserstand von 1972.

Die Genauigkeitsbetrachtungen für die stationäre Bilanzierung zeigen, dass den Durchflussmengen in den Bilanzierungsprofilen die grösste Bedeutung zukommt. Der mittlere Fehler an den Durchflussmengen dürfte ungefähr bei  $\pm 20$  % liegen.

Die Infiltrationsmengen aus den randlichen unterirdischen Zuflüssen entstehen aus der Versickerung der Niederschläge und der Infiltration der Oberflächengewässer in den angrenzenden hydrologischen Einzugsgebieten. Dieser Grundwasserzufluss wird mit 20 % der Niederschlagshöhe von 1000 mm im Jahre 1972 angenommen.

Die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag auf den Grundwasserleiter wird zu 50 % der Niederschlagsmenge von 1972 angenommen.

Die Infiltrationsmengen der direkt auf den Grundwasserleiter fallenden Niederschläge und aus den randlichen Zuflüssen fallen bei der Bilanzierung wenig ins Gewicht. Die Fehler infolge ihrer groben Abschätzung wirken sich auf die Gesamtbilanz kaum aus.

Innerhalb des Bilanzierungsgebietes finden lediglich der Grundwasseraustritt im Tannschachen mit einer mittleren Exfiltrationsmenge von 60 l/s und die in die Emme abgeleitete Quellfassung Winkelmatte mit 100 l/s als gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmenge Eingang in die Bilanzierung.

Für die genutzte Grundwassermenge im Jahr 1972 fällt insbesondere die Wasserentnahme der Grossverbraucher (öffentliche Wasserversorgungen sowie Industrie und Gewerbe) von ca. 200 l/s ins Gewicht.

Die stationäre Bilanzierung ergibt für das Jahr 1972 für das gesamte Bilanzierungsgebiet einen mittleren Exfiltrationsüberschuss von 1170 l/s, welcher vorwiegend in die Emme fliesst, bei einem mittleren Infiltrationsanteil von ca. 180 l/s und einem mittleren Exfiltrationsanteil von ca. 1350 l/s.

Eine instationäre Bilanzierung lässt sich mit dem geführten Untersuchungsaufwand nicht vornehmen.

Für den extremen Grundwasserspiegelanstieg zwischen 22.11.1972, 06.00 Uhr und 23.11.1972, 12.00 Uhr - also während 30 Stunden - ergibt sich ein Infiltrationszuwachs für das Bilanzierungsgebiet von ca. 9500 l/s. Dies sind pro Laufmeter Grundwasserstrom ca. 1 l/s oder pro m<sup>2</sup> Gewässerbett ca. 2,5 m<sup>3</sup>/d.

Ein grosser Teil des Grundwasserzuwachses entsteht innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne. Für das Jahr 1972 beträgt im Bilanzierungsgebiet dieses Zuwachsvolumen ca. 7,4 Millionen m<sup>3</sup>. Davon fallen ca. 1,1 Millionen m<sup>3</sup> auf die Grundwasserbildung während lediglich 30 Stunden und ca. 5,8 Mio. m<sup>3</sup> auf die Grundwasserbildung während 720 Stunden.

Ausblick  
Grundwasser-  
nutzung  
6.1.-3.

Die mittlere Grundwassernutzung im Untersuchungsgebiet beträgt heute ca. 200 l/s, d.h. ca. 8 % der mittleren strömenden Grundwassermengen von 2550 l/s und ca. 15 % der mittleren Exfiltrationsmenge von 1350 l/s. Dieser Ausbeutungsgrad ist so gering, dass es im Hinblick auf die zu erwartende Nutzungssteigerung in der Region nicht notwendig ist, mit zusätzlichen Abklärungen das nutzbare Dargebot zu bestimmen.

Sollte das Gebiet die überregionale Wasserversorgung beliefern müssen, wäre allerdings diese Aufgabe an die Hand zu nehmen.

Aufgaben  
6.4.

- Schutzzonen und -areale sind auszuscheiden, damit das Dargebot nutzbar bleibt.
- Die signifikanten Daten über Wasserverbrauch und Grundwasserspiegelgang sind künftig zu erfassen.
- Verbundnetze sind zu prüfen, bevor weitere Nutzungsstellen gestützt auf die vorgestellten Resultate festgelegt werden.

\* E 3 = Kapitelnummer  
(I, 4) = Beilagennummer

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

## A. PUBLIKATIONEN

- ARBENZ, P., FREIBURGHANUS & PETER, H. (1925): Wasserableitung aus dem Emmental durch die Stadt Bern. Expertenbericht zu Hd. der Baudirektion des Kantons Bern - Bern (Rutishauser & Ludwig).
- BEYER, W.D. (1964): Die Erfassung von Grundwasserfliessvorgängen mittels Farbstoffen in Verbindung mit Pumpversuchen - Zeitschrift Angewandte Geologie 10, 6: 295.
- BLOCH, T. (1972): Beiträge zur Hydrologie des Unteren Emmentals - Solothurn (Gassmann).
- BUSCH, K.F. & LUCKNER, L. (1972): Geohydraulik - Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- DELLA VALLE, G. (1965): Geologische Untersuchungen in der miozänen Molasse des Blasenfluhgebietes - Mitt. natf. Ges. Bern NF 22: 87 - 181.
- DUPUIT, A.J. (1863): Etudes théorétiques et pratiques sur le mouvement des eaux à travers les terrains perméables - Paris.
- EHRENBERGER, R. (1928): Versuche über die Ergiebigkeit von Brunnen und Bestimmung der Durchlässigkeit des Sandes - Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, Heft 9/10.
- EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT (jährlich): Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz - Bern (A+W).
- GERBER E. (1941): Ueber Höhengschotter zwischen Emmental und Aaretal - Eclogae geol. Helv. 34/1: 1 - 16.
- GERBER, E. (1950): Geol. Atlas der Schweiz 1: 25000, Blatt 22: Fraubrunnen-Burgdorf, mit Erläuterungen - Bern (Kümmerly & Frey).
- HERTH, W. und ARNDTS, E. (1973): Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung - Berlin/München/Düsseldorf (Wilhelm Ernst & Sohn).
- KEZDI, A. (1969): Handbuch der Bodenmechanik (Bd. I) - Berlin (VEB Verlag für Bauwesen).
- KOERNER, H. (1957): Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen im Bauzustand - Die Wasserwirtschaft, Stuttgart, Heft 8.

- LANG, H.J. (1974): Grundsätzliche Einflüsse des Grundwassers auf den Boden - Schweiz. Bauzeitung, Heft 18.
- LIECHTI, W. (1928): Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis - Beitr. geol. Karte Schweiz NF 61.
- NUSSBAUM, F. (1910): Talbildung im Napfgebiet - Verh. schweiz. natf. Ges. 93, Basel, 1: 212 - 215.
- RUTSCH, R.F. (1951): Geologische Probleme der Erschliessung unterirdischer Wasservorkommen - Monatsbull. SVGW April 1951.
- SCHWEIZ. METEOROLOGISCHE ZENTRALANSTALT (jährlich): Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den meteorologischen und Regenmess-Stationen in der Schweiz - Zürich (MZA).
- THEIS, C.V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of well using ground-water storage - Trans. amer. geophys. Union, 16, 513 - 524.
- THIEM, A. (1870): Ueber die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher, Schachtbrunnen und Filtergalerien - Z. Gas und Wasserversorgung.
- TROESCH, J. (1975): Numerische Simulation Dupuit'scher Grundwasserströmungen - Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETHZ, Nr. 15.
- TRUEB, E. (1962/63): Erkundung und Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen - Monatsbull. SVGW, Zürich, Heft 12/62 und Heft 1+2/63.
- WERNER, A. (1965): Zur neuzeitlichen Erkundung von Grundwasservorkommen am Beispiel der Wasserversorgung der Stadt Winterthur - Monatsbull. SVGW, Zürich, Heft. 2 - 3.
- WERNER, A. (1974): Moderne Methoden der Grundwasserprospektion und des Grundwasserschutzes für die Grundwassernutzung von heute und morgen - Monatsbull. SVGW, Zürich, GWA, Heft 11.
- WIEDERHOLD, W. (1961): Die raumzeitliche Verhältnisse des Senktrichters eines Brunnens im Grundwasser mit freier Oberfläche - Frankfurt (ZfGW-Verlag).
- WIEDERHOLD, W. (1965): Theorie und Praxis des hydrologischen Pumpversuches - gwf, Heft 34.

## B. NICHT VERÖFFENTLICHTE, FUER DIESE ARBEIT WICHTIGE QUELLEN

- EIDG. AMT FUER STRASSEN- UND FLUSSBAU (1962/69/70): Längenprofil der Emme, II. und III. Sektion - Bern (ASF).
- EIDG. AMT FUER STRASSEN- UND FLUSSBAU (1973): Längenprofil der Ilfis- Bern (ASF).
- FURRER, H. (1949): Geologischer Bericht zur Grundwasserkarte der Flussgebiete 39 und 40: Emme oberhalb Emmenmatt und Ilfis; ausgearbeitet im Auftrage des kantonalen WEA Bern.
- NIGGLI, C.R. (1972/a): Teilbericht Lauperswil. Bericht über die hydrogeologischen Untersuchungen 1969 - 1972; ausgearbeitet im Auftrag des kantonalen WEA Bern.
- NIGGLI, C.R. (1972/b): Teilbericht Signau. Bericht über die hydrogeologischen Untersuchungen 1969 - 1972; ausgearbeitet im Auftrag des kantonalen WEA Bern.
- NIGGLI, C.R. (1972/c): Grundwasser Emmental, konzessionierte und effektive Entnahmemengen - Dok. WEA/Geologie.
- NIGGLI, C.R. & WERNER, A. (1972): Hydrogeologie Emmental; Zwischenbericht 1971; ausgearbeitet im Auftrage des kantonalen WEA Bern.
- RUTSCH, R.F. (1951): Geologischer Bericht über die Grundwasservorkommen im Flussgebiet 41: Emme, Ilfis bis Grüene; ausgearbeitet im Auftrage des kantonalen WEA Bern.
- RUTSCH, R.F. (1952): Geologischer Bericht über die Grundwasservorkommen im Flussgebiet 42: Emme, Lützelflüh bis Burgdorf; ausgeführt im Auftrag des kantonalen WEA Bern.
- RUTSCH, R.F. (1963): Bericht über den Färbversuch Vennersmühle vom 27.8. - 11.9.1963 - Dok. WEA/Geologie, Dok, Nr. UP 1168.1/6/1/4.
- RUTSCH, R.F. (1968): Ergebnisse der Pump- und Färbversuche im Filterbrunnen Nidermoos - Dok. WEA/Geologie, Dok. Nr. 627.198/1+3.
- SCHARDT, H. (1907): Grundwasserquellen im Emmental bei Rüderswil und Zollbrück - Dok. WEA/Geologie, Dok. Nr. LK 1168/8/1.
- UNBEKANNT (1903): Pegelablesung der Grundwasserstände auf dem linken und rechten Ufer der Emme zunächst Zollbrück - Dok. WEA/Geologie.
- WEA/GEOLOGIE (1975): Grundlagenkarten - Dok. WEA/Geologie.

- WEBER, O. (1974): Beiträge zur Hydrologie des Oberen Emmentals - Inauguraldissertation der philosophischen naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern.
- WERNER, A. (1972): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Wasserversorgung Trubschachen - Dok. WEA/Geologie.
- WERNER, A. (1973): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Gemeinde Lützelflüh im Farbschachen - Dok. WEA/Geologie.
- WERNER, A. (1974): Hydrologische Untersuchungen zur Schutzzonenabklärung im Fassungsgebiet Fännersmüli (Rüderswil) des Gemeindeverbandes Wasserversorgung Vennersmühle - Dok. WEA/Geologie.
- WERNER, A. (1975): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Gemeinde Signau in Schüpbach - Dok. WEA/Geologie.
- WERNER, A. (1976): Hydrologische Auswertung der Baugrubenentwässerung für das Sekundarschulhaus Zollbrück - Dok. WEA/Geologie, Dok. Nr. 622.202.



# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Emmental Teil I: Oberes Emmental 1:25 000

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

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
Bearbeitung: petraqa, Münsingen/Bern  
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

- Allgemeine Angaben**
- Fortlaufende Ordnungsnummer innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
  - Wichtiges offenes Gewässer
  - Wichtiger Ort
  - Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20. 3. 74
  - Bohrung innerhalb des abgebildeten Blockes liegend
  - Bohrung ausserhalb des abgebildeten Blockes liegend
  - X Lage eines Blockbildes, vgl. topogr. Übersichtskarte 1:100 000 u. Beilage I, 3

- Lithologie**
- Silt-Ton
  - Kies, rund/eckig
  - Sand
  - Steine, Blöcke
  - Lithologische Grenze

**Chronostratigraphische Zuordnung**

Holocaen	Gehängeschutt		gs
	Talalluvionen		a
Pleistocaen	Würm	jüng. Würmschotter	q 4 js
		Stauschotter	q 4 st
		Stauletten	q 4 l
	Riss	Moräne	q 3 m
Miocaen	Prae-b. Früh-Riss?	Schotter	q 3 s-2s
	Tortonien ?		m 3 ?
	Helvétien s. I.		m 2

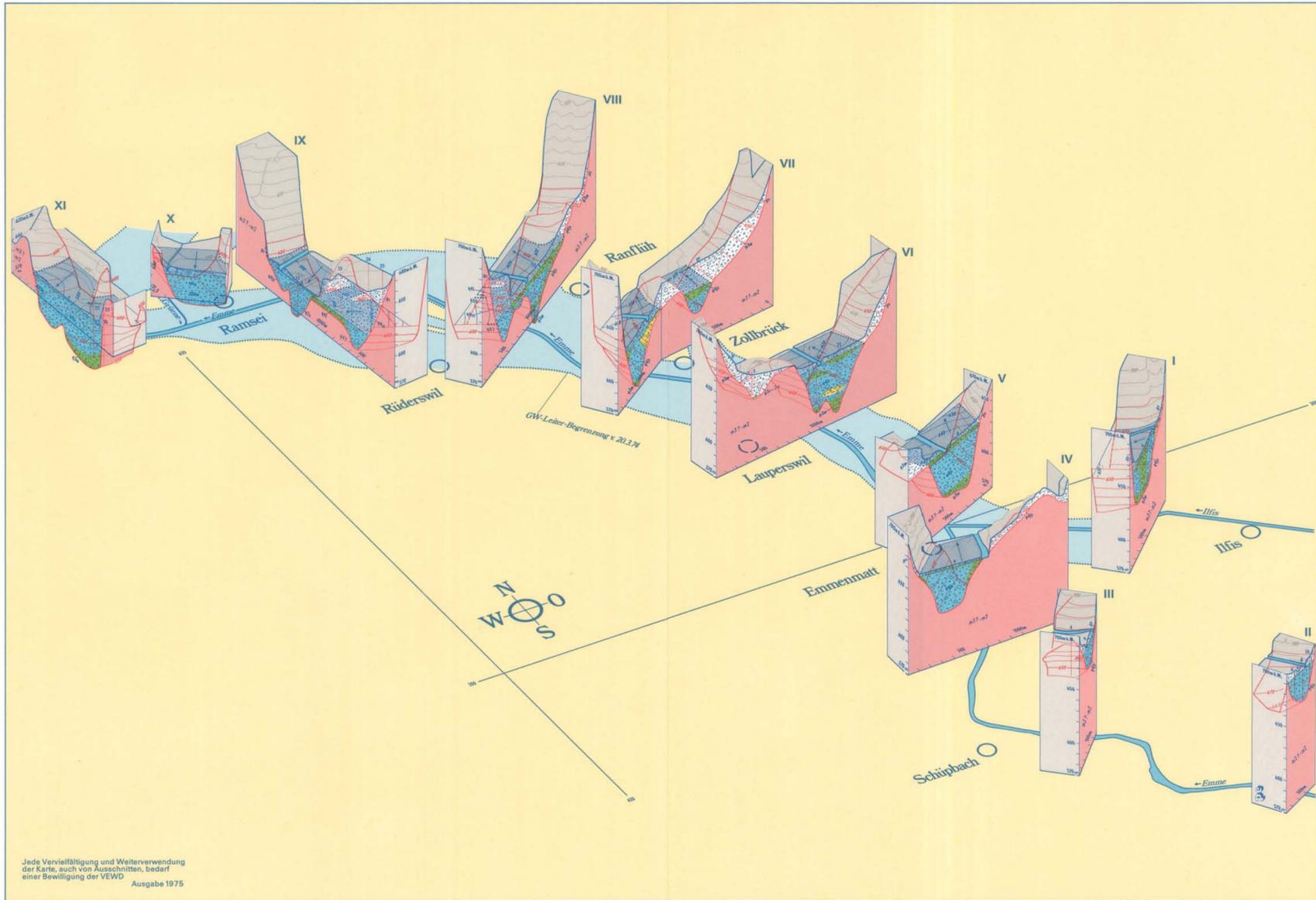
- Durchlässigkeitsbereiche**
- Durchlässigkeitsbeiwerte
  - Gross  $\geq 2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3}$  m/s
  - Mittel  $2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$  m/s
  - Klein  $2 \cdot 10^{-4} < 10^{-5}$  m/s
  - Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

- Isohypsen der Geländeoberfläche**
- Isohypse, Aequidistanz 10 m
  - 100 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.
  - Zwischenkurve, Aequidistanz 5 m

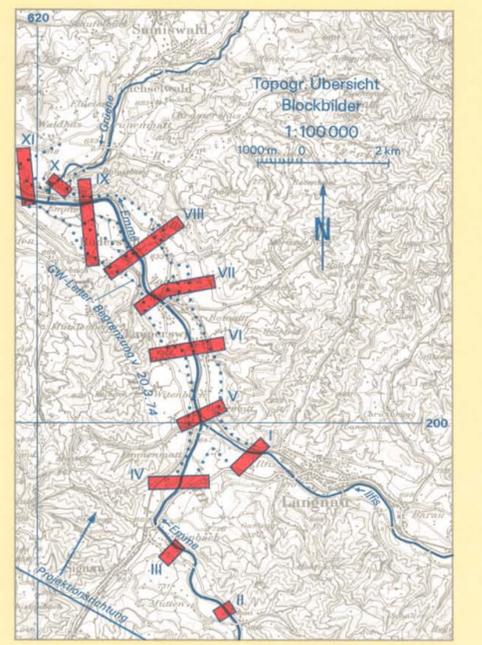
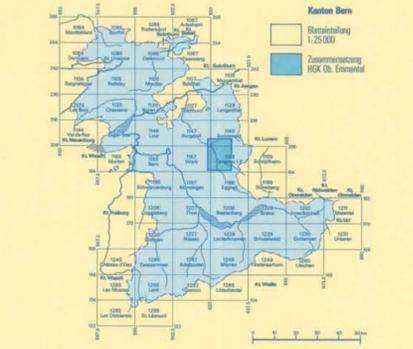
- Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 20. 3. 1974**
- (Spiegelhöhe im Blockbild ungefähr einem mittleren Grundwasserstand der Beobachtungsperiode Sept. 1968 bis Juni 1974 entsprechend, vgl. Beilage I, 2)
- Isohypse mit Höhenkote, Aequidistanz 1 m
  - Grundwasser-Fließrichtung

- Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers (Molasse)**
- vgl. Beilage I, 2
- Isohypse, Aequidistanz 10 m
  - 50 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text  
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt  
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern  
Reprographie, Druck: Aerni-Lauch AG, Bern



Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung der VEWD. Ausgabe 1975



Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landes-topographie v. 21.12.75

# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Emmental Teil I: Oberes Emmental 1:25 000

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels  
Isohypsen des Grundwasser-Stauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
Bearbeitung: petraqa, Münsingen/Bern  
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
(WEA)

### Allgemeine Angaben

- 20 Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Wichtiges offenes Gewässer
- ..... Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20. 3. 1974
- Angabe fraglich

**Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 20.3.1974**, die ungefähr einem mittleren Grundwasserstand der Beobachtungsperiode Sept. 1968 bis Juni 1974 entsprechen

- Grundwasser-Spiegel-Isohypsen
- Aequidistanz 1 m<sup>1)</sup>
- 5 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.<sup>1)</sup>
- Grundwasser-Fließrichtung

### Grundwasser-Beobachtungsstellen<sup>2)</sup>

- Vertikalfilterbrunnen
- Rammbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Piezrohr
- Grundwasser-Schreibpegel
- 38 Grundwasser-Spiegelhöhe vom 20. 3. 74 in m ab nächst tieferer 1 m-Isohypse, z.B. 640.38

### Grundwasseraustritte, den Grundwasser-Spiegel beeinflussend

- Quelle ungefasst/gefasst
- ..... Grundwasseraustritt in verteilter Form ungefasst/gefasst in Sickerleitung

### Isohypsen des Emme- resp. Ilfis-Spiegels vom 20. 3. 1974

- Tagesmittel
- Emme- resp. Ilfis-Spiegel-Isohypsen
- Aequidistanz 1 m
- 5 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.

### Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen<sup>2)</sup>

- Wasserstands-Lattenpegel resp. Abstichpunkt; Zahl = Spiegelhöhe vom 20. 3. 74 in m ab nächst tieferer 10 m-Isohypse, z.B. 595.50
- Abfluss-Schreibpegel
- Eidgenössische Beobachtungsstelle

### Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers (Molasse)

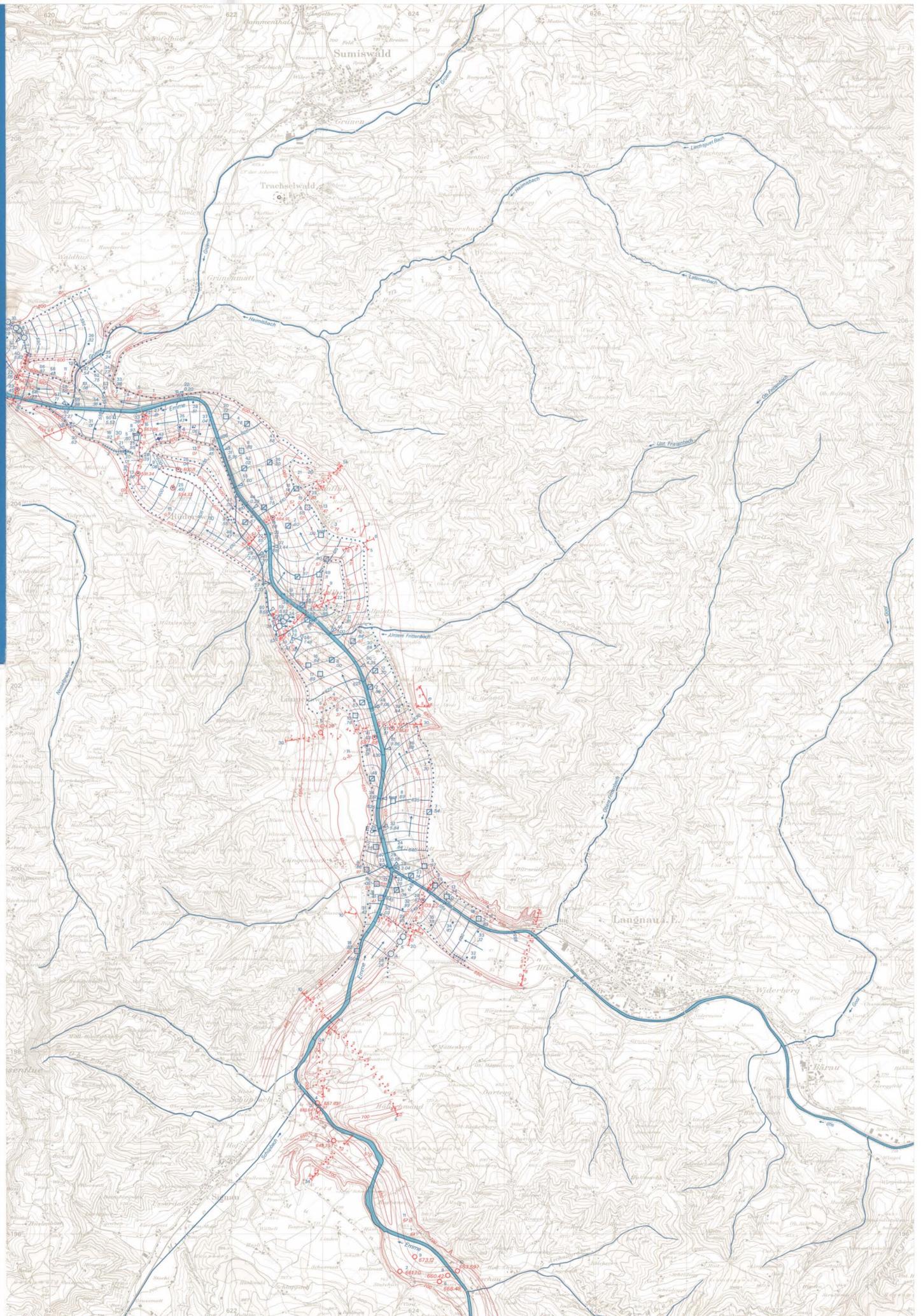
- Stauer-Isohypsen
- Aequidistanz 10 m<sup>1)</sup>
- 50 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.<sup>1)</sup>

### Sondierungen

- Kern-Bohrung, Zahl = Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche in m ü. M.
- Andere Sondierung
- Geophysikalisches Profil mit Sondierpunkten
- 7 Höhe der Grundwasserstauer-Oberfläche ab nächst tieferer 10 m-Isohypse, z.B. 597

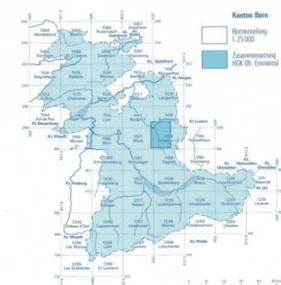
<sup>1)</sup> Bei den Isohyphen darstellungen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden. Die Anordnung der Beobachtungspunkte erlaubt dem Betrachter, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

<sup>2)</sup> Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen wiedergegeben werden.



Reproduziert mit Bewilligung der  
Eidg. Landesopographie v. 31.12.75

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text  
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt  
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern  
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern





# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Emmental Teil I: Oberes Emmental 1:25 000

### Hydrochemie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
Bearbeitung: petraqa, Münsingen/Bern  
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

#### Allgemeine Angaben

- 27 Fortlaufende Ordnungsnummer der Probeentnahmestelle innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- G Öffentliche Fassungsanlage
- Entnahmestelle für:
  - Grundwasser, Quellwasser
  - Oberflächenwasser
- B Bakteriologische Analyse **genügend** für Trinkwasser
- b Bakteriologische Analyse **ungenügend** für Trinkwasser
- A Wasser-Aufbereitung schwierig, vgl. Konzentrationsmaßstäbe

#### Hydrochemisch wirksame Faktoren

- Wichtiges offenes Gewässer
- Sumpf-, Moorgebiet
- Drainiertes Gebiet
- Grundwasser Anreicherungsanlage
- ▲▲ Künstliche Ablagerung, Kehricht
- ▲▲▲ Künstliche Ablagerung, Bauschutt
- Frühere Versickerung einer wassergefährdenden Flüssigkeit
- ← Abwasser Einleitung in einen Vorfluter

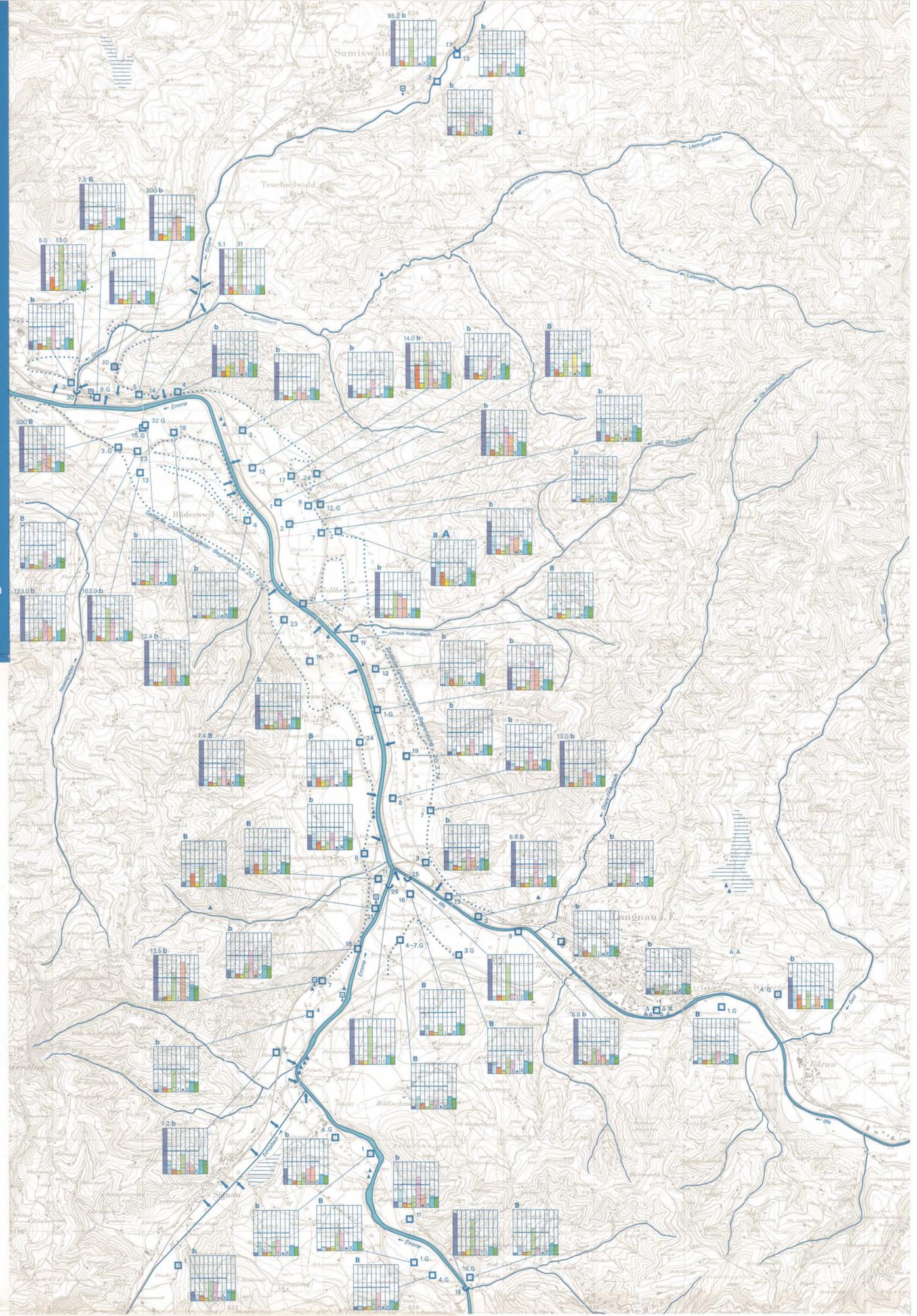
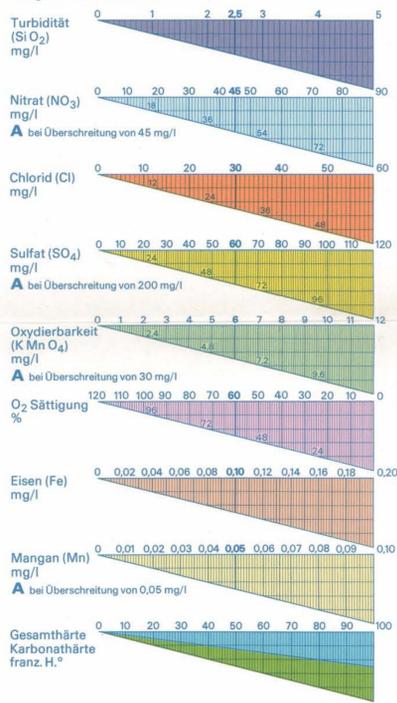
#### Darstellung der Analyseergebnisse

(abgewandelt nach: F. Preul, 1958)  
Die horizontale **Mittellinie** bezeichnet bei Grundwasseranalysen die im Kanton Bern für Trinkwasser höchst zulässige Konzentration (bzw. niedrigste, O<sub>2</sub> Sättigung); vgl. **Mittellinie** an den Konzentrationsdreiecken

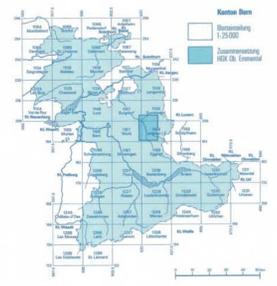
- 150 Maximalwert farbig ausgefüllt
- 130 Effektive Grösse der Komponente in franz. H.°, mg/l, %
- Minimalwert durch einen Strich begrenzt
- Untersucht und in Spuren nachgewiesen
- Untersucht und nicht nachgewiesen
- Nicht untersucht

#### Konzentrationsmaßstäbe

(für das Ablesen der Säulenhöhe dienen die Lote auf den waagrechten Maßstäben)



Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text  
 Grundwasser-Analysen, Kant. Labor am: 2.12.-4.12.69, 28.4.-30.4.70, 16.6.-18.6.70, 10.8.-12.8.70, 20.1.-22.1.71, 7.7.-9.7.71, 26.7.-17.8.72, 7.3.-14.3.73  
 Oberflächenwasser-Analysen, Kant. Gewässerschutzlabor am: 7.8.-9.8.72  
 Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt  
 Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern  
 Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern



Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung der VEWO Ausgabe 1976

# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Emmental Teil I: Oberes Emmental 1:25000 Hydrographie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
Bearbeitung: petraqna, Münsingen/Bern  
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

### Situation

#### Allgemeine Angaben

- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20. 3. 1974
- Oberflächengewässer-Kilometrierung, für die Emme beginnend mit km 0.0 bei der Kantonsgrenze Solothurn/Bern; für die Iflis, resp. Grüene, beginnend mit km 0.0 bei der Einmündung in die Emme
- Wehr, Schwelle
- Längen- und Querprofilen
- Zahl = Oberflächengewässer-Kilometrierung
- Markierungsversuch
- Zahl = mittlere Abstandsgewindigkeit in m/d
- Anlage aufgegeben

#### Niederschlags-Messungen

vgl. auch Diagramme: Jährliche- und Tägliche Niederschlagshöhen

#### Oberflächenwasser-Messungen

vgl. auch Diagramme: Mittlere Jahresabflussmenge; Gängelinie des Wasserspiegels

#### Grundwasser-Messungen und -Beobachtungen

vgl. auch Diagramme: Summe der Grundwasser-Spiegel-Anstiege; Gängelinie des Grundwasser-Spiegels

#### Hydrographische Profile

Projektion  
Abbildungsgesetz  $L' = \frac{L}{100000}$  wobei  $L' = 1 \text{ km} \rightarrow 1'' = 1 \text{ (km)}$

Beispiel Koord. 621/204-205  $1'' = \frac{1}{0,91} = 0,425 - 0,47 \text{ km}$

- 2500 Ausstritt in verteilter Form/ gefasst in Sickerleitung
- 13.2.71 Zahl = mittlere Entnahmemenge in l/min
- 14.2.71 Wöchentliche Abstände während mindestens einem Jahr
- Schreibpegel
- Zahl = Beobachtungsperiode
- Konzessionierte Entnahmemengen, Schüttungen in l/min
- unbekannt
- 5-25
- 28-100
- 101-250
- 251-1000
- 1001-5000
- 5001-10000
- 10001-50000
- >50000

Oberflächenwasser  
Emme- bzw. Iflis-Spiegel vom 20. 3. 74 (Tagesmittel)  
Hochwasser vom 22. 9. 1968 (an Spuren festgestellt)  
Edg. hydrometrische Station Emme, Emmenmatt Koord. 623/200, Ord.-Nr. 25; Abfluss von 3.00-5.00 h 430-470 m<sup>3</sup>/s, max. Hochwasserspitze seit 1918

Emme- (bzw. Iflis-) Sohle, mittlere Höhe von 1900/01 (keine Angabe) 1926/31 (1937) 1962/69 (1973) 1938 Wehr, Schwelle Zahl = Baujahr

Grundwasser  
Grundwasser-Spiegel vom 20. 3. 74 in Längen- und Querprofilen Vermuteter Schwankungsbereich

Summe der Grundwasser-Spiegel-Anstiege

- Keine periodischen Messungen vorhanden
- Vermutet
- Gemessen mit wöchentlichen Abständen
- Gemessen mit Schreibpegel
- Kalenderjahre 1969-1973
- Fortlaufende Ordnungsnummer (19)
- Grundwasser-Spiegel
- Hochstand gemessen mit -7-Schreibpegel
- 8-Wöchentlichen Abständen
- 9 vom 20. 3. 74 (ungefähr Mittelstand)
- 10 Tiefstand, gemessen mit wöchentlichen Abständen

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text

Verwendete Literatur, vgl. Literaturverzeichnis

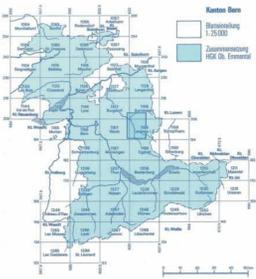
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt

Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern

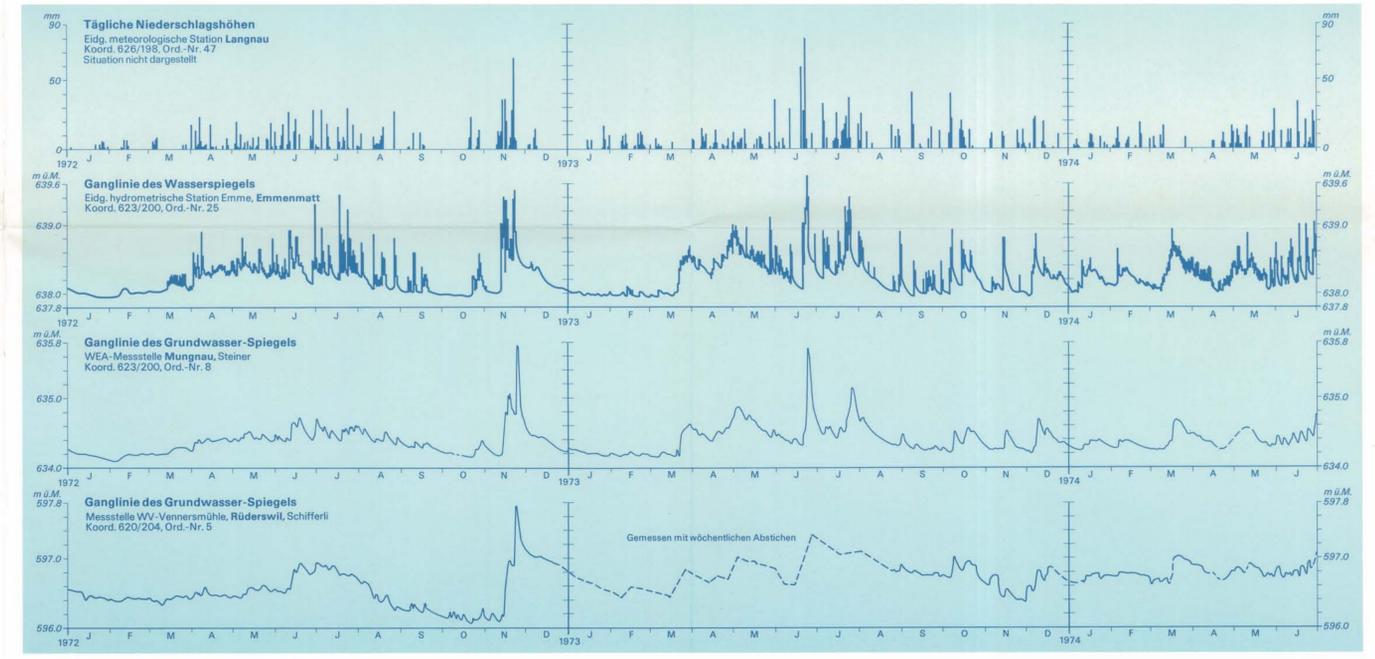
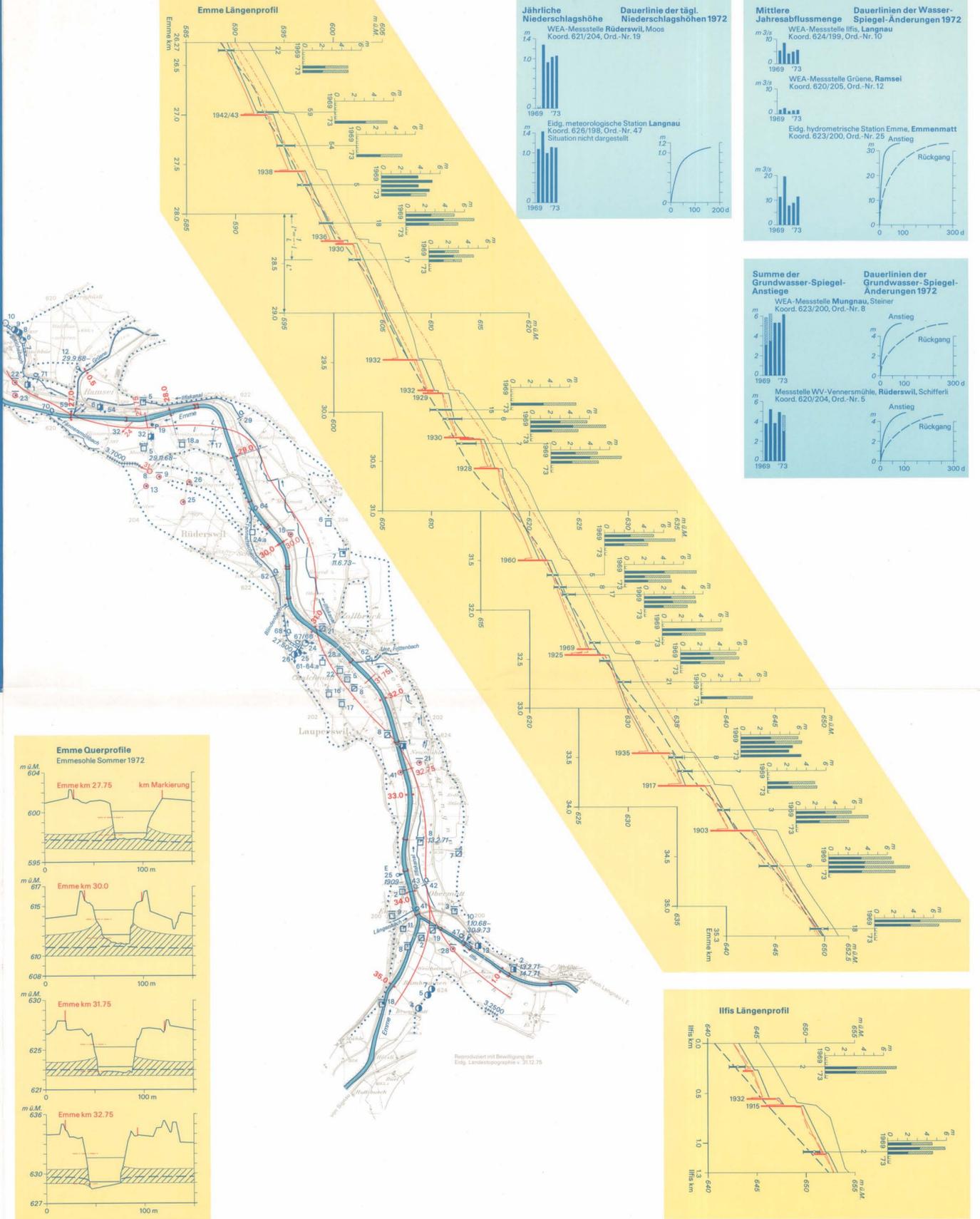
Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung der VEWD

Ausgabe 1975



1:25000  
1000 m 500 m 0 1 km



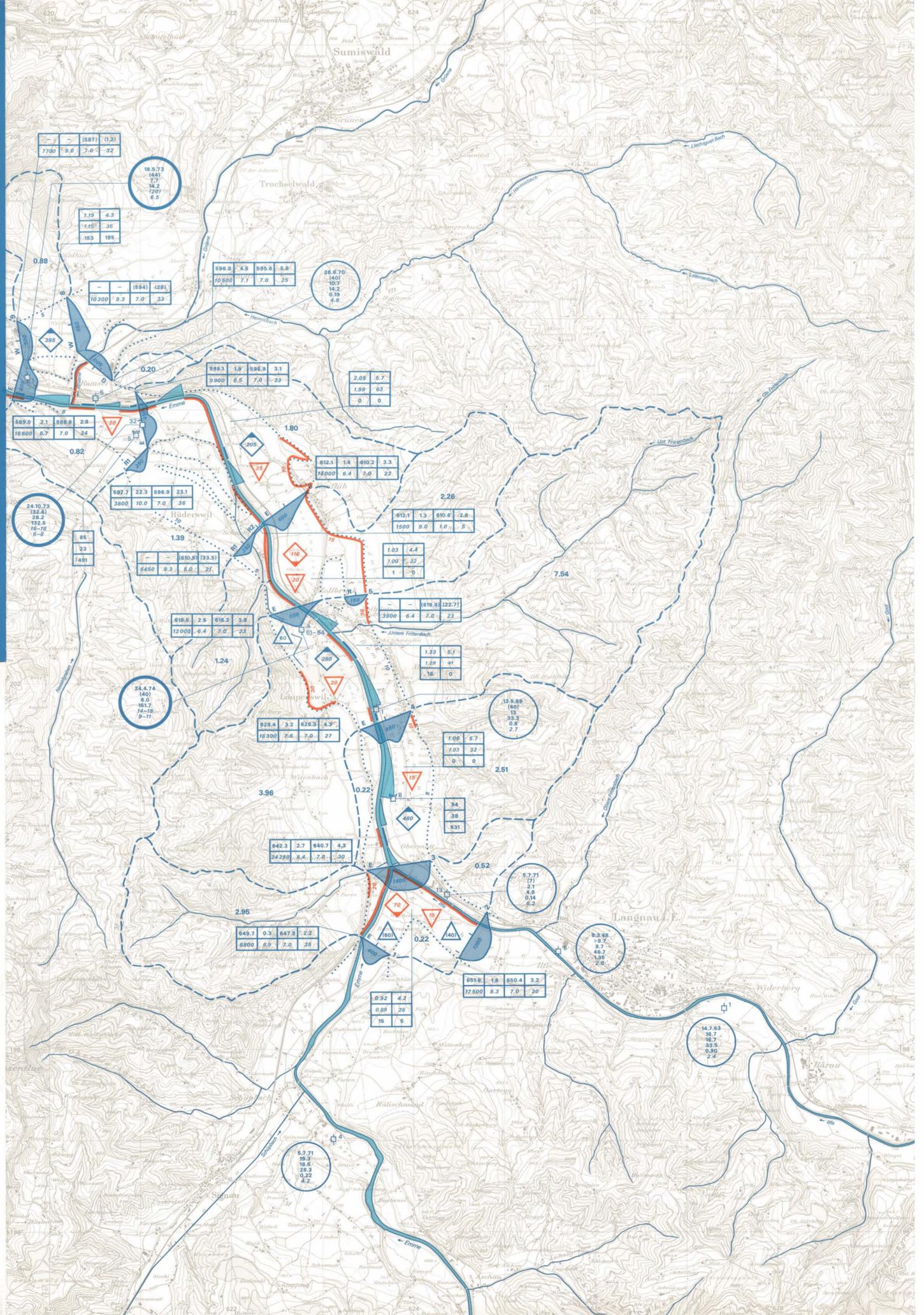
# Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

## Hydrogeologische Karte Emmental Teil I: Oberes Emmental 1:25000 Bilanzierungs-Grundlagen

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern  
 Bearbeitung: petraqa, Münsingen/Bern  
 Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)



### Allgemeine Angaben

- 7 Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km<sup>2</sup> des Landeskordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
- Wichtiges offenes Gewässer
- Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20.3.1974
- Vertikalfilterbrunnen
- Grundwasser-Schreibpegel
- Anlage aufgelassen
- Gemessener Wert
- Geschätzter Wert
- Interpretierter Wert

### Grosspumpversuche in Vertikalfilterbrunnen

- Datum des Versuchsbegins
- H-Grundwassermächtigkeit z.Z. des Versuchsbegins in m
- LV-Eintauchtiefe des unvollkommenen Brunnens in m
- QV-Entnahmemenge in l/s
- p MIN/MAX-Streubereich der berechneten, gravitär nutzbaren Porosität in %
- KG MIN/MAX-Streubereich des berechneten Gebiets-Durchlässigkeitsbeiwertes in 10<sup>-3</sup>m/s

### Kleinpumpversuche in Vertikalfilterbrunnen

- Datum des Versuchsbegins
- H-Grundwassermächtigkeit z.Z. des Versuchsbegins in m
- LV-Eintauchtiefe des unvollkommenen Brunnens in m
- QV-Entnahmemenge in l/s
- DH-Wasserspiegelsenkung im Brunnen bei QV in m
- kP-Profil-Durchlässigkeitsbeiwert in 10<sup>-3</sup>m/s

### Grundwasser-Beobachtungsstellen (Schreibpegel)

- Maximaler Grundwasserspiegel-Anstieg 1972 in cm; vom 22.11., 0.00 h bis 23.11., 12.00 h, während 30 h
- Maximaler Grundwasserspiegel-Rückgang 1972 in cm; vom 24.11., 0.00 h bis 25.11., 6.00 h, während 30 h
- Summe der Grundwasserspiegel-Anstiege 1972 in cm

### Bilanzierungs-Profile und Profilschnitte

- In Profilmitteln oder Profilschnittmitte
- 1 Hoch 24.11.72 Grundwasser-Spiegelstand
- 3 Tief 9.10.71 in m ü. M.
- 2 Klein 24.11.72
- 4 Gross 9.10.71 Flurabstand in m

### Für ganzes Profil oder für Profilschnitte

- 5 Durchflussfläche F in m<sup>2</sup> für einen mittleren Grundwasserstand 1972
- 6 Mittleres Grundwasser-Spiegelgefälle Jo in %
- 7 Durchlässigkeitsbeiwert kg in 10<sup>-3</sup>m/s
- 8 Mittlere theoretische Sickergeschwindigkeit vs in m/d, (vs=kg·Jo·p; p=17%)

### B (ΔB) Breite des Grundwasserleiters, (resp. des Abschnitts)

Mitte des Profilschnittes

Profilschnitt

Profilschnitt

F-Fläche (F proportional Q)

q-Linie, q(ΔB)=Jo·kg·H(B)·ΔB

(H=mittl. Grundwasser-Mächtigkeit 1972)

Bezeichnung der Grundwasserleiter unter der Emme

E Ilfis

G Grüene

R Terrasse von Rüderswil (Rinne 1, Rinne 2)

W Terrasse von Waldhus

650 Mittlere Durchflussmenge Q in l/s 1972

### Bilanzierungs-Gebietsabschnitte

#### Grundwasser-Vorrat, -Nutzung

- 1 Grundwasser-Spiegelfläche in km<sup>2</sup> vom 20.3.74
- 2 Grundwasser-Volumen (p=17%) in 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>
- 3 Volumen des natürlichen Grundwasser-Zuwachses 1972 in 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> (p=17%)
- 4 Mittlerer natürlicher Grundwasser-Zuwachs 1972 in l/s
- 5 Konzessionierte Entnahmemenge 1972 in l/s
- 6 Mittlere genutzte Entnahmemenge 1972 in l/s

#### Mittlere Infiltrationsverhältnisse 1972

##### Infiltrationsstrecke in Oberflächengewässer

Infiltration verteilt

Infiltration konzentriert (Fläche proportional zur Infiltrationsmenge, resp. Leistung gemäss stationärer Bilanzierung)

##### Differenz zwischen Infiltrations- und Exfiltrationsmenge

Infiltration vorherrschend, Zahl = Menge in l/s

##### Infiltration aus randlichen unterirdischen Zuflüssen

Infiltration verteilt, Zahl = Menge in l/s

##### Infiltration aus Niederschlag (auf Grundwasserleiter)

Infiltration verteilt, Zahl = Menge in l/s

##### Mittlere Exfiltrationsverhältnisse 1972

##### Exfiltrationsstrecke in Oberflächengewässer

Exfiltration verteilt

Exfiltration konzentriert (Fläche proportional zur Exfiltrationsmenge, resp. Leistung gemäss stationärer Bilanzierung)

##### Differenz zwischen Exfiltrations- u. Infiltrationsmenge

Exfiltration vorherrschend, Zahl = Menge in l/s

##### Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmenge

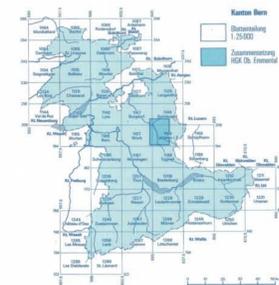
Exfiltration konzentriert, Zahl = Menge in l/s

##### Hydrologische Einzugsgebiete

Wasserscheiden, Zahl = Fläche in km<sup>2</sup>

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text  
 Verwendete Literatur: Weber (1974)  
 Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt  
 Schrift: Daset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern  
 Reprographie, Druck: Aerni-Leuch AG, Bern

1:25000



Reproduziert mit Bewilligung des Edg. Landesvermessungsamt v. 31.12.75