

Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

Hydrogeologie Emmental

Teil II: Mittleres Emmental

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern

WEA/Geologie



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

dV

Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

Hydrogeologie Emmental

Teil II: Mittleres Emmental

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern

WEA/Geologie



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Herausgeber:
Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

Leitung: Dr. R.V. Blau (WEA)

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:
Ingenieur u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern
WEA/Geologie

Gestaltung, Kartographie: P. Eichwald, P. Kunz (WEA)
Mitarbeit D. Hofstetter, Kartograph, Rossens

Schrift Beilagen: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern

Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern

Ausgabe 1976

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

Seite

II. HYDROGEOLOGIE DES MITTLEREN EMMENTALS

1.	GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE (Dr. R.V. Blau)	5
1.1.	Uebersicht	5
1.2.	Durchgeführte Untersuchungen	5
1.2.1.	Bohrungen	5
1.2.2.	Bohrlochmessungen	6
1.2.3.	Geoelektrische Sondierungen	7
1.3.	Geologische Querprofile	7
1.3.1.	Profil XII Terrasse Riffershäuseren - Brandis	7
1.3.2.	Profil XIII Eichholz-Hasle-Rüegsauschachen	8
1.3.3.	Profil XIV Tschamerii	8
1.3.4.	Profil XV Burgdorf Schachen	8
2.	HYDROCHEMIE - BAKTERIOLOGIE (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	9
2.1.	Allgemeines	9
2.2.	Beurteilung der Analysenergebnisse	11
2.2.1.	Statistik	11
2.2.2.	Chemische Resultate	15
2.2.2.1.	Turbidität	15
2.2.2.2.	Nitrat	15
2.2.2.3.	Chlorid	15
2.2.2.4.	Sulfat	15
2.2.2.5.	Oxidierbarkeit	15
2.2.2.6.	Sauerstoffsättigung	16
2.2.2.7.	Eisen	16
2.2.2.8.	Mangan	16
2.2.2.9.	Gesamthärte, Karbonathärte	16
2.2.3.	Bakteriologische Untersuchungen	19
3.	HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	20
3.1.	Allgemeines	20
3.2.	Das Untersuchungsgebiet	21
3.3.	Aufbau des Messstellennetzes	21
3.4.	Beschreibung der Messstellen und Messungen	23

3.4.1.	Niederschlag	23
3.4.2.	Oberflächengewässer	23
3.4.2.1.	Wasserstands-Abstichpunkte	23
3.4.2.2.	Abflussmengen-Messstellen	24
3.4.2.3.	Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel)	24
3.4.3.	Grundwasser	26
3.4.3.1.	Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen	26
3.4.3.2.	Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen	26
3.4.3.3.	Schreibpegel	27
3.5.	Auswertungen	28
3.5.1.	Niederschlag	28
3.5.2.	Oberflächengewässer	29
3.5.2.1.	Wasserstands-Abstichpunkte	29
3.5.2.2.	Abflussmengen-Messstellen	29
3.5.2.3.	Abflussmengen-Messstationen	31
3.5.3.	Grundwasser	32
3.5.3.1.	Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen	32
3.5.3.2.	Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen	32
3.5.3.3.	Schreibpegel	34
3.5.4.	Beziehungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser	38
3.5.4.1.	Infiltration und Exfiltration der Emme	38
3.5.4.2.	Grundwasserspiegelgefälle	44
3.5.5.	Unterirdische randliche Zuflüsse	46
4.	GRUNDWASSERHYDRAULIK (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	47
4.1.	Durchgeführte Untersuchungen	47
4.1.1.	Uebersicht	47
4.1.2.	Kleinpumpversuche	48
4.1.2.1.	Punkt-k-Werte	48
4.1.2.2.	Profil-k-Werte	48
4.1.2.3.	Kleinpumpversuche in bestehenden Grundwasser- fassungen	49
4.1.3.	Grosspumpversuche	50
4.1.3.1.	GPV Rüegsauschachen	50
4.1.3.2.	GPV Hasle	51
4.1.3.3.	GPV Burgdorf, Oberburgschachen	52
4.1.3.4.	GPV Oberburg, Tschamerii	53
4.1.3.5.	GPV Burgdorf, Butterzentrale	54
4.1.3.6.	GPV Burgdorf, Schachen	55
4.2.	Diskussion der Resultate	56
4.2.1.	Resultattabellen	56
4.2.2.	Punkt-k-Werte	58
4.2.3.	Punkt-Profil-k-Werte	60
4.2.4.	Profil-k-Werte	60
4.2.5.	Gebiets-k-Werte	61
4.2.6.	Mittlere nutzbare Porosität	62

5.	GRUNDWASSERBILANZIERUNG (A. Werner, dipl. Ing. ETH und Mitarbeiter)	64
5.1.	Allgemeines	64
5.2.	Grundwasserbilanzierung Mittleres Emmental	64
	5.2.1. Bilanzierungskörper	64
	5.2.2. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, stationär	66
	5.2.2.1. Durchflussmengen Q_0 , Q_U	66
	5.2.2.2. Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen Q_{IR}	68
	5.2.2.3. Infiltrationsmengen aus Niederschlag auf den Grundwasserleiter Q_{IM}	70
	5.2.2.4. Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmengen Q_{XOM}	71
	5.2.2.5. Grundwassernutzung Q_N	71
	5.2.2.6. Differenz zwischen den Infiltrations- und Exfiltrationsmengen aus den resp. in die Oberflächengewässer ($Q_{IO}+Q_{XO}$)	72
	5.2.2.7. Stationäre Bilanzierung	72
	5.2.3. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, instationär	74
	5.2.4. Natürlicher Grundwasserzuwachs	76
6.	SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE (A. Werner, dipl. Ing. ETH)	77
6.1.	Grundwassernutzung heute (1976)	77
6.2.	Totales Grundwasserdargebot	77
6.3.	Nutzbare Grundwasserdargebot	78
6.4.	Grundwasserschutz	78
	6.4.1. Gesetzliche Grundlagen	78
	6.4.2. Mengenmässiger Grundwasserschutz	79
	6.4.3. Gütemässiger Grundwasserschutz	79
	6.4.4. Grundwasserschutz heute	80
6.5.	Ausblick	81
7.	ZUSAMMENFASSUNG	82
	LITERATURVERZEICHNIS	87

BEILAGENVERZEICHNIS

HYDROGEOLOGISCHE KARTEN MITTLERES EMMENTAL 1: 25000

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

TEIL II

HYDROGEOLOGIE DES MITTLEREN EMMENTALS ¹⁾

1. GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

Dr. R.V. Blau, WEA

1.1. Uebersicht

Beschrieben werden die Grundwasserleiter im Tal der Emme im Bereich der heutigen Talsohle sowie unter den Terrassen, zum System T1 gehörend ¹⁾, von Furen, Heipmis, Dicki und Unt. Eichholz (vgl. Beilagen II, 2 und 3). Sie sind vorwiegend aus Schottern, d.h. sandigen Kiesen, teilweise silthaltig, aufgebaut. Als Stauer wirken die Sandsteine, untergeordnet auch Mergel und Nagelfluhen der oberen Meeresmolasse (GERBER, 1950). Wie im Oberen Emmental ¹⁾ treten auch hier wenig mächtige auf der Molasse liegende Moränenrelikte auf (z.B. Bohrung 617.206/16). Wie weit am westlichen Talrand der anstehende würmeiszeitliche Stauschotter - Staulettenkomplex oder abgerutschte Partien aus ihm als Stauer wirken bleibt offen.

Für die zeitliche Abfolge der geologischen Vorgänge sei auf Abschnitt 1.2., Teil I, verwiesen.

1.2. Durchgeführte Untersuchungen

1.2.1. Bohrungen (vgl. Beilage II, 2 und 3)

Wir konnten über die Resultate von 10 Spülbohrungen, 1 Greiferbohrung und 5 Rotationskernbohrungen verfügen.

Aus Beilage II,3 gehen die ungefähren lithologischen Verhältnisse und die Lage hervor, es wird deshalb darauf verzichtet, die Spülbohrungen noch ausführlicher zu beschreiben, da die lithologische und genetische Interpretation des Bohrgutes schwierig war (Mitt. dipl.ing. A. Werner). Diese wie auch die übrigen Bohrprofile können in der geologischen Dokumentationsstelle des WEA eingesehen werden. Die Kern- und Greiferbohrungen werden im folgenden beschrieben, die Profile sind vereinfacht dargestellt.

¹⁾ vgl. auch Teil I; im Abschnitt Einführung sind Aufgaben, Kredite, Zielsetzung usw. umschrieben

Ordnungs- nummer WEA	Lokalität A: Auftraggeber G: Geologe	Tiefe m ab OK Terrain	Lithologie	Koten m ü.M.	
				OK Terrain	OK Fels
617.206/17	Brandis A: WEA G: petraqua	- 0.4	Humus	574.15	535.45
		- 5.3	Kies, vorwiegend grobkörnig, Steine sandig - leicht siltig		
		- 9.1	Sand, stark kiesig, leicht siltig		
		- 14.2	Kies, stark sandig, siltig		
		- 19.4	Kies, stark sandig, sauber bis leicht siltig		
		- 20.0	Kies, sauber, leicht sandig		
		- 30.0	Kies, stark sandig, leicht siltig bis siltig		
		- 32.0	Sand-Kies mit Steinen, siltig		
		- 38.7	Kies, stark sandig bis leicht siltig		
		- 41.0	Molasse, Sandstein und Mergel		
617.206/16	Brandis A: WEA G: petraqua	- 1.00	Humus	575.41	529.51
		- 4.00	Sand, leicht bis stark kiesig, sauber bis siltig		
		- 5.20	Steine, Matrix siltiger Kies		
		- 10.35	Kies, stark sandig, leicht siltig		
		- 14.80	Kies, leicht bis stark sandig, siltig, mit Steinen		
		- 23.90	Kies, stark sandig, sauber bis leicht siltig		
		- 24.90	Steine, Matrix siltiger Kies		
		- 29.75	Sand und Kies, siltig		
		- 43.00	Kies, stark sandig, sauber bis untergeordnet leicht siltig		
		- 45.90	Sand, stark kiesig, leicht siltig bis an der Basis stark siltig		
		- 48.00	Mergel und Sandsteine		
617.207/28	Rüegsauschachen A: WV Rüegsauschachen G: N. Huonder	- 4.95	Sand, stark kiesig, siltig	574.25	
		- 27.60	Kies, mit reichlich bis viel Sand, sauber, lageweise leicht siltig mit Steinen		
		- 30.20	Sand, kiesig, sauber, an der Basis leicht siltig		
615.210/14	Ziegelmatte A: Stadt Burgdorf G: C. Niggli	- 0.35	Humus	544.75	532.55
		- 0.80	Silt-Feinsand		
		- 4.00	Kies und Sand, siltig bis stark siltig		
		- 4.95	Kies, leicht sandig, sauber		
		- 6.90	Sand, siltig, mit Kieseinlagerungen		
		- 12.20	Kies und Sand, leicht siltig, an der Basis siltig		
		- 15.15	Sandsteine		
614.210/210	Ziegelmatte A: Stadt Burgdorf G: C. Niggli	- 1.75	Humus und Auffüllung	545.15	535.25
		- 5.00	Kies-Sand mit Steinen		
		- 9.90	Kies, sandig, schwach siltig bis siltig		
		- 11.35	Sandsteine		
614.210/134	Burgdorf-Schachen A: WV Burgdorf G: A. Werner	- 2.00	Silt, sandig, tonig	544.98	519.98
		- 13.00	Kies, leicht sandig		
		- 25.00	Kies-Sand mit Steinen und Blöcken		
		- 25.05	Sandsteine		

1.2.2. Bohrlochmessungen

Wie im oberen Emmental (vgl. I, p. 18 ff) wurden im Januar 1974 bei einem Testprogramm durch die Firma Prakla-Seismos, Hannover, in den Bohrungen 617.206/16 und 17, 617.207/28 (vgl. Beilage II,3) Gamma-, Neutron-Gamma- und Temperatur-Logs gefahren.

Erstaunlich ist, dass die Strahlungslogs stellenweise ein abweichendes Bild ergeben gegenüber dem, gewonnen aus Lithologie und Kleinpumpversuchen. Die Gründe dafür können heute nicht erklärt werden, da systematische Untersuchungen fehlen. Die Versuche haben aber gezeigt, dass Strahlungslogs in derartigen Leitern nicht entscheidend weiterhelfen, solange nicht an einigen gut untersuchten Profilen vergleichende Studien durchgeführt worden sind.

Die Gründe, die zur Temperaturschichtung in der Bohrung 617.206/16 führen, sind nicht bekannt. Wahrscheinlich handelt es sich um Emmeinfiltrat, das längs eines präferentiellen Fliessweges an den Talrand geführt wird. Ähnliche Erscheinungen sind im Unteren Emmental beobachtet worden.

1.2.3. Geoelektrische Sondierungen (vgl. Situation Beilage II,3)

Profil Tschamerii (615.208/25)

1973 sind, geleitet von dipl.geol. N. Huonder, hier geoelektrische Tiefensondierungen durchgeführt worden. Die Interpretation der Messergebnisse war schwierig, die Resultate mehrdeutig. Da mittlerweile im Rahmen des von uns geleiteten Nationalen Forschungsprogrammes "Modellstudie zur Ermittlung des Grundwasser-Dargebotes im Unteren Emmental" weitere geoelektrische Tiefensondierungen von Dr. W. Fisch (Wettswil ZH) ausgeführt und eine zusätzliche Bohrung am linken Talrand abgeteuft worden ist, soll auf die heute überholten Resultate hier nicht mehr eingegangen werden. Die Auswertung der neuen Untersuchungsergebnisse wird im Forschungsbericht 1982 erscheinen.

Profil Eichholz (615.206/3 und 616.206/16)

Im Auftrage der Gemeinde Hasle-Rüegsau hat die Fa. Geotest 1973 (Bericht Januar 1974, DR. B. TROEHLER) geoelektrische Tiefensondierungen auf der Eichholz-Terrasse durchgeführt mit dem Ziele, einen Standort für eine neue, besser schütz-bare (vgl. Abschnitt 6.4.4.) Grundwasserfassung zu finden. Sie haben gezeigt, dass der Aufbau der Terrasse ziemlich einheitlich ist. Unter einer bis 10 m mächtigen Deckschicht stehen hochohmige Schotter an, unterbrochen von Lehmhorizonten, hinunterreichend bis zur stauenden Molasse. Deren Oberfläche zeigt ein ausgeprägtes Relief. Ein genügend ergiebiges Grundwasservorkommen findet sich nur nordwestlich Dicki (ca. 616.190/206.610), wo eine relativ breite Rinne im Profil sich abzeichnet, die aber als randlicher Ausläufer der von SE nach NW ziehenden ehemaligen Emme-Rinne (vgl. Beilage II,3) interpretiert werden muss.

Profil Brandis (617.206/12)

Um die beiden SE des Profils gelegenen Sondierresultate zu ergänzen, sind hier geoelektrische Tiefensondierungen durchgeführt worden. Zusammen mit den übrigen zur Verfügung stehenden Sondierergebnissen (vgl. Beilage II,2) erlaubten sie die Form der stauenden Molassefläche zu ermitteln. Die Eigenschaften des Grundwasserleiters entsprechen über die ganze Rinnenbreite den in den Bohrungen festgestellten.

1.3. Geologische Querprofile (vgl. Beilagen II,1,3)

Die dargestellten geologischen Querprofile sind gleichzeitig Bilanzierungsprofile (vgl. Abschnitt 5.2., Beilage II,6).

1.3.1. Geologisches Profil XII: Terrasse Riffershüseren - Brandis

Die verschiedenen Sondierresultate (vgl. Abschnitt 1.2., Beilage II,2) zeigen, dass NE und SW (unter der Terrasse von Riffershüseren) des heutigen Emmelaufes sich alte, relativ schmale Flussrinnen finden, die sich bei Hasle vereinigen. Während wir im Gebiet der Terrassen von Riffershüseren die Eigenschaften des Grundwasserleiters abschätzen müssen, erlauben in der NE Rinne die beiden Bohrungen 617.206/16 und 17 genauere Aussagen.

Die Feldaufnahmen der Profile sind in Abschnitt 1.2.1. beschrieben, Korngrössenanalysen und Resultate der k. Versuche gehen aus Beilage II,3 hervor. Der Vergleich der beiden Bohrungen zeigt, dass die lithologische Variationsbreite der Rinnenfüllung über dem Stauer, Moräne (16) und Molasse (17), wohl relativ gross ist, dass sich aber keine klare Gliederung der Sedimentabfolge über die ganze Rinne zeigt.

1.3.2. Geologisches Profil XIII: Eichholz - Hasle-Rüegsauschachen

Auch hier finden sich noch die beiden Rinnen. Geoelektrische Tiefensondierungen lassen Aussagen über die SW Rinnenfüllung zu (vgl. 1.2.3.). Für den NW Arm sind wir auf Extrapolationen aus dem Gebiet von Brandis (vgl. 1.3.1) und dem Ausfluss des Rüegsbachtales angewiesen.

1.3.3. Geologisches Profil XIV: Tschamerii

Der lithologische Aufbau der Rinnenfüllung geht aus den Profilen der Spülbohrung 615.208/24 und der Brunnenbohrung 615.208/1 hervor. Ueber der Molasse, Oberfläche auf Kote 510.59 m ü. M. in der Sondierung 24, folgen bis unter eine geringmächtige Deckschicht würmeiszeitliche Schotter, d.h. Kies, sandig, im allgemeinen leicht silthaltig, untergeordnet sauber oder stärker siltig, mit vereinzelten, stellenweise zahlreichen Steinen und Blöcken. Die ermittelten k. Werte liegen deutlich höher als in der Rinne von Brandis, wobei der Einfluss des Bohrverfahrens auf die scheinbare Grösse der Durchlässigkeit vorläufig nicht beurteilt werden kann. Vergleichende Untersuchungen werden im Rahmen des erwähnten (vgl. 1.2.3) Nationalen Forschungsprogrammes durchgeführt.

Ob die am linken Talrand aufgeschlossenen Stauschotter des würmeiszeitlichen Stauletten-Stauschotterkomplexes (vgl. GERBER, 1950), deren Liegendfläche nicht bekannt ist, ganz oder teilweise zum Grundwasserleiter zu rechnen sind oder ob sie praktisch als Stauer wirken, ist nicht bekannt. Wie die massgebende Durchflussfläche im SW begrenzt werden muss, ist daher fraglich.

1.3.4. Geologisches Profil XV: Burgdorf-Schachen

Die zahlreichen Spül-, Kern- und Greiferbohrungen, abgeteuft im Auftrage verschiedener Verwaltungszweige der Stadt Burgdorf, erlauben das Querprofil gut zu erfassen. Unter einer geringmächtigen holocänen Deckschicht finden sich würmeiszeitliche Schotter, d.h. Kiese, mit wechselndem Sandgehalt, häufig leicht silthaltig, z.T. sauber, untergeordnet stärker siltig, mit vereinzelten stellenweise zahlreichen Steinen und Blöcken. Die in Kleinpumpversuchen ermittelten Durchlässigkeiten liegen im allgemeinen zwischen 10^{-3} und 10^{-2} m/s (vgl. die Bemerkung bei 1.3.3.). Die bis 40 m (614.210/89) mächtige Sedimentabfolge lässt sich nicht unterteilen.

2. HYDROCHEMIE - BAKTERIOLOGIE

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

2.1. Allgemeines

Zwei Gesichtspunkte waren beim Ausarbeiten des hydrochemischen und bakteriologischen Untersuchungsprogrammes massgebend: Einerseits sollte mit den Untersuchungen ein möglichst repräsentativer Ueberblick über die chemische und bakteriologische Beschaffenheit des Grundwassers bzw. über die chemische Beschaffenheit des Oberflächenwassers - insbesondere der Emme - gewonnen werden können. Andererseits sollten die Untersuchungen erlauben, die Qualität des geförderten Trinkwassers zu beurteilen. Die Untersuchungen berücksichtigten deshalb vorwiegend öffentliche und grössere private Grundwasserfassungen im Haupttale der Emme.

Im Juli/August 1972 wurde im Mittleren und im Unteren Emmental gleichzeitig eine erste Kampagne hydrochemischer und bakteriologischer Untersuchungen durchgeführt. Das kantonale chemische Labor analysierte Grundwasserproben von insgesamt 81 Entnahmestellen, 15 aus dem Mittleren, die restlichen aus dem Unteren Emmental (s. Teil III); die Probeentnahme erfolgte durch Dr. NIGGLI im Auftrage des WEA. Das Kantonale Gewässerschutzlabor entnahm und analysierte für das gesamte Emmental Wasserproben aus 23 Entnahmestellen an Oberflächengewässern. Aus dem Mittleren Emmental stammen lediglich zwei Wasserproben, beide aus der Emme (übrige: s. Teil I und III).

Die zweite Kampagne im Mittleren und Unteren Emmental fiel auf die Monate Februar/März 1973. Die Analysen der Wasserproben wurden ebenfalls durch die beiden Labors vorgenommen. Von den insgesamt 78 Grundwasserproben entfallen 15 auf das Mittlere Emmental. Die Entnahmestellen der 8 Oberflächenwasserproben liegen im Oberen Emmental.

Für eine 1973 vorgesehene, dritte Untersuchungsreihe nach Ende des Schneeschmelzabflusses in den Monaten Juni/Juli, fehlten die Kredite.

Für das Mittlere Emmental gehen Analysenergebnisse und Lage der Entnahmestellen der beiden durchgeführten Untersuchungskampagnen aus der Beilage II,4 hervor. Ergänzend sind im Raume des Burgdorfer Schachens noch die Analysenergebnisse der Emme, des sog. AMP-Kanals, des Industriekanals und des Heimiswilbaches dargestellt worden. Die Proben wurden in den Jahren 1969/70 bei der Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich von Burgdorf im Auftrage der Wasserversorgung der Stadt Burgdorf erhoben. Auf die zeichnerische Darstellung der Resultate der gleichzeitig untersuchten Grundwasserproben in 27 Entnahmestellen südlich von Burgdorf wird verzichtet. Sie können dem Schlussbericht der erwähnten Abklärung (WERNER, 1970) entnommen werden.

Die bakteriologischen Ergebnisse der Proben wurden entsprechend den Anforderungen an Trinkwasser (vgl.: Schweizerisches Lebensmittelbuch 1972) entweder als genügend oder als ungenügend bezeichnet. Dargestellt wird der schlechtere der beiden Befunde.

Tabelle II,1 gibt eine Uebersicht über die erwähnten Untersuchungskampagnen. Die den Untersuchungstagen zugeordneten Wasserstände sind, soweit sie nicht aus der Beilage II,2 (vgl. auch Beilage II,5) herausgelesen werden können, dem Schlussbericht der Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich von Burgdorf (WERNER 1970) zu entnehmen.

Tabelle II,1

Durchgeführte chemische und bakteriologische Untersuchungen

Untersuchungsdatum	Anzahl Probenentnahmestellen	Wassertyp	Wasserstand	Auftraggeber
20.10.69	26	Grundwasser	hoch (abnehmend)	WV der Stadt Burgdorf
	4	Oberflächenwasser		
6.11.69	26	Grundwasser	~durchschnittlich	WV der Stadt Burgdorf
	4	Oberflächenwasser		
25.11.69	26	Grundwasser	~durchschnittlich	WV der Stadt Burgdorf
	4	Oberflächenwasser		
1.12.69	12	Grundwasser	~durchschnittlich	WV der Stadt Burgdorf
	3	Oberflächenwasser		
10. 3.70	27	Grundwasser	hoch (abnehmend)	WV der Stadt Burgdorf
	4	Oberflächenwasser		
24. 3.70	27	Grundwasser	hoch (zunehmend)	WV der Stadt Burgdorf
	4	Oberflächenwasser		
26. 7.72	2	Grundwasser	~durchschnittlich (abnehmend)	WEA
3. 8.72	4	Grundwasser	~durchschnittlich (abnehmend)	WEA
7. 8.72	4	Grundwasser	~durchschnittlich (abnehmend)	WEA
8. 8.72	3	Grundwasser	~durchschnittlich (abnehmend)	WEA
9. 8.72	2	Oberflächenwasser	~durchschnittlich (abnehmend)	WEA
8. 3.73	2	Grundwasser	~durchschnittlich	WEA
12. 3.73	9	Grundwasser	~durchschnittlich	WEA
13. 3.73	4	Grundwasser	~durchschnittlich	WEA

2.2. Beurteilung der Analysenergebnisse

2.2.1. Statistik

Mit den statistischen Auswertungen soll der Gesamtcharakter der Güte des aus dem Hauptgrundwasserleiter ¹⁾ und aus den Oberflächengewässern entnommenen Wassers beschrieben werden. Die Auswertungen zielen deshalb in erster Linie auf das Erfassen der Konzentrations-Mittelwerte der untersuchten chemischen Komponenten ab.

Die in den Tabellen aufgeführten Mittelwerte entsprechen dem arithmetischen Mittel der Untersuchungsergebnisse jeweils einer Kampagne.

Um die Abweichungen von den Mittelwerten zu erfassen, dienen die Varianzen und die Variationskoeffizienten. Diese sind unabhängig von den Einheiten und eignen sich, die Streuungen der verschiedenen Analysenkomponenten zu vergleichen.

Als Beispiel sei auf die Variationskoeffizienten von Chlorid und Gesamthärte in den Tabellen II,2 und II,3 hingewiesen. Während sie für Chlorid zwischen 0.14 und 0.34 schwanken, liegen sie für die Gesamthärte zwischen 0.10 und 0.16. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Härte im Vergleich zu den Chloriden weniger durch lokale Einflüsse verschiedenen Ursprungs z.B. Düngung, Verschmutzung etc. sondern vielmehr durch einen den ganzen Grundwasserstrom beeinflussenden Faktor z.B. Infiltration von Emmentwasser geprägt wird. Mit der Variationsbreite wird schliesslich die Spannweite vom maximalen zum minimalen Wert angegeben.

In Tabelle II,2 werden die statistischen Angaben der Analysenergebnisse aus Grundwasserproben der beiden WEA-Kampagnen vom 26.7. bis 8.8.1972 und vom 8.3. bis 13.3.1973 aufgeführt. Unausgewertet blieben die Analysenwerte für Eisen und Mangan, da diese beiden Komponenten bei vielen Proben nur in Spuren nachgewiesen werden konnten. Die Probeentnahmestellen sind, wie dies aus Beilage II,4 hervorgeht, räumlich etwa gleichmässig über den Grundwasserleiter des Mittleren Emmentals ¹⁾ verteilt, so dass die berechneten Mittelwerte als repräsentativ für die chemische Beschaffenheit des Grundwassers während der beiden Untersuchungsperioden betrachtet werden können.

¹⁾ "Grundwasserleiter unter der Emme" die Analysenergebnisse der Fassungen 614.210/39 und 617.206/7 wurden in die Auswertung nicht einbezogen, da die Fassungen ausserhalb, bzw. über diesem Grundwasserleiter liegen.

Tabelle II,2

Statistik der chemischen Grundwasseranalysen aus 13 Probeentnahmestellen im Emmentalgrundwasserleiter (s. Beilage II,4)

Analysen Komponenten	Datum	Mittelwert	Varianz	Variations- Koeffizient	Variations- breite
Turbidität (SiO ₂) mg/l	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	1.9 0.4 ¹⁾	9.8 0.1	1.6 0.61	12.2 0.9
Nitrat (NO ₃) mg/l	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	17.0 18.0	37.1 18.9	0.36 0.24	22 16
Chlorid (Cl) mg/l	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	7.8 10.1	6.0 1.9	0.31 0.14	9.6 4.9
Sulfat (SO ₄) mg/l	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	11.8 10.6	9.7 2.1	0.26 0.14	10 5
Oxidierbar- keit (KMnO ₄) mg/l	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	3.1 2.3	0.5 0.3	0.22 0.22	3.1 1.8
O ₂ -Sättigung %	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	58.5 64.5	459.3 143.0	0.37 0.19	69.1 37.0
Gesamthärte franz. °	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	28.8 27.2	8.2 10.3	0.10 0.12	10.4 9.1
Karbonathärte franz. °	26.7.- 8.8.1972 8.3.-13.3.1973	25.7 24.0	4.4 7.7	0.08 0.11	7.6 7.6

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

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

Variationskoeffizient: $\frac{s}{\bar{x}}$ Variationsbreite: $x_{\max} - x_{\min}$

1) ohne Wert der Probeentnahmestelle 614.209/16 (53 mg SiO₂/l :)

Tabelle II,3 zeigt die statistische Auswertung der Analysenergebnisse von Grundwasserproben, die im Rahmen der Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich von Burgdorf (WERNER, 1970) entnommen wurden. Der damit erfasste Grundwasserleiter-Abschnitt reicht von der EBT-Station Oberburg bis nördlich des Burgdorfer Schachens. Damit sich die Werte der verschiedenen Untersuchungsperioden miteinander vergleichen lassen, wurden die Ergebnisse von Entnahmestellen, bei denen Resultate von einer oder mehreren Proben fehlen, in die Auswertung nicht einbezogen. Aus demselben Grunde sind auch die Mittelwerte, Varianzen usw. der Kampagne vom 1.12.69 nicht aufgeführt worden.

Die Turbidität wurde bei allen Kampagnen nicht analysiert.

Tabelle II,3

Statistik der chemischen Grundwasseranalysen aus 22 Probeentnahmestellen im Bereich der städtischen Grundwasserfassungen von Burgdorf

Analysen	Datum	Mittelwert	Varianz	Variations- koeffizient	Variations- breite
Nitrat (NO_3) mg/l	20.10.1969	11.8	19.8	0.38	19.7
	6.11.1969	12.1	16.3	0.33	19.7
	25.11.1969	12.6	14.5	0.30	18.7
	10. 3.1970	14.9	24.7	0.33	24.0
	24. 3.1970	16.1	31.1	0.35	22.0
Chlorid (Cl) mg/l	20.10.1969	4.5	2.3	0.34	5.3
	6.11.1969	6.1	1.4	0.19	4.8
	25.11.1969	5.7	1.6	0.22	5.7
	10. 3.1970	10.0	10.6	0.32	8.5
	24. 3.1970	7.7	7.0	0.34	8.5
Sulfat (SO_4) mg/l	20.10.1969	9.4	3.7	0.20	7
	6.11.1969	8.0	4.1	0.25	10
	25.11.1969	10.8	8.4	0.27	13
	10. 3.1970	12.0	18.9	0.36	20
	24. 3.1970	11.6	12.7	0.31	17
Oxidierbar- keit (KMnO_4) mg/l	20.10.1969	2.7	0.4	0.23	2.7
	6.11.1969	2.6	1.1	0.40	5.0
	25.11.1969	2.7	0.7	0.32	3.1
	10. 3.1970	3.0	0.4	0.21	3.1
	24. 3.1970	3.2	1.1	0.33	3.8
O_2 -Sättigung %	20.10.1969	50.2	287.0	0.34	55.0
	6.11.1969	52.6	431.7	0.40	68.0
	25.11.1969	51.6	312.5	0.34	67.0
	10. 3.1970	76.3	692.0	0.34	94.5
	24. 3.1970	80.1	904.8	0.38	106.0
Gesamthärte franz. $^\circ$	20.10.1969	25.2	11.4	0.13	11.3
	6.11.1969	25.4	10.2	0.13	12.0
	25.11.1969	25.8	9.6	0.12	10.1
	10. 3.1970	25.3	16.9	0.16	16.1
	24. 3.1970	21.7	9.2	0.14	13.0
Karbonathärte franz. $^\circ$	20.10.1969	24.1	10.5	0.13	12.3
	6.11.1969	24.3	9.7	0.13	12.6
	25.11.1969	24.9	9.1	0.12	10.4
	10. 3.1970	22.6	10.9	0.15	14.0
	24. 3.1970	19.2	6.8	0.14	11.3

Aus Tabelle II,4 gehen schliesslich die Analysenergebnisse für vier Oberflächengewässer hervor. Eine statistische Auswertung hat hier wenig Sinn, haben doch Emme, AMP-Kanal und Heimisbach infolge der eingeleiteten Abwässer einen eigenen Chemismus. Am ehesten lassen sich die Werte für die Emme und für den mit Emme-wasser gespeisten Industriekanal vergleichen. Diese Werte zeigen, auch mit einigen Ausnahmen, keine grossen Abweichungen voneinander.

Man muss sich aber bewusst sein, dass durch den Bau der Kläranlagen die hier dargestellten Verhältnisse heute nicht mehr zutreffen.

Tabelle II,4

Zusammenstellung der chemischen Oberflächenwasseranalysen aus 4 Probeentnahmestellen im Bereich der städtischen Grundwasserfassungen von Burgdorf

Analysen Komponenten	Oberflächen- gewässer	WEA-Bez.	Datum						
			20.10.69	6.11.69	25.11.69	1.12.69	10.3.70	24.3.70	9.8.72 ¹⁾
Nitrat (NO ₃) mg/l	Emme	614.210/174	11	10	8	11	14	10	11
	Industriekanal	614.210/171	11	11	8	-	13	10	
	AMP-Kanal	614.210/173	7	11	8	15	11	16	
	Heimiswilbach	614.210/172	14	14	12	13	18	20	
Chlorid (Cl) mg/l	Emme	614.210/174	5.3	7.3	4.7	5.2	6.5	3.2	6.5
	Industriekanal	614.210/171	2.3	5.4	4.5	-	6.4	2.6	
	AMP-Kanal	614.210/173	61.8	34.5	4.2	7.1	55.8	5.7	
	Heimiswilbach	614.210/172	5.0	7.9	7.0	7.1	8.5	7.0	
Sulfat (SO ₄) mg/l	Emme	614.210/174	9	8	9	10	8	9	10
	Industriekanal	614.210/171	9	10	9	-	8	9	
	AMP-Kanal	614.210/173	26	19	9	12	19	11	
	Heimiswilbach	614.210/172	15	11	14	13	10	13	
Oxidier- barkeit (KMnO ₄) mg/l	Emme	614.210/174	5.9	9.0	9.4	3.9	4.6	9.3	11
	Industriekanal	614.210/171	5.0	11.0	9.4	-	4.2	9.1	
	AMP-Kanal	614.210/173	110.0	63.0	8.8	6.7	4.8	7.2	
	Heimiswilbach	614.210/172	6.9	5.9	7.5	5.0	5.2	8.6	
O ₂ - Sättigung %	Emme	614.210/174	130	-	108	110	127	137	
	Industriekanal	614.210/171	130	106	105	-	123	157	
	AMP-Kanal	614.210/173	30	43	70	70	82.5	106	
	Heimiswilbach	614.210/172	117	102	101	98	117.5	135	
Gesamt- härte franz. °	Emme	614.210/174	22.7	22.9	19.2	21.9	22.4	16.2	21.6
	Industriekanal	614.210/171	22.8	22.9	19.0	-	22.1	15.6	
	AMP-Kanal	614.210/173	23.7	24.6	13.7	26.1	25.6	22.8	
	Heimiswilbach	614.210/172	28.5	28.7	27.7	28.3	27.2	23.2	
Karbonat- härte franz. °	Emme	614.210/174	21.9	22.0	18.7	21.4	20.7	14.7	20.6
	Industriekanal	614.210/171	21.4	21.6	18.4	-	20.3	14.1	
	AMP-Kanal	614.210/173	40.8	33.3	13.4	24.8	28.8	20.7	
	Heimiswilbach	614.210/172	26.9	29.0	26.6	27.0	24.5	20.1	

1) Probeentnahmestelle WEA-Bez. 614.209/9

2.2.2. Chemische Resultate

2.2.2.1. Turbidität

Die Turbidität (Trübung) der in den beiden WEA-Kampagnen untersuchten Grundwasserproben liegt bis auf drei Proben unter der für Trinkwasser im Kanton Bern höchst zulässigen Konzentration von $2.5 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$. Die Trübung der drei zu beanstandenden Proben dürfte auf Verschmutzungen in den Fassungsanlagen zurückzuführen sein.

Die Emme ist bei Hochwasser durch die grosse Verfrachtung von siltigen, tonigen Partikeln sehr trübe ($> 200 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$). Mit dem Rückgang eines Hochwassers geht im allgemeinen auch die Trübung rasch zurück. Bei der durchschnittlichen Wasserführung vom 9.8.1972 schwankte die festgestellte Turbidität in der Emme zwischen 5.1 und $5.2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$.

2.2.2.2. Nitrat

Als Richtwert für Trinkwasser wird im schweiz. Lebensmittelbuch (1972) ein Nitratgehalt von $\leq 40 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ angegeben. Die Nitratgehalte sämtlicher Wasserproben - Grundwasser wie auch Oberflächenwasser - liegen mit einer Variationsbreite von 18.7 mg/l bis 24 mg/l unter diesem Richtwert. Der grösste Gehalt von 38 bzw. 30 mg/l stammt aus der Hauswasserfassung 617.206/7 in der Terrasse von Riffershüseren, aus welcher Wasser gefördert wird, das 30 m über dem in Beilage II,2 dargestellten Grundwasserspiegel ansteht. Diese Werte zeugen von einer lokalen Verschmutzung.

2.2.2.3. Chlorid

Sämtliche Werte des Grundwassers liegen unter 20 mg Cl/l , d.h. mindestens 180 mg/l unter dem zulässigen Grenzwert für Trinkwasser (schweiz. Lebensmittelbuch 1972). Die höchsten Werte zeigen die Proben aus der Messstelle 614.210/39 bei Burgdorf, Ziegelet, mit 18.7 mg/Cl/l und wiederum die aus der Fassung 617.206/7 in der Terrasse von Riffershüseren mit 14.5 mg/Cl/l . Bei beiden Fassungen sind lokale Verunreinigungen feststellbar.

Bei den Oberflächengewässern fällt der zeitweilig grosse Chloridgehalt des AMP-Kanals auf. Es ist eindeutig, dass hier während den Untersuchungsperioden ziemlich stark verschmutzte Abwässer eingeleitet worden sind.

2.2.2.4. Sulfat

Keine Grundwasser-Analyse zeigte zu beanstandende Sulfatgehalte. Die Oberflächenwasser-Proben weisen alle relativ kleine SO_4 -Gehalte auf.

2.2.2.5. Oxidierbarkeit

Der Kaliumpermanganatverbrauch bei den untersuchten Grundwasseranalysen beläuft sich im allgemeinen auf 1.6 bis 3.8 mg/l . Er liegt somit unter dem Richtwert für Trinkwasser (schweiz. Lebensmittelbuch 1972). Lediglich die beiden Proben der Entnahmestelle 614.210/39 weisen mit einem Verbrauch von 38 bzw. $9.6 \text{ mg KMnO}_4/\text{l}$ auf eine starke Belastung mit organischen Stoffen hin. Der ungünstige Einfluss

des benachbarten, mit organischen Stoffen ebenfalls stark belasteten Heimiswilbaches auf das Grundwasser ist hier nicht auszuschliessen.

Auch Emme und Industriekanal, vor allem aber der AMP-Kanal weisen eine zeitweilige starke Belastung mit unzersetzten, organischen Substanzen auf, hervorgerufen durch die in der Untersuchungsperiode noch eingeleiteten Abwässer.

2.2.2.6. Sauerstoffsättigung

Aus den Einzeluntersuchungen geht hervor, dass die Sauerstoffsättigung des Grundwassers bei einem Mittelwert von 58 bis 67 % für das gesamte Untersuchungsgebiet (s. Tabelle II,2) bzw. 50 bis 80 % im Fassungsgebiet der Wasserversorgung Burgdorf (s. Tabelle II,3) relativ grossen Schwankungen unterworfen ist. Die kleineren Mittelwerte stammen vom Sommer 1973 bzw. vom Herbst 1969. Die grösseren Werte brachten die Untersuchungen im Frühjahr 1970. Bei knapp der Hälfte der untersuchten Grundwasserproben wird die Sättigungslimite von 60 % (Richtwert Schweiz. Lebensmittelbuch 1972) unterschritten. Lokale Belastungen des Untergrundes durch Verunreinigungen möglicherweise aber auch die starke Emmeinfiltration sind dafür verantwortlich.

Für eindeutige Schlussfolgerungen anhand der Sauerstoffsättigung sollten periodische Untersuchungsergebnisse sowohl von den Oberflächengewässern wie auch vom Grundwasser vorliegen. Periodische Messungen waren jedoch aus Kostengründen nicht durchzuführen.

2.2.2.7. Eisen

Ein erhöhter Eisengehalt beeinträchtigt vor allem die Appetitlichkeit des Wassers. Daneben bringt er nachteilige Auswirkungen auf die Pumpen und vor allem auf das Leitungsnetz mit sich. Hoher Eisengehalt fördert auch das Verockern und Verschlammungen der Filterbrunnen.

Im allgemeinen sind die Eisengehalte der untersuchten Grundwasserproben mit einer Variationsbreite von < 0.001 bis 0.1 mg Fe/l niedrig. Einzig in der Entnahmestelle 614.210/39 überschreiten sie die tolerierte Grenze von 0.10 mg Fe/l: 1.3 bzw. 0.43 mg Fe/l sind festgestellt worden. Dieser hohe Eisengehalt dürfte auf den sehr kleinen Sauerstoffgehalt zurückzuführen sein.

2.2.2.8. Mangan

Der Nachweis auf Mangan verlief bis auf die beiden Proben der Messstelle 614.210/39 negativ (< 0.01 mg Mn/l).

2.2.2.9. Gesamthärte, Karbonathärte

Das Grundwasser des Emmentals gilt im allgemeinen als ziemlich hartes Wasser. Die mittlere Gesamthärte für die Kampagnen im Sommer 1972 und Frühling 1973 beträgt 26.8 bzw. 28.5 franz. H°.

Bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung der Härte (s. Beilage II,4) fällt auf, dass emmenahe Probeentnahmestellen durchwegs kleinere Werte aufweisen als emmeweite Entnahmeorte. Die kleinsten Härtewerte sind am 9.8.1972 für das Emmewasser (618.206/12 : 20.6 franz. H^0 , 614.209/9 : 21.6 franz. H^0) zu verzeichnen; die grössten treten im Grundwasser in Mündungsgebieten der Seitentäler (Heimiswilital 614.210/39 mit 41.0 franz. H^0) auf. Das lässt darauf schliessen, dass durch Infiltration des weicheren Emmewassers die Härte des Grundwassers entscheidend vermindert wird.

Zur Verdeutlichung dieser Feststellung wurden in Figur II,1 aus den chemischen Untersuchungen für die Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich von Burgdorf vom 10. und 24.3.1970 die Härtewerte in Beziehung zum Emme-Abstand der Probeentnahmestellen gebracht. Das vorgängige Abflussgeschehen der Emme war durch mehrere Hochwasser infolge starker Niederschläge im Februar und einen anschliessenden Hochwasserrückgang anfangs März gekennzeichnet. Kurz nach der ersten Probeentnahme vom 10.3.1970 begann der Schmelzwasserabfluss, der über den 24.3.1970 hinaus andauerte.

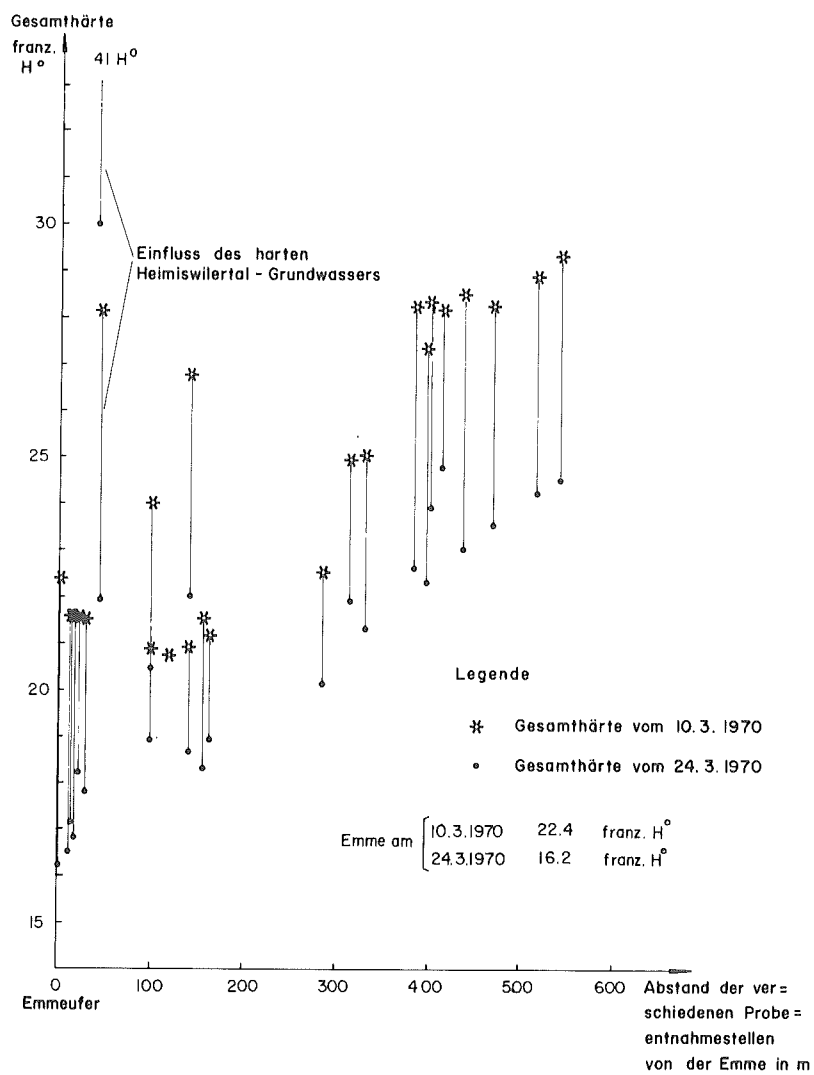
Bekanntlich treten bei Hochwasser infolge des direkten Oberflächenabflusses oder der nur kurzen Verweildauer des sehr weichen Niederschlags- bzw. Schneeschmelzwassers in aufhärtenden Gesteinen tiefe Härtewerte auf, während in Trockenperioden das Emmewasser relativ hart ist (WEBER, 1974). Die Härte der Emme dürfte deshalb sowohl während der Niederschlagsperiode im Februar 1970 wie auch während des Schmelzwasserabflusses unter dem Durchschnitt gelegen haben. Dies bestätigen die Härtemessungen vom 24.3.1970 mit 15.6 franz. H^0 im Industriekanal und 16.2 franz. H^0 in der Emme.

Die Härte des Grundwassers hat sich während der Zeitspanne vom 10. bis 24.3.1970 um einen mittleren Wert von ca. 3.5 franz. H^0 verringert. Diese grosse Veränderung ist nur durch eine beachtliche Infiltration von weicherem Emmewasser während des Schmelzwasserabflusses und während der vorangegangenen Hochwasserperioden zu erklären.

Für die räumliche Verteilung der Härtewerte in Funktion zum Emme-Abstand entsteht sehr wahrscheinlich infolge der vorangegangenen Hochwassereinflüsse für den 10.3.1970 ein etwas uneinheitlicheres Bild. Generell zeigt diese Darstellung jedoch recht deutlich, dass während Infiltrationsperioden die Härtewerte im Infiltrationsgebiet südlich Burgdorf mit zunehmendem Abstand von der Emme grösser werden. Dies wird vorwiegend bedingt durch das Vermischen des Infiltrates mit härterem Grundwasser und durch die Verweildauer im aufhärtenden Grundwasserleiter.

Figur II,1

Gesamthärte des Grundwassers im Bereich der städtischen Grundwasserfassungen Burgdorf



2.2.3. Bakteriologische Untersuchungen

Trinkwasser muss in erster Linie keimarm sein. Es dürfen in einer Fassung auftreten:

Gesamte Keime	100	/ml	} Richtwerte schweiz. Lebensmittelbuch 1972 (Erfahrungswert Kant. Labor Bern)
Coliforme	0	/100 ml	
übrige Keime	100	/100 ml	

Aus den in Beilage II,4 aufgeführten Probeentnahmestellen (vgl. Tab. II,1) müssen drei Viertel der Wasseranalysen beanstandet werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist dies auf Verschmutzungsherde in der näheren Umgebung der Fassungen, teilweise auch auf mangelhafte Fassungsanlagen, zurückzuführen.

Tabelle II,5

Bakteriologische Untersuchungsergebnisse

Kampagnen Datum	Probeentnahmestellen		beanstandete Proben infolge -		
	total	mit beanstandeten Proben	zu grosser Keimzahl	coliformer Bakterien	zu vieler wärme-liebender Bakterien
26.7.- 8.8.1972	15	11	11	5	3
8.3.-13.3.1973	14	9	9	0	0

3. HYDROMETRIE UND HYDROGRAPHIE

A. Werner, dipl.Ing. ETH; Mitarbeiter: F. Lüthi, dipl.Ing. HTL, F. Muchenberger, dipl.Ing. HTL

3.1. Allgemeines

Mit den hydrometrischen Untersuchungen sind in erster Linie die Grundwasserspiegellagen und -bewegungen im Emmental-Grundwasserleiter ¹⁾ sowie die Wasserführung der wichtigsten Oberflächengewässer erfasst worden. Dazu waren je nach Aufgabenstellung eine Vielzahl von Einzelmessungen oder periodische Messungen über eine mehr oder weniger lange Zeitspanne notwendig.

Ein grosser Teil der periodischen Messungen stammt aus den hydrologischen Untersuchungen von T. BLOCH, Egerkingen, für seine Dissertation "Beiträge zur Hydrologie des Unteren Emmentals", 1972. BLOCH hat seit 1966 in einem mit der Unterstützung des Geographischen Institutes der Universität Bern, des WEA und des Regionalplanungsverbandes Burgdorf aufgebauten Messstellennetz zwischen Lützelflüh und Gerlafingen die Niederschläge, die wichtigsten Oberflächengewässer und die Grundwasserspiegelbewegungen beobachtet und ausgewertet. Diese Arbeit ist sehr wertvoll, um die hydrologischen Vorgänge im Untersuchungsgebiet zu beurteilen. In diesem Bericht werden lediglich die Resultate des oberen Teils des Untersuchungsgebietes von BLOCH wiedergegeben, die restlichen folgen im Bericht über das Untere Emmental (Teil III).

Im Anschluss an die hydrometrischen Untersuchungen von BLOCH ab 1971/72 wurden durch Studenten des geographischen Instituts, unter der Leitung der Dres. LEIBUNDGUT und DETTWILER, einige Messstellen weiter betreut und innerhalb von Semesterarbeiten die Messresultate ausgewertet. Sie sind soweit vorhanden ebenfalls in diesem Bericht zusammengefasst.

Im Rahmen des WEA-Programmes galt es vorerst mit Einzelmessungen das bestehende Messstellennetz im Hinblick auf die Konstruktion der Isohypsen des Grundwasserspiegels zu überprüfen und ergänzende Beobachtungspunkte zu schaffen. Um die Zusammenhänge zwischen Oberflächenwässern und Grundwasser zu erfassen, mussten die wichtigsten Bäche und vor allem die Emme vermessen werden. Ein Resultat dieser Untersuchungen stellt die in Beilage II,2 konstruierte Karte der Grundwasserspiegelfläche und der Emmewasserstände vom 20.3.1974 dar (gleiches Messdatum wie im Oberen Emmental).

Unterschiedlich lange Messreihen liegen auch für verschiedene Schutzzonenabklärungen der öffentlichen Wasserversorgungen vor. Es kann nicht Gegenstand dieses Berichtes sein, alle diese Messungen darzustellen und zu besprechen, sind sie doch aus den in Kapitel 4.1.1. aufgeführten Gutachten zu entnehmen. Zur Ergänzung der Beobachtungsdaten von BLOCH werden jedoch die Messungen in den seit 1967 betriebenen Grundwasserstationen der Wasserversorgung von Burgdorf auszugsweise ausgewertet und in Kapitel 3.5.3. aufgeführt.

Im Mittelpunkt der hydrographischen Abklärungen steht die Emme als dominantestes Oberflächengewässer in unserem Untersuchungsgebiet. Dank der detaillierten Längensprofile aus der Emmevermessung des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau (ASF), die uns von BUEKI, Emmeingenieur des Kantonalen Tiefbauamtes, Kreis Burgdorf, zur Verfügung gestellt wurden, können die Höhenlage der Emmesohle und der verschiedenen Schwellen sowie der 50-jährige Höchstwasserstand vom Herbst 1968 ohne zusätzliche Vermessungsarbeiten wiedergegeben werden.

Um die heutigen Oberflächenwasserstände einzumessen, waren an der Emme und den Seitenbächen eine grössere Anzahl Abstichpunkte zu schaffen. Die entsprechenden Resultate gehen aus Beilage II,5 hervor. Diese Beilage gibt neben dem Längensprofil und einigen Querprofilen auch eine Uebersicht über die mittleren Sohlveränderungen, welche wegen der in diesem Jahrhundert ausgeführten Korrektionsarbeiten an der Emme entstanden sind (s. auch Teil I).

3.2. Das Untersuchungsgebiet

Das im folgenden behandelte Untersuchungsgebiet schliesst im Osten bei Ramsey an das Untersuchungsgebiet des Oberen Emmentales an (vgl. Teil I, 1975). Die nördliche Grenze folgt bis Affoltern, Heiligenland, der Wasserscheide zwischen Grüental und Rüegsbachtal und verläuft anschliessend durch den Weidwald über den Rachisberg auf die Riedegg und wieder hinunter zur Emme in den Schachen von Burgdorf. Auf der südlichen Seite der Emme zieht sich die Grenze von Ramsey über Moosegg bis auf die Blasenfluh, folgt der Wasserscheide der südlichen Hälfte des Bigentales über Neuhaus bei Grosshöchstetten und Schlosswil, die Menziwillegg bis Diepoldshaseneegg. Danach verläuft sie durch das Lindental über den Bantiger zum Grauholz und führt über die Höhen nördlich des Unterbergentales durch den Pleerwald bis wiederum in die Talsohle der Emme südlich von Burgdorf.

Die Fläche dieses Gebietes umfasst 156 km², die Meereshöhe variiert zwischen 540 m und 1120 m.

Der grösste Teil der Untersuchungen umfasst das Gebiet des Emmental-Grundwasserleiters¹⁾, welches im weiteren auch als Bilanzierungsgebiet bezeichnet wird. Die Seitentäler (z.B. Bigental, Rüegsbachtal, Biembachtal, Unterbergental) wurden nur generell, vor allem im Rahmen der Grundwasserbilanzierung, in die Untersuchungen einbezogen.

3.3. Aufbau des Messstellennetzes

Der Aufbau des Messstellennetzes umfasste folgende Etappen:

T. BLOCH

1966 Aufbau und Vermessung von 4 Wasserstands-Abstichpunkten (Pegelmessstellen) in der Emme.

1966 - 1968 Rekognoszierung und Vermessung von 21 bestehenden Grundwassermessstellen (Ramm-, Schacht- und Vertikalbrunnen)

1969 - 1970 Aufbau von 3 Abflussmengen-Messstationen, wovon eine an der Emme, eine am Rüegsbach und eine am Luterbach liegt

Büro WERNER

1969 Aufbau und Vermessung von 8 Grundwasser-Peilrohren und 2 Wasserstands-Abstichpunkten für die Schutzzonenabklärung der Grundwasserfassung der Wasserversorgung Oberburg in der Tschamerii

1970/1972 Aufbau und Vermessung von 17 Bohrungen, 30 Grundwasser-Peilrohren und 22 Wasserstands-Abstichpunkten für die Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich Burgdorf im Auftrage der Wasserversorgung der Stadt Burgdorf

1972 Aufbau und Vermessung von 16 Grundwasser-Peilrohren für die Schutzzonenabklärung der Brunnengenossenschaft Hasle

1973 Aufbau und Vermessung von einer Rotationskernbohrung, 13 Grundwasser-Peilrohren und 4 Wasserstands-Abstichpunkten für die Schutzzonenabklärung der Grundwasserfassung der Wasserversorgung Rüegsauchachen und Umgebung

1975 Aufbau und Vermessung von 32 Grundwasser-Peilrohren und 14 Wasserstands-Abstichpunkten für die Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Oberburgschachen im Auftrage der Wasserversorgung der Stadt Burgdorf

1975 Aufbau und Vermessung von 6 Grundwasser-Peilrohren für die Schutzzonenabklärung der Grundwasserfassung der Butterzentrale Burgdorf

Ingenieurschule Burgdorf

1972/1973 Aufnahme und Vermessung von 5 Emme-Querprofilen

WEA

1972 - 1974 Aufbau und Vermessung von 50 Wasserstands-Abstichpunkten an der Emme und ihren wichtigsten Nebenbächen

1973 Ausbau und Vermessung von 2 WEA-Bohrungen im Haupttal der Emme

1973 - 1974 Aufbau und Vermessung von 30 Grundwasser-Peilrohren zur Ergänzung des Grundwassermessstellennetzes

3.4. Beschreibung der Messstellen und Messungen

3.4.1. Niederschlag

Im Untersuchungsgebiet befinden sich keine Niederschlags-Messstellen. Zur Beurteilung der Niederschlagshöhen werden deshalb die drei mit Tagestotalisatoren versehenen MZA-Messstationen in Burgdorf, Affoltern und Grosshöchstetten sowie der Pluviograph in Rüderswil, Moos, verwendet. Alle vier Messstationen liegen knapp ausserhalb des Untersuchungsgebietes und dürften dank der räumlich gut verteilten Standorte repräsentative Niederschlagshöhen liefern.

Tabelle II,6

Niederschlags-Messstationen (ausserhalb Kartenausschnitt)

Ort	WEA-Bez.	Höhe m ü.M.	Beobachtungsdauer
Grosshöchstetten, Dorf, MZA	615.195/8D	743	seit 1893
Rüderswil, Moos, WEA	621.204/19P	605	seit 1.10.1969
Affoltern, Dorf, MZA	622.212/1P	796	seit 1864
Burgdorf, Gaswerk, MZA	613.212/21D	525	seit 1899

Für die Messstellen in Rüderswil und in Affoltern bestehen Aufzeichnungen der Niederschlagshöhen auf Pluviographenstreifen. Die Niederschlagshöhen der beiden Tagestotalisatoren Grosshöchstetten und Burgdorf werden durch das MZA Personal jeweils um 7.00 Uhr und 19.00 Uhr gemessen und registriert. Auf eine Tabellierung dieser Tageswerte wird - abgesehen von der graphischen Darstellung der täglichen Niederschlagshöhen der Jahre 1972 bis 1974 der MZA-Messstation Burgdorf (s. Beilage II,5) - verzichtet; sie sind aus den Annalen der MZA zu entnehmen.

3.4.2. Oberflächengewässer

3.4.2.1. Wasserstands-Abstichpunkte

Um die Beziehungen zwischen den Oberflächengewässern und dem Grundwasser zu erfassen, wurden an der Emme und ihren wichtigsten Nebenbächen 92 Wasserstands-Abstichpunkte geschaffen. Die Messstellen sind nach Möglichkeit so angeordnet, dass das Wasserspiegelgefälle zwischen zwei Messstellen als konstant angenommen werden kann. Die räumliche Lage der 92 Wasserstands-Abstichpunkte ist aus den Grundlagenkarten und der Dokumentation WEA/Geologie ersichtlich.

Um herauszufinden inwieweit Oberflächengewässer und Grundwasser höhenmässig zusammenhängen könnten, wurden von sämtlichen Abstichpunkten aus die Wasser- und Sohlenkoten ermittelt. Die Messungen erfolgten am 20.3.1974 gleichzeitig mit der Einmessung des Grundwasserspiegels. Die eingemessenen Wasserstände sind, soweit sie für die Konstruktion der Grundwasserisohypsen notwendig waren, in Beilage II,2 wiedergegeben.

3.4.2.2. Abflussmengen-Messstellen

Als Abflussmengen-Messstellen werden Oberflächengewässer-Messstellen bezeichnet, bei denen neben dem Wasserstand die Abflussmenge sporadisch gemessen wird.

Im Untersuchungsgebiet wurde eine solche Messstelle lediglich beim Grundwasser-austritt Chuderglungge im Rüegsauschachen 617.207/14 (BLOCH,1972) erstellt. Drei Messungen ergaben bei einem mittleren Grundwasserstand einen Ausfluss zwischen 82 - 97 l/sec.

3.4.2.3. Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel)

Abflussmengen-Messstationen sind Oberflächengewässer-Schreibpegel, aus deren Wasserstandsaufzeichnungen die Abflussmengen berechnet werden können.

Im Untersuchungsgebiet konnten mit der Unterstützung des Geographischen Instituts der Universität Bern und des Regionalplanungsverbandes Burgdorf Abflussmengen-Messstationen für die Emme im Oberburgschachen, für den Rüegsbach in Rüegsau und für den Luterbach in Oberburg (BLOCH, 1972) errichtet werden (vgl. Tabelle II,7).

Für die Durchführung von Abflussmengen-Eichmessungen (Tabelle II,8) der Emme wurde in Zusammenarbeit mit dem Wasserwerk Burgdorf oberwasserseits der Querschwelle bei Emme-km 19.97 eine Seilbahn gebaut. Der Standort dieser Messstation ist aufgrund der stabilisierten Flussole durch die Schwellenverbauung für die Ermittlung der Beziehung zwischen Pegelstand und Abflussmenge günstig. Die Standorte der beiden Stationen am Rüegsbach und Luterbach liegen in bezug auf die Sohlensicherung ungünstiger.

Tabelle II,7

Abflussmengen-Messstationen (Abflusspegel)

Oberflächen-gewässer	Ort	WEA-Bezeichnung	Pegelnulldpunkt/ Abstichpunkt m ü. M.	Beobachtungs- dauer
Emme	Burgdorf, Oberburg- schachen	615.209/6	553.12	seit 27.2.1970
Rüegsbach	Rüegsau, Dorf	617.208/13	584.50	seit 20.1.1969
Luterbach	Oberburg, Dorf	614.209/35	547.59	seit 13.1.1969

Die Aufzeichnungen des Wasserstandes der Messstation an der Emme wurden für die Beobachtungsdauer vom 1.1.1972 - 3.12.1974 in Beilage II,5 als Ganglinie dargestellt. Da der Wasserstand infolge von verschiedenen technischen Schwierigkeiten (z.B. Verstopfen oder Einfrieren der Heberleitung) zeitweise nicht messbar war, musste die Ganglinie anhand von wöchentlichen Messungen ergänzt werden.

Die Beziehung zwischen Wasserstand und Abflussmenge konnte aufgrund von acht Eichmessungen für Emme-Wasserstände zwischen 552.15 und 552.895 m ü.M. während der Zeitperiode vom 9.8.1969 - 7.6.1971 gefunden werden (BLOCH, 1972; vgl. p. 98 ff. wo auch über die verschiedenen Schwierigkeiten mit den Abfluss-Messstationen berichtet wird). Für die Jahre 1972 - 1975 bestehen keine Abflussmengen-Messungen.

Die Abflussmengen des Rüegsbaches und des Luterbaches gehen aus 13 bzw. 15 Messungen während der Zeitperiode der Jahre 1969 - 1974 hervor.

Tabelle II,8

Abflussmengen der Eichmessungen (BLOCH, 1972; Geogr. Inst.; WEA/Geologie)

Oberflächen- gewässer	WEA- Bezeichnung	Datum	Wasserstand/ Pegel m ü.M./m	Abfluss- menge l/s
Emme	615.209/6	9. 8.1969	552.173	5 747
		17. 3.1970	552.290	9 925
		10. 4.1970	552.385	20 500
		18. 4.1970	552.895	104 799
		19. 9.1970	552.200	6 212
		2.12.1970	552.265	12 337
		22.12.1970	552.150	4 346
		7. 6.1971	552.625	40 721
Rüegsbach	617.208/13	1. 2.1969	0.210	391
		10. 3.1969	0.250	499
		26. 7.1969	0.153	259
		2.11.1969	0.365	1 319
		24. 2.1970	0.325	992
		9. 4.1970	0.300	925
		22. 4.1970	0.248	590
		20. 6.1970	0.228	461
		25. 9.1970	0.180	284
		23.11.1970	0.210	456
		2.12.1970	0.190	347
		1.12.1971	0.160	260
		20. 5.1974	0.135	241
Luterbach	614.209/35	1. 2.1969	0.300	343
		15. 4.1969	0.295	354
		2.11.1969	0.260	220
		24. 2.1970	0.240	168
		9. 4.1970	0.590	2 128
		22. 4.1970	0.450	1 229
		20. 5.1970	0.405	895
		20. 6.1970	0.280	324
		19. 9.1970	0.240	234
		23.11.1970	0.310	457
		2.12.1970	0.270	294
		1.12.1971	0.273	263
		20. 5.1974	0.233	153
		29. 5.1974	0.230	152
		12. 6.1974	0.250	198

3.4.3. Grundwasser

3.4.3.1. Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen

Das Netz der Beobachtungspunkte für Grundwasserspiegelmessungen ist heute beachtlich dicht. Insgesamt konnten während der Untersuchungsperiode von 1966 - 1975 176 Grundwasser-Beobachtungsstellen eingerichtet werden, bestehend aus 135 Peilrohren, 20 Bohrungen mit Filterrohren und 21 Ramm-, Schacht- oder Filterbrunnen. Dies darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein dichtes Netz lediglich im Haupttal der Emme vorliegt. In den Seitentälern und in den Terrassen kann der Grundwasserspiegel infolge der grossen Ueberwasserspiegeln zonen grösstenteils nur noch mit Bohrungen erreicht werden, so dass aus Kostengründen auf die Einrichtung von Grundwasser-Messstellen verzichtet werden musste. Die räumliche Lage der 176 Grundwasser-Beobachtungsstellen ist aus den Grundlagenkarten 1:10 000 und der Dokumentation WEA/Geologie ersichtlich.

Zur Erfassung der Grundwasser-Spiegelfläche wurden bei unterschiedlichen Grundwasserständen 3 Simultanmessungen durchgeführt. Die Beobachtungswerte können einerseits in den Feldprotokollen (Dok. WEA) eingesehen werden. Andererseits gehen sie teilweise aus den Beilagen (insbesondere II,2) und der Dissertation BLOCH, 1972, hervor.

Tabelle II,9

Grundwasserspiegelmessungen

Datum	Lage des Grundwasserspiegels	Anzahl Beobachtungspunkte	Dokumentation der Beobachtungswerte	Beilagen Nrn.
27.09.1968	hoch	24	BLOCH, 1972	II,2, II,5 (II,1, II,3)
10.10.1973	ca. 20-50 cm höher als durchschnittlich	110	WEA	
20.03.1974	ca. 10-20 cm höher als durchschnittlich	170	WEA	

3.4.3.2. Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen

Die Beurteilung der Grundwasserspiegelschwankungen basiert auf periodischen Messungen in verschiedenen Beobachtungspunkten. Für die Zeitperiode vom Frühjahr 1966 bzw. 1968 bis Herbst 1969 liegen wöchentliche Messungen für 25 Messstellen vor. Sie sind tabellarisch festgehalten und zu Ganglinien auf Jahrespapier verarbeitet worden (BLOCH, 1972).

Weitere Messungen erfolgten zur Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich Burgdorf und im Oberburgschachen im Auftrage der Wasserversorgung der Stadt Burgdorf. So liegen umfangreiche Messwerte für die Jahre 1968 bis 1971 und für 1973 sowie ab 1970 von 25 Beobachtungspunkten monatliche Messresultate vor (WERNER, 1971 - 1975). Weitere Messungen im Rahmen der Schutzzonenab-

klärungen der Wasserversorgungen Rüegsauschachen, Hasle, Oberburg und der Butterzentrale Burgdorf sind zu Ganglinien verarbeitet in den entsprechenden Gutachten (WERNER, 1969/1972/1973/1975) enthalten.

3.4.3.3. Schreibpegel

Im Jahre 1956 wurde durch die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf im Pumpwerk 2 im Ischlag südlich von Burgdorf ein Grundwasserschreibpegel installiert. Im Frühjahr 1970 erfolgte durch das WEA die Anschaffung von vier Schreibpegeln, deren Einsatz im Untersuchungsgebiet unter der Leitung des Geographischen Instituts der Universität Bern (BLOCH, 1972) stand, siehe Tabelle II,10, Beilage II,5.

Tabelle II,10

Grundwasserschreibpegel

Ort	WEA-Bez.	Pegel-null-punkt m ü. M.	Beobachtungsdauer	Betreuung
Lützelflüh, Stalder	619.206/4	587.31	18.4.70-17.8.72	Geogr. Inst.
Hasle, Pumpwerk	615.207/2	563.46	seit 21.2.70	Geogr. Inst.
Oberburg, Leimeren, Burri	614.209/14	549.36	11.4.70- 2.9.71	Geogr. Inst.
Burgdorf, Ischlag Hulliger	614.210/35	542.62	26.2.70-30.9.71	Geogr. Inst.
Burgdorf PW2, Ischlag	614.210/2	543.44	seit 1.1.1957	Industr. Be- triebe Burgdorf

Im Laufe der Untersuchungsperiode sank in den Messstellen Oberburg, Leimeren, und Burgdorf, Ischlag, der Grundwasserspiegel unter den tiefsten messbaren Wasserstand. Die Schreibpegel wurden deshalb an günstigeren Messstellen in das Untere Emmental versetzt. Der Schreibpegel in Lützelflüh brachte während der ganzen Beobachtungsperiode praktisch störungsfreie Messungen, musste jedoch wegen Auflassung der Messstelle vor Ende der Untersuchungsperiode aufgehoben werden. Die Aufzeichnung der beiden Schreibpegel in den Pumpwerken der Wasserversorgung Hasle und Burgdorf sind durch Absenkungen infolge des Pumpbetriebes gestört worden. Die betriebsbedingten Absenkungen konnten gegenüber dem natürlichen Grundwasserspiegelverlauf gut erfasst werden und wurden in unseren Ganglinien (Beilage II,5) nicht dargestellt.

Von den vier durch das Geographische Institut betreuten Schreibpegeln existieren Wochenganglinien-Blätter (BLOCH, 1972). Die Aufzeichnungen des Schreibpegels der Wasserversorgung Burgdorf liegen auf Monatsganglinien-Papier vor.

3.5. Auswertungen

3.5.1. Niederschlag

Jede natürliche Abflussveränderung in den Oberflächengewässern sowie jede natürliche Grundwasserspiegelbewegung kann letztlich auf Niederschläge zurückgeführt werden. Wenn in der Folge die Bestimmung der Niederschläge etwas rudimentär behandelt wird, ist dies auf ihre untergeordnete Bedeutung für die direkte Grundwasserbildung im Emmental zurückzuführen. Das Ziel der Untersuchung - eine Grundwasserbilanz zu erstellen - lässt sich anhand der in Kap. 5.2.2. beschriebenen Bilanzierungsmethode auch unter Umgehung des ohnehin sehr komplexen Zusammenhanges zwischen Niederschlag und Grundwasserneubildung erreichen.

In Anlehnung an die Grundwasserbilanzierung im Oberen Emmental beziehen sich die folgenden Ausführungen auf das Kalenderjahr 1972.

Aus Tabelle II,11 geht hervor, dass die Niederschlagshöhe 1972 im Vergleich zum mittleren Jahresniederschlag der Periode 1969 - 1974 bei zwei Messstellen praktisch gleich gross, bei der Station Grosshöchstetten ungefähr 10 % kleiner war. Vergleichen wir den Mittelwert 1969 - 1974 der MZA-Station Burgdorf mit ihrem 40-jährigen Mittel von ca. 970 mm, so kann festgestellt werden, dass die Untersuchungsperiode 1969 - 1974 ein kleines Niederschlagsdefizit von ca. 5 % aufweist. Ein Defizit von ca. 12 % lässt sich aus dem Unterschied zwischen dem 60-jährigen Mittel der Station Affoltern von 1165 mm (1901 - 1960) und ihrem Mittelwert für 1969 - 1974 errechnen. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, kann das Jahr 1972 mit einem Defizit von ca. 10 % für das vorliegende Untersuchungsgebiet als ein eher trockenes Jahr bezeichnet werden.

In der Tat bildete der gewitterarme Sommer 1972, wie die Darstellung der täglichen Niederschlagshöhen in Beilage II,5 bestätigt, mit monatlichen Niederschlagshöhen unter dem langjährigen Mittel eine Ausnahme. Mit den grossen Niederschlägen im November wurde der spärliche Sommerniederschlag aber fast gänzlich wieder ausgeglichen.

Im Hinblick auf die räumliche Niederschlagsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes sind für Burgdorf um ca. 11 % kleinere Werte festzustellen als für Rüderswil. Sicher macht sich hier der Einfluss des niederschlagsreichen Napfgebietes geltend und andererseits liegt der Raum Burgdorf - wir zitieren BLOCH, 1972 - "im Windschatten des Frienisberges und weist wohl deshalb die geringsten Jahressummen" des mittleren und unteren Emmmentals auf.

Tabelle II,11

Jährliche Niederschlagshöhen 1969 - 1974

Ort	WEA-Bez.	Niederschlagshöhen in mm im Jahr						Mittel 1969-74
		1969	1970	1971	1972	1973	1974	
¹⁾ Grosshüchstetten, Dorf, MZA	615.195/8D	1108	1368	988	1036	1161	1267	1155
Rüderswil, Moos ¹⁾ WEA	621.204/19P	-	1281	926	1031	1074		
Affoltern, ¹⁾ Dorf, MZA	622.212/1P	997	1166	909	1031	979	1080	1027
Burgdorf, Gaswerk, MZA	613.212/21D	809	1039	858	924	924	949	917

1) ausserhalb Kartenausschnitt

3.5.2. Oberflächengewässer

3.5.2.1. Wasserstands-Abstichpunkte

Mit der Auswertung der Wasserstands-Abstichpunkte ist der Gang des Emmewasserspiegels erfasst worden. Als Resultat steht das in Beilage II,5 dargestellte Längenprofil des Emmewasserspiegels vom 20.3.1974 zur Verfügung.

Der Gefällsverlauf des Emmewasserspiegels wird, im Längsschnitt betrachtet, durch die treppenartige Verbauung mit den Wehren (Schwellen) geprägt. Zwischen den Wehren weist der Wasserspiegel ein mittleres Gefälle von 3 bis 5 ‰ auf. Die Differenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel beträgt 0.50 bis 2.5 m. Auf den Einfluss der Lage des Emmewasserspiegels auf den Grundwasserspiegel kommen wir im Kapitel 3.5.4. zu sprechen.

Abstichpunkte an den Seitenbächen der Emme sind dort angelegt worden, wo der Grundwasserspiegel über dem Oberflächenwasserspiegel liegt. Es handelt sich um drei Gebiete: - Der Bleichebach bis zur Kulturmühle (619.445/206.020) sowie ein Seitenbächlein, welches in der Talmitte entspringt, liegen in der Regel nur knapp unter dem benachbarten Grundwasserspiegel, so dass keine beachtliche Exfiltration stattfinden dürfte. - Die sog. "Chuderglungge" (617.207/14), ein seit jeher bekannter Grundwasseraustritt, ist ergiebiger (Kap. 3.4.2.2.). - Der Rüegsbach liegt unmittelbar nach der Mündung in den Talboden der Emme bis zu einem Meter unter dem Grundwasserspiegel. Infolge der feinkörnigen, relativ schlecht durchlässigen Deckschichten dürfte die exfiltrierende Grundwassermenge aber unbedeutend sein (WERNER, 1973).

3.5.2.2. Abflussmengen-Messstellen

Die in der Tabelle II,12 aufgeführte generelle Bilanzierung des Oberflächengewässer-Abflusses gibt aufschlussreiche Anhaltspunkte für die Beurteilung der In- und Exfiltrationsverhältnisse während der niederschlagsarmen Zeitperiode vom August bis Mitte November 1972. Als Stichtag der Bilanzierung wurde in Anlehnung

an die Abflussmengenmessungen im Oberen Emmental (vgl. Teil I) der 8.11.1972 ausgewählt. Die Werte beschreiben demnach einen Abfluss am Ende des Zeitabschnittes mit den tiefsten Grundwasserständen während der Untersuchungsperiode (vgl. Beilage II,5). Der Zufluss der Emme in das Untersuchungsgebiet wurde in Lützelflüh, Farbschachen (619.205/72; WEBER, 1974) gemessen. Der Emmeabfluss liess sich anhand der Schreibpegelaufzeichnungen der Messstation Oberburgschachen mit der prov. Pegel-Abflussmengenbeziehung berechnen. Der Zufluss aus Bleichebach und Rüegsbach konnte ebenfalls mit einer prov. Pegel-Abflussmengenbeziehung bestimmt werden. Hingegen mussten sämtliche anderen Mengen anhand von Einzelmessungen oder Abflussberechnungen geschätzt werden.

Tabelle II,12

Generelle Bilanzierung des Oberflächenabflusses vom 8.11.1972

Oberflächen- gewässer	Ort	WEA-Bez.	Abflussmengen Q		
			Einzel- mengen l/s	Bezeichnung	Summe l/s
Emme	Lützelflüh, ³⁾	619.205/72	3640		
Bleichebach ¹⁾	Lützelflüh, ³⁾ Mühligass	619.206/16	ca. 660	Q00 (Zufluss oben)	ca. 4300
Goldbach ²⁾ Biglenbach ²⁾ Biembach ²⁾ sonst. Seitenbäche ²⁾			ca. 190 ca. 400 ca. 90		
Chuderglungge ²⁾	Rüegsausachen	617.207/14	ca. 80		
Rüegsbach ¹⁾	Rüegsau, Dorf	617.208/13	ca. 190	Q0R (Zufluss randlich)	ca. 970
Mühlekanal ²⁾ Schachenbach ²⁾ Emme ¹⁾	Oberburg, Mühle Oberburg, Schachen Oberburg, Schachen	614.208/11 614.208/10 615.209/6	ca. 800 ca. 100 ca. 3400	Q0U (Abfluss unten)	ca. -4300

- 1) mit Pegel-Abflussmengenbeziehungen 2) geschätzte Werte anhand
Vergleichsbetrachtungen
3) ausserhalb Kartenausschnitt

Für die generelle Bilanzierung des Oberflächenabflusses kann folgende Bilanzierungsgleichung angewendet werden:

$$\Sigma Q_{OU} + \Sigma Q_{OO} + \Sigma Q_{OR} + \Sigma (Q_{IO} + Q_{XO}) = 0 \quad (\text{vgl. I, Formel 1, p. 63})$$

wobei unter $\Sigma (Q_{IO} + Q_{XO})$ die Differenz zwischen Infiltrations- und Exfiltrationsmenge in den bzw. aus dem Grundwasserleiter verstanden wird (Zufluss+, Abfluss-). Am 8.11.1972 ergibt sich demnach für das bilanzierte Gebiet zwischen Lützelflüh und Oberburg ein Infiltrationsüberschuss aus den Oberflächengewässern in den Grundwasserleiter von ca. 970 l/s.

Die Infiltrationsmenge von ca. 970 l/s am Ende einer Trockenperiode scheint für das Untersuchungsgebiet eher zu gross zu sein. In der Tat kann bei der teilweisen Bestimmung der Abflussmengen anhand von Abflusskoeffizienten und Pegel-Abflussmengenverhältnissen infolge der mannigfaltigen Fehlermöglichkeiten (z.B. Veränderung der Flussole seit der letzten Eichmessung etc.) kein genaues Resultat erwartet werden. Trotzdem deutet diese Bilanzierung darauf hin, dass im Untersuchungsgebiet auch während Trockenperioden ein Infiltrationsüberschuss aus den Oberflächengewässern - mit grosser Wahrscheinlichkeit wohl hauptsächlich von der relativ langen Infiltrationsstrecke der Emme zwischen Hasle und Burgdorf (siehe Kapitel 3.5.4.1.) - vorliegen dürfte.

3.5.2.3. Abflussmengen-Messstationen

Auf die Berechnung der mittleren Jahresabflüsse der Messstation Oberburgschachen musste wegen den in Kap. 3.4.2.3. erwähnten Betriebsschwierigkeiten verzichtet werden. An ihrer Stelle werden deshalb in Tabelle II,13 die Jahresabflussmengen der Emme der Station Emmenmatt (A+W, s. Teil I) wiedergegeben.

Zur Abflussmengenbestimmung des Rüegsbaches und des Luterbaches musste vorerst die Beziehung zwischen Wasserstand und Abflussmenge (vgl. Tabelle II,8) gefunden werden. Infolge der spärlichen Eichmessungen nach 1970 wird jedoch für die mittleren Jahresabflussmengen ab 1971 mit einem Fehler von min. 10 % zu rechnen sein.

Die durchschnittliche Jahresabflussmenge der Emme in Emmenmatt beträgt für 1969 - 1974 11.8 m³/s. Der Jahresdurchschnitt der Messperiode 1918 - 1974 ergibt 11.7 m³/s (A+W, 1974). Die Abflussverhältnisse in der Emme während unserer Untersuchungsperiode können - im Durchschnitt betrachtet - somit als normal bezeichnet werden. Hingegen wurden während der Untersuchungsperiode gleich in zwei aufeinanderfolgenden Jahren ausserordentliche Abflussmengen registriert. Im niederschlagsreichen Jahr 1970 entstand die grösste jemals gemessene Jahresabflussmenge der Emmenmatt-Station, während die Abflussmenge für 1971 lediglich in den Jahren 1921, 1943, 1947 sowie 1949 unterschritten wurde. Im Jahre 1972 lag der Wasserabfluss in der Emme ebenfalls unter dem Durchschnitt, ca. 24 %. Dies rührt einerseits sicherlich von den kleineren Schneeschmelzabflüssen im Frühling her und andererseits vom gewitterarmen Sommer.

Tabelle II,13

Mittlere Jahresabflussmengen 1969 - 1974

Oberflächen- gewässer	WEA-Bez.	Mittlere Jahresabflussmenge m ³ /s						
		1969	1970	1971	1972	1973	1974	1969- 1974
Emme incl. 1) Ilfiskanal ¹⁾	623.200/25E	11.3	19.5	7.88	8.9	11.3	12.1	11.83
Rüegsbach	617.208/13	0.381	0.505	0.232	0.295	0.288	0.249	0.325
Luterbach	614.209/35	0.331	0.445	0.242	0.210	0.297	0.270	0.299

1) ausserhalb Kartenausschnitt (s. Teil I)

3.5.3. Grundwasser

3.5.3.1. Beobachtungspunkte mit Einzelmessungen

Die Einzelmessungen in den zahlreichen Beobachtungspunkten sind ausgeführt worden, um die Isohypsen des Grundwasserspiegels bei verschiedenen Grundwasserständen zu konstruieren. Sie werden nicht mehr weiter ausgewertet.

3.5.3.2. Beobachtungspunkte mit periodischen Messungen

In Tabelle II,14 sind Hochstände, in Tabelle II,15 Tiefstände des Grundwasserspiegels einiger ausgewählter Beobachtungspunkte mit wöchentlichen Messungen der Jahre 1969 - 1974 wiedergegeben. Es sei jedoch schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass wegen der raschen Grundwasserspiegeländerungen bis zu einigen Zentimetern pro Stunde es im Untersuchungsgebiet in der Regel nicht gelingt, mit wöchentlichen Messungen die Jahresextremwerte zu erfassen. Dazu sind Schreibpegelaufzeichnungen über das ganze Jahr notwendig. Um die aufgeführten Hoch- und Tiefstände mit effektiven Jahresextremwerten vergleichen zu können (s. Tabelle II,17 und 18) sind deshalb in den folgenden Tabellen II,14 und 15 auch Werte der Schreibpegelstation Hasle, Pumpwerk, aufgeführt worden. Es zeigen sich für die Schwankungsbereiche des Grundwasserspiegels recht grosse Abweichungen, beispielsweise für das Jahr 1974 mit einem effektiven Schwankungsbereich von 0.59 m (s. Tabelle II,19) betragen sie 55 %.

Tabelle II,14

Hochstände des Grundwasserspiegels aus periodischen Abstichmessungen

Ort	Ordnungs- nummer (WEA-Bez.)	Hochstand in m ü.Meer vom					
		19.6.69	25.2.70	22.6.71	24.11.72	1.8.73	24.7.74
Lützelflüh, Brandis	617.206/16						571.50 ¹⁾
Rüegsauschachen, Samariterposten	616.207/6	564.68					
Hasle, Pumpwerk (Schreibpegel)	615.207/2	562.92	563.10	562.62	563.17	562.73	562.50
Oberburg, Schachen	615.208/24		554.24	553.71	554.15	553.67	553.36
Burgdorf, Schachen	614.210/126			544.66	544.83	544.66	543.78
Burgdorf, Ischlag	614.210/83	541.83	542.00	541.50	541.46	541.58	541.22
Burgdorf, Ischlag	614.210/77	540.49	541.04	540.35	540.05	540.39	540.08

1) aus Vergleichsberechnung

Tabelle II, 15

Tiefstände des Grundwasserspiegels aus periodischen Abstichmessungen

Ort	Ordnungs- nummer (WEA-Bez.)	Tiefstand in m ü.Meer vom					
		25.11.69	5.1.70	25.10.71	10.11.72	19.6.73	17.9.74
Lützelflüh, Brandis	617.206/16						571.10
Rüegsauschachen, Samariterposten	616.207/6	564.25 ¹⁾		564.28 ¹⁾			
Hasle, Pumpwerk (Schreibpegel)	615.207/2	562.18	562.13	562.00	561.59	562.25	562.24
Oberburg, Schachen	615.208/24		552.88	552.62	551.02	552.50	552.90
Burgdorf, Schachen	614.210/126			542.62	540.18	542.58	542.53
Burgdorf, Ischlag	614.210/83	539.80	540.22	540.06	538.12	540.20	539.93
Burgdorf, Ischlag	614.210/77	538.80	539.18	539.01	537.38	539.14	538.79

1) aus Vergleichsberechnung

Die höchsten Stände aus den periodischen Messungen sind während des niederschlags- und abflussreichen Winters 1970 zu verzeichnen. Etwas tiefere, aber dennoch sehr hohe Stände konnten am 24. November 1972 eingemessen werden. Wie aus den Ganglinien in Beilage II,5 hervorgeht, war der Grundwasserspiegel während dieser Messtour schon rückläufig. Er dürfte aber nur wenig höher gelegen haben, da der höchste Grundwasserstand 1972 nur einen Tag früher eingetreten war (s. folgendes Kapitel).

Für die Tiefstände liefern mit Ausnahme des Jahres 1972 sämtliche Jahreswerte etwa gleiche Koten.

In Tabelle II,16 werden die Unterschiede zwischen den Hoch- und Tiefständen, der sog. Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels, zusammengestellt. Die grössten Schwankungsbereiche treten im Raume Burgdorf auf. Emme aufwärts nehmen sie bis zur Grundwasseraustrittsstelle der Chuderglungge bei Rüegsauschachen nach und nach ab. Für das Gebiet zwischen Rüegsauschachen und Lützelflüh bestehen für eine exakte Beurteilung der Schwankungsbereiche zur Zeit noch zu wenig Messungen. Approximativ können dort anhand der Werte vor 1969 (BLOCH, 1972) für die Jahre 1969 - 1974 Schwankungsbereiche von 0.2 bis 2 m angenommen werden.

Tabelle II,16

Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels aus periodischen Abstichmessungen

Ort	Ordnungs- nummer (WEA-Bez.)	Differenz zwischen Tiefstand und Hochstand in m					
		1969 19.6./ 25.11.	1970 5.1./ 25.2.	1971 25.10./ 22.6.	1972 10.11./ 24.11.	1973 19.6./ 1.8.	1974 17.9./ 24.7.
Lützelflüh, Brandis	617.206/16						0.40
Rüegsauschachen, Samariterposten	616.207/6	0.43					
Hasle, Pumpwerk	615.207/2	0.74	0.97	0.62	1.58	0.48	0.26
Oberburg, Schachen	615.208/24		1.36	1.09	3.13	1.17	0.46
Burgdorf, Schachen	614.210/126			2.04	4.65	2.08	1.25
Burgdorf, Ischlag	614.210/83	2.03	1.78	1.44	3.34	1.38	1.29
Burgdorf, Ischlag	614.210/77	1.69	1.86	1.34	2.67	1.25	1.29

Die Summen der Grundwasserspiegel-Anstiege wurden, ausser für die Messstellen Pumpwerk Hasle und Burgdorf (vgl. Beilage II,5), nicht berechnet, da wegen der raumzeitlich unterschiedlichen Beobachtungsreihen diese nicht miteinander verglichen werden dürfen.

3.5.3.3. Schreibpegel

In Tabelle II,17 werden aus den Schreibpegel-Aufzeichnungen der beiden Messstellen Burgdorf, Pumpwerk 2, und Hasle, Pumpwerk, die Zeiten und Koten für die jährlichen Höchststände des Grundwasserspiegels wiedergegeben. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Kulminationspunkt des Grundwasserspiegels.

Tabelle II,17

Höchststände des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen

Hasle, Pumpwerk			Burgdorf, Pumpwerk		
Datum	Zeit	Grundwasser- spiegel m ü. M.	Datum	Zeit	Grundwasser- spiegel m ü. M.
27. 6.69		562.93 ¹⁾	27. 6.69	10.00	541.76
20. 4.70		<u>563.28</u>	20. 4.70	20.00	<u>542.20</u>
11. 6.71	16.00	562.79	20. 6.71	05.00	541.18 ²⁾
23.11.72	12.00	563.22	23.11.72	17.00	541.56
24. 7.73	16.00	562.89	26. 7.73	07.00	541.75
29. 6.74	18.00 ³⁾	562.65	25. 7.74	~12.00	541.29

1) aus periodischen Messungen

2) Limnigraph vom 10. - 14.6.71 ausgefallen

3) Hochstand vom 24.7.74, 18.00 : 562.50 m ü. M. (vgl. Tab. II,14)

Wie mit den Schreibpegelaufzeichnungen des Oberen Emmentals festgestellt werden konnte (vgl. Teil I, Seite 72), trat der Grundwasserhöchststand 1972 in den beiden Messstellen Mungnau und Rüderswil am Nachmittag des 23. November auf. Dasselbe trifft auch für die beiden aufgeführten Messstellen zu. Das praktisch gleichzeitige Auftreten dieses Grundwasserhöchststandes an vier verschiedenen Orten bestätigt die Annahme, dass die Zeitunterschiede für das Erreichen des Hochwasserspiegels innerhalb des ganzen Grundwasserleiters im Oberen und auch im Mittleren Emmental sehr klein sind. Im übrigen zeigen auch die Zeitangaben der übrigen Höchststände nur kleine Abweichungen, wobei die Höchststände im Pumpwerk Hasle im allgemeinen einige Stunden früher eintreten als im Pumpwerk Burgdorf.

Tabelle II,18

Tiefststände des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen

Hasle, Pumpwerk			Burgdorf, Pumpwerk		
Datum	Zeit	Grundwasserspiegel m ü. M.	Datum	Zeit	Grundwasserspiegel m ü. M.
7.11.69		562.05 ¹⁾	24.11.69	16.00	539.62 ²⁾
23.11.70		562.23	4. 1.70		540.18
8.11.71	14.00	561.91	14.11.71	20.00	539.75
10.11.72	15.30	<u>561.59</u>	9.11.72	18.00	<u>538.18</u>
4.12.73	21.00	562.15	4.12.73	12.00	540.20
8.11.74	16.00	562.06	24. 9.74	12.00	539.93

1) aus periodischen Messungen

2) durch Grosspumpversuch Burdleschachen verursacht.

Wie aus Tabelle II,18 hervorgeht, stellten sich die maximalen Tiefststände der Untersuchungsperiode 1969 - 1974 14 Tage vor dem Höchststand des Jahres 1972 ein. Dieser Tiefststand vom 9./10.11.1972 lag im Pumpwerk Hasle 0.32 m und im Pumpwerk Burgdorf 1.57 m tiefer als nach der 7-monatigen Trockenperiode (September 1971 bis März 1972) des Jahres 1971/72. Ob dieser starke Rückgang des Grundwasserspiegels durch eine überdurchschnittlich grosse natürliche Zehrung nach dem eher trockenen Sommer 1972, durch grosse Grundwasserentnahmen (z.B. durch Entwässerungen bei Kanalisationsarbeiten) oder durch die stark verminderte Infiltration unterhalb des Einlaufes des Industriekanals entstanden ist, konnte mit dem eingesetzten Untersuchungsaufwand nicht abgeklärt werden.

Tabelle II,19 gibt die Differenz zwischen Höchststand und Tiefststand, den sog. Schwankungsbereich, für die Jahre 1969 - 1974. Der Schwankungsbereich liegt mit Ausnahme des Jahres 1972 für das Pumpwerk Hasle zwischen ca. 0.6 bis 1 m und für Burgdorf, Pumpwerk 2, zwischen ca. 1.4 bis 2 m. Der grössere Bereich des Jahres 1972 ist auf die überdurchschnittlichen Tiefst- und Höchststände im November zurückzuführen. Die grosse Differenz für die extremen Grundwasserstände zwischen Burgdorf und Hasle lassen sich aufgrund der heutigen Untersuchungsergebnisse noch nicht eindeutig erklären.

Tabelle II,19

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

Beobachtungspunkt	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1969-1974
Hasle, Pumpwerk	0.78	1.05	0.88	1.63	0.75	0.59	1.69
Burgdorf, Pumpwerk	2.14 ¹⁾	2.02	1.43	3.38	1.55	1.36	4.02

1) ohne Berücksichtigung der Feldabsenkung infolge des Grosspumpversuches Burgdorf, Schachen

In Tabelle II,20 werden der durchschnittliche Grundwasserstand, das Höhenmittel und das Zeitmittel der beiden Schreibpegel-Messstationen für das Jahr 1972 aufgeführt. Der durchschnittliche Grundwasserstand entspricht dem Flächenmittel der Zeit-Höhenlinie. Mit dem Höhenmittel wird das Mittel zwischen dem höchsten und tiefsten Wasserstand angegeben. Das Zeitmittel besagt, dass dieser Wasserspiegel während der Hälfte der Zeit unterschritten resp. überschritten wurde.

Tabelle II,20

Mittelwerte des Grundwasserspiegels aus den Schreibpegelaufzeichnungen 1972-1974

Jahr	Lage des Grundwasser- spiegels	Hasle, Pumpwerk	Burgdorf, Pumpwerk
1972	Durchschnitt	562.24	540.00
	Höhenmittel	562.41	539.87
	Zeitmittel	562.21	540.15
1973	Durchschnitt	562.49	540.93
	Höhenmittel	562.54	540.98
	Zeitmittel	562.50	541.00
1974	Durchschnitt	562.35	540.61
	Höhenmittel	562.36	540.61
	Zeitmittel	562.39	540.67
1972- 1974	Durchschnitt	562.36	540.51
	Höhenmittel	562.41	539.97
	Zeitmittel	562.37	540.61

In der in Kapitel 5 beschriebenen stationären Grundwasserbilanzierung wird vom mittleren Grundwasserstand vom 20.3.1974 (vgl. Beilage II,2) ausgegangen. Die Spiegelstände lagen zu diesem Zeitpunkt im Pumpwerk Hasle ca. 30 cm, im Pumpwerk Burgdorf ca. 60 cm höher als die hier aufgeführten Durchschnittswerte.

Von den Schreibpegelaufzeichnungen wurden sämtliche nicht auf einen Pumpbetrieb zurückzuführende Grundwasserspiegelanstiege summiert und in Tabelle II,21 aufgeführt. Diese Summen der jährlichen Grundwasserspiegelanstiege bilden eine gute Grundlage zur Berechnung der Grundwasserneubildung für die entsprechenden Gebiete (s. Kapitel 5.2.4.).

Die durchschnittliche Summe der 6-jährigen Periode beträgt für Hasle ca. 3.7 m und für Burgdorf mit ca. 4.5 m um 20 % mehr. Bemerkenswert ist, dass nicht im niederschlags- und abflussreichsten Jahr 1970 die grössten Grundwasserspiegelanstiege zu verzeichnen sind, sondern im eher trockenen Jahr 1972, das allerdings extreme Hochwässer im November aufwies.

Tabelle II,21

Summen der jährlichen Grundwasserspiegelanstiege (vgl. Beilage II,5)

Beobachtungspunkt	Summen der Anstiege in m der Jahre -					
	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Hasle, Pumpwerk	2.9 ¹⁾	3.95	3.33	3.65	3.35	5.16 ²⁾
Burgdorf, Pumpwerk	3.0 ¹⁾	4.75	3.55	6.48 ²⁾	4.86	4.39

1) aus Vergleichsbetrachtungen mit wöchentlichen Messungen

2) Beeinflussung durch zusätzliche Feldabsenkungen infolge von Entwässerungen bei Kanalisationsarbeiten möglich

3.5.4. Beziehungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser

3.5.4.1. Infiltration und Exfiltration der Emme

Vorerst befassen wir uns mit den Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken. Die Untersuchungen beziehen sich auf tiefe bis mittlere (Höhenmittel) Wasserspiegel der Emme und des Grundwassers, wie sie zeitmässig am häufigsten auftreten. Als Grundlage dient uns das in Beilage II,5 dargestellte Längenprofil mit der mittleren Emmensohle und dem Wasserstand vom 20.3.1974 sowie die Lage des Grundwasserspiegels in der Längenprofilaxe. Die ermittelten Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken sind aus Beilage II,6 ersichtlich.

In Anlehnung an die Erkenntnisse im Oberen und Unteren Emmental (Teil I/III) ist vorerst festzuhalten, dass das Emmebett auch im Mittleren Emmental während Niederwasser- und Mittelwasserperioden auf der ganzen Flussstrecke mehr oder weniger durchlässig ist. Bei den in der Folge beschriebenen In- und Exfiltrationsstrecken wird deshalb angenommen, dass je nach Höhenlage des Emme- und Grundwasserspiegels tatsächlich eine Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserleiter oder eine Exfiltration von Grundwasser in den Fluss stattfindet.

Der an das Obere Emmental anschliessende Grundwasserspiegel im Gebiet Bleiche-Farbschachen, südöstlich von Lützelflüh, liegt in der Regel leicht unter der Emmesohle. Die sich daraus ergebende wohl wenig ergiebige Infiltration auf einer Strecke von 500 m endet bei den beiden in den Jahren 1931 und 1947 erbauten Wehren unterhalb der Gohlhausbrücke (ca. 619.250/205.750).

Durch die mit diesen beiden Wehren künstlich erzeugte Abtiefung der Emmesohle von ungefähr drei Metern (in Bezug auf die Sohle von 1900) entstand hier wohl die markanteste Grundwasser-Exfiltrationsstrecke des untersuchten Emmeabschnittes. An beiden Ufern können auf einer Strecke von ungefähr einem halben Kilometer zahlreiche Grundwasseraustrittsstellen beobachtet werden. Am deutlichsten sind die Austrittsstellen in unmittelbarer Nähe der Wehrunterseiten zu erkennen. Das Wasser sprudelt teilweise quellartig wie aus Röhren zwischen den mit Blocksteinen befestigten Böschungen hervor. Bei den grösseren Austrittsstellen konnten bei einem tiefen Emmestand und einem mittleren Grundwasserspiegel Ergiebigkeiten bis zu 1 l/s und Quelle gemessen werden. Talabwärts verringern sich die Austrittsstellen mehr und mehr und sind nur noch bei getrübttem Emmeabfluss sichtbar.

Ab Lützelflüh bis nordöstlich Riffershüseren besteht eine weitere Infiltrationsstrecke. Am ausgeprägtesten sind die Spiegeldifferenzen zwischen Emme und Grundwasser oberhalb des Wehres Emme-km 23.5 südwestlich von Brandis. Eine Infiltration von Emmewasser kann hier durchaus stattfinden. Hingegen ist aus den Erfahrungen der Wehrarbeiten im Jahre 1930 bekannt, dass in diesem Abschnitt der Emme die Molasse sehr hoch ansteht, was sich im übrigen auch bei unseren Rammarbeiten für die Peilrohre in Emme-Nähe bestätigt hat. Das Infiltrat fliesst demzufolge vorerst auf der Molasse und gelangt erst nach einer gewissen Fliessstrecke als randlicher Zufluss in den eigentlichen Grundwasserleiter.

Von Riffershüseren bis Kalchofen folgen sich abwechselnd Infiltrationsstrecken oberhalb und Exfiltrationsstrecken unterhalb der Wehre. Die Spiegeldifferenzen

sind im allgemeinen jedoch so klein, dass In- und Exfiltration in diesem Abschnitt eine unbedeutende Rolle spielen dürften.

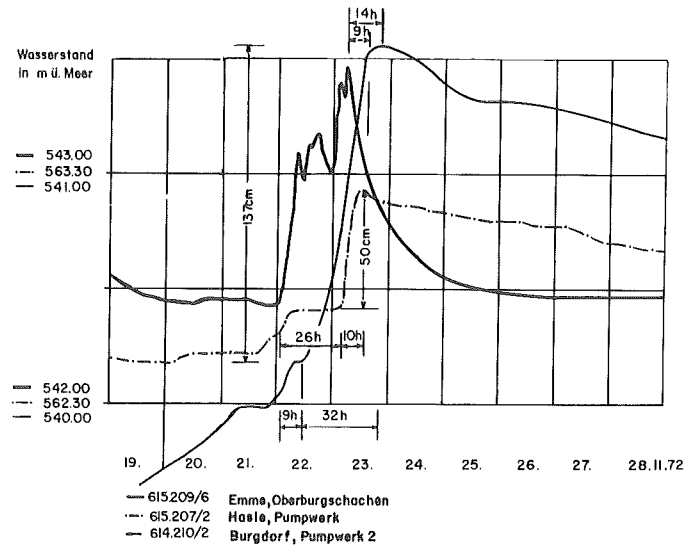
Zwischen Kalchhofen und Burgdorfer Schachen liegt der Grundwasserspiegel durchwegs tiefer als der Emmewasserspiegel. Die Wasserspiegeldifferenz beträgt 1 - 6 m. Emmewasser und Grundwasser bleiben deshalb sehr wahrscheinlich grösstenteils voneinander getrennt (s. Beilage II,5, Emme-Querprofil km 20.750). Das will jedoch nicht heissen, dass auf diesem Abschnitt keine Infiltration stattfindet. Vielmehr ist zu erwarten, dass die günstigen Gefälls- und Durchlässigkeitsverhältnisse eine beachtliche Infiltration zulassen.

Im Folgenden wird die In- und Exfiltration während Hochwasserabflüssen beschrieben. Grundsätzlich ist festzustellen, dass bei Hochwasserabflüssen in der Emme, ausgenommen unmittelbar unterhalb der Wehre bei der Gohlhausbrücke, auf der ganzen Flussstrecke der Emmewasserspiegel über dem Grundwasserspiegel liegt. Damit ist überall eine Infiltration solange möglich, bis Grundwasser- und Emmewasserspiegel auf gleichem Niveau liegen. Mit dem Absinken des Emmespiegels unter den durch die Hochwasserinfiltration angehobenen Grundwasserspiegel beginnt - am ausgeprägtesten unterhalb der Wehre - eine rückläufige Strömung in die Emme, die Exfiltration. 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. Dies bewirkt, dass das Flussbett wieder durchlässiger wird. Die Hochwasserabflüsse sind deshalb für die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet von entscheidender Bedeutung.

Als Beispiel für die Grundwasserneubildung während eines Hochwasserabflusses werden in Figur II,2 die Wasserstände der Emme und die Grundwasserspiegel der beiden Schreibpegel-Stationen für das Emmehochwasser vom 22./23.11.1972 als Ganglinien dargestellt. Der Grundwasserspiegel steigt mit einer Verzögerung von ca. 9 Stunden für die Messstation Burgdorf und ca. 26 Stunden für die Station Hasle auf den Beginn des Emmehochwassers an. Der Kulminationspunkt des Grundwasserspiegelverlaufes erscheint zwischen 14 resp. 9 Stunden nach dem maximalen Wasserstand der Emme. Der Anstieg des Grundwasserspiegels dauert 32 Stunden für 137 cm resp. 10 Stunden für 50 cm. Dieser eindruckliche Grundwasserspiegelanstieg der relativ kurzen Zeitspanne ist mit Sicherheit hauptsächlich auf den hochwasserbedingten Zuwachs der Infiltration aus den Oberflächengewässern - insbesondere der Emme - zurückzuführen.

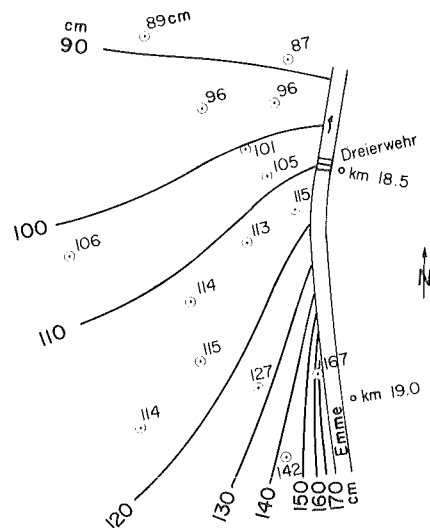
Figur II,2

Ganglinien während des Emmehochwassers vom 22./23. 11. 1972



Um die Grundwasserneubildung aus Oberflächenwasserinfiltration zu verdeutlichen, wurden in Figur II,3 die Grundwasseranstiege, hervorgerufen durch das Emmehochwasser vom 3.2.1970, für das Gebiet des Burgdorfer-Schachens in Form von Linien gleichen Anstieges dargestellt. Die Grundwasserspiegelmessungen erfolgten im Rahmen des Grosspumpversuches der städtischen Wasserversorgung Burgdorf am 31.1.1970 und ca. 100 Stunden nach der Hochwasserspitze der Emme am 7.2.1970. Die grössten Anstiege sind in Emmennähe oberhalb des Wehres km 18.5 zu verzeichnen. Mit zunehmender Distanz von der Emme steigt das Grundwasser weniger an. Das Gefälle des Grundwasserspiegels hat sich während des Hochwassers eindeutig quer zur Emme hin vergrössert. Dies lässt sich nur durch eine Steigerung der Infiltrationsleistung der Emme erklären.

Kurven mit gleichem Grundwasserspiegelanstieg vom 3.2. - 7.2.1970



Als Vergleich zum Grundwasserspiegelanstieg infolge der Emmeinfiltration werden auch die Auswirkungen der direkt versickerten Niederschläge untersucht. Starke Niederschläge waren nach dem relativ trockenen Januar am 2.2.1970 aufgetreten und dauerten bis Ende Februar. In der Niederschlagsmessstation Burgdorf, MZA, wurde vom 2.2. - 7.2.1970 eine Niederschlagshöhe von ca. 7 cm gemessen. Unter der Annahme, dass 50 % dieses Niederschlages während der erwähnten Zeitspanne die Deckschicht und die Ueberwasserspiegelzone des Grundwasserleiters von insgesamt 3 bis 4 m Mächtigkeit durchsickert haben, beträgt der Anstieg des Grundwasserspiegels bei einer Porosität von 19 % lediglich 18.5 cm.

Diese Grundwasserneubildung dürfte mit 50 % des versickerten Niederschlages während 5 Tagen eher an der oberen Grenze liegen. Sehr wahrscheinlich bleibt, abgesehen von der Verdunstungsmenge, ein grosser Teil des versickerten Wassers während längerer Zeit in Deckschicht und Ueberwasserspiegelzone haften und gelangt, wenn überhaupt, nur sehr langsam oder erst nach noch intensiveren Niederschlägen bis auf den Grundwasserspiegel. Die Grundwasserneubildung aus direkt versickertem Niederschlag darf demzufolge für unser Beispiel gegenüber dem Anstieg aus dem Zuwachs durch Emmeinfiltration als relativ unbedeutend betrachtet werden.

In Tabelle II,22 werden für den Bereich des Burgdorfer Schachens die Volumenzunahmen des Grundwassers während vier Hochwasserabflüssen der Emme wiedergegeben. Der praktisch rechteckige Gebietsabschnitt des 100 m breiten Grundwasserleiters ist durch zwei gewählte Profile quer zur Emme - beim Emme-km 19.15 für den oberen und beim Emme-km 18.35 für den unteren Querschnitt - und die beiden seitlichen Berandungen begrenzt. Die Spiegelfläche F beträgt ca. 0.88 km². Zur Berechnung der Volumenzunahme des Grundwassers wird die auf-

füllbare Porosität p des Grundwasserleiters der mit dem Grosspumpversuch Burgdorf, Schachen (vgl. Kap. 4.1.3.6.), ermittelten nutzbaren Porosität von $p = 19\%$ gleichgesetzt. Die Datumangaben beziehen sich auf den Beginn des Wasserspiegelanstieges der Emme in der Abfluss-Messstation Oberburg, Schachen. Die Berechnung der mittleren Anstiegsgeschwindigkeit im Grundwasserleiter v_I erfolgte aufgrund der Aufzeichnungen des Schreibpegels Burgdorf, Pumpwerk 2, und den periodischen Messungen während des Grosspumpversuches. Unter der Annahme, dass der gesamte Anstieg des Grundwasserspiegels auf die hochwasserbedingte Infiltration der Oberflächengewässer zurückzuführen ist, beträgt die spezifische Infiltrationsmenge Dq_{IO} pro Laufmeter des Grundwasserleiterabschnittes

$$Dq_{IO} = \frac{v_I \cdot F \cdot p}{l}$$

($m^3/h \cdot m$) (vgl. I, Formel 4; p. 79)

l = mittlere Länge des Grundwasserleiterabschnittes (= 800 m)

Tabelle II,22

Theoretischer Zuwachs der spezifischen Infiltrationsmenge

Beginn des Hochwassers	Dauer des Anstieges	mittlere Abflussmenge der Emme, Emmenmatt	Grundwasserspiegel vor dem Hochwasser, Burgdorf, Pumpwerk 2	Volumenzunahme des Grundwassers	mittlere Anstiegsgeschwindigkeit v_I	Zuwachs der Infiltrationsmenge Dq_{IO}
Datum	h	$m^3 \cdot 10^{-3}/h$	m ü. M.	$m^3 \cdot 10^5$	$m \cdot 10^{-2}/h$	$m^3/h \cdot m$
2. 2.1970	82	230.3	540.65	2.01	1.46	3.06
21. 2.1970	46	96.8	540.90	1.37	1.78	3.72
6. 6.1971	31	235.8	540.74	0.89	1.71	3.59
16.11.1972	84	162.4	538.80	2.01	1.43	2.99
21.11.1972	32	211.7	539.98	2.76	5.16	10.78

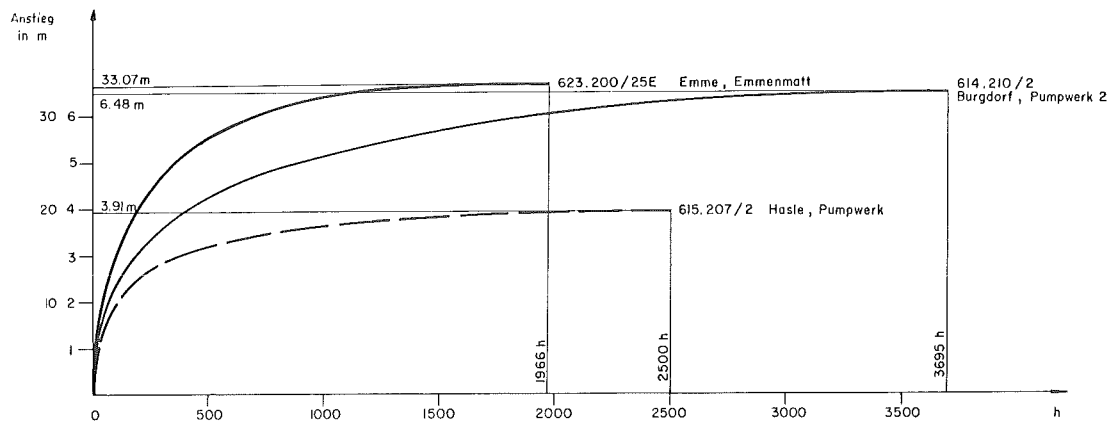
Aus den Grundwasserspiegelmessungen geht hervor, dass nebst der Emme auch der durch den Grundwasserleiterabschnitt fliessende Oberburgbach infiltrierte. Dadurch entstand eine Ueberlagerung von zwei Auffüllvorgängen, welche eventuell noch zusätzlich durch randliche Zuflüsse beeinflusst wurden. Der Zuwachs der Infiltrationsmenge Dq_{IO} muss demzufolge mindestens beiden Gewässern zugeordnet werden. Er lässt sich mit der angewandten Methode nicht separieren und ist lediglich als eine Grössenordnung zu betrachten.

In den Figuren II,4 und II,5 werden die Dauerlinien der Wasserspiegelanstiege und -Rückgänge der Emme und des Grundwassers für das Jahr 1972 miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass die Anstiegs- bzw. Rückzugsphasen in Hasle, Pumpwerk, ca. 500 Stunden länger bzw. kürzer waren als in der Emme. Diese relativ gute Uebereinstimmung zwischen Emme und Grundwasser, die im übrigen schon im Oberen Emmental (Teil I) festgestellt werden konnte, bestätigt die enge Wechsel-

beziehung zwischen Emme und Grundwasser. In Burgdorf, Pumpwerk 2, stieg hingegen der Grundwasserspiegel ca. 1 700 Stunden länger an als der Emmewasserspiegel. Dies ist sehr wahrscheinlich auf die umfangreichen Grundwasserabsenkungen während den Kanalisationsarbeiten in den Sommermonaten des Jahres 1972 zurückzuführen, welche die natürlichen Bewegungen des Grundwassers stark veränderten.

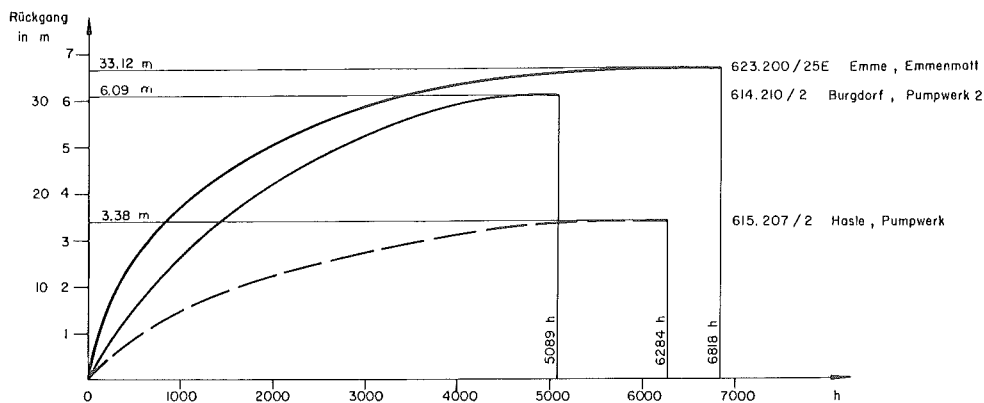
Figur II,4

Dauerlinien der Wasserspiegelanstiege im Jahre 1972



Figur II,5

Dauerlinien der Wasserspiegelrückgänge im Jahre 1972



Zusammenfassend kann für die untersuchte Flussstrecke der Emme von Lützelflüh bis südlich Burgdorf festgestellt werden, dass die Emme entscheidend das Grundwasser beeinflusst. Von Lützelflüh, Farbschachen, bis hinunter nach Hasle, Kalchofen, folgen sich In- und Exfiltrationsstrecken. Auf den Wehroberseiten liegt der Emmewasserspiegel im allgemeinen höher als der Grundwasserspiegel in der Längenprofilaxe. Es entstehen Infiltrationsstrecken von ca. 200 bis 1 000 m.

Unterhalb der Wehre auf einer Länge von 100 m bis 400 m befindet sich der Grundwasserspiegel in Talmitte meist über dem Emmewasserspiegel. Das Quergefälle gegen die Emme weist auf Exfiltrationsstrecken hin. Die Grenzen der Infiltrations- und Exfiltrationsstrecken zwischen den Wehren sind fließend je nach den Spiegel-lagen von Emme und Grundwasser. In der Flussstrecke von Hasle, Kalchofen, bis Burgdorf, Schachen, herrscht - mit Ausnahme von sehr extremen Abflussverhältnissen - sowohl für Hoch- wie auch Niederwasserperioden die Infiltration vor. Es ist anzunehmen, dass das ganze Jahr hindurch Emmeinfiltrat ins Grundwasser gelangt.

Gesamthaft betrachtet, ergeben sich im Emmeabschnitt Lützelflüh - Burgdorf bei tiefen bis mittleren Wasserspiegelverhältnissen Infiltrationsstrecken von ca. 6.6 km und Exfiltrationsstrecken von ca. 1.1 km. Bei Hochwasserabflüssen kann zeitweilig praktisch auf der ganzen Flussstrecke eine beachtliche Infiltration stattfinden und innerhalb einer kurzen Zeitspanne einen Grundwasserspiegelanstieg von über 3 m bewirken. Für die Grundwasserneubildung spielen die Hochwasser in der Emme wegen ihrer reinigenden Wirkung auf das Gewässerbett und der ansehnlichen Lieferung von Infiltrat die entscheidende Rolle.

3.5.4.2. Grundwasserspiegelgefälle

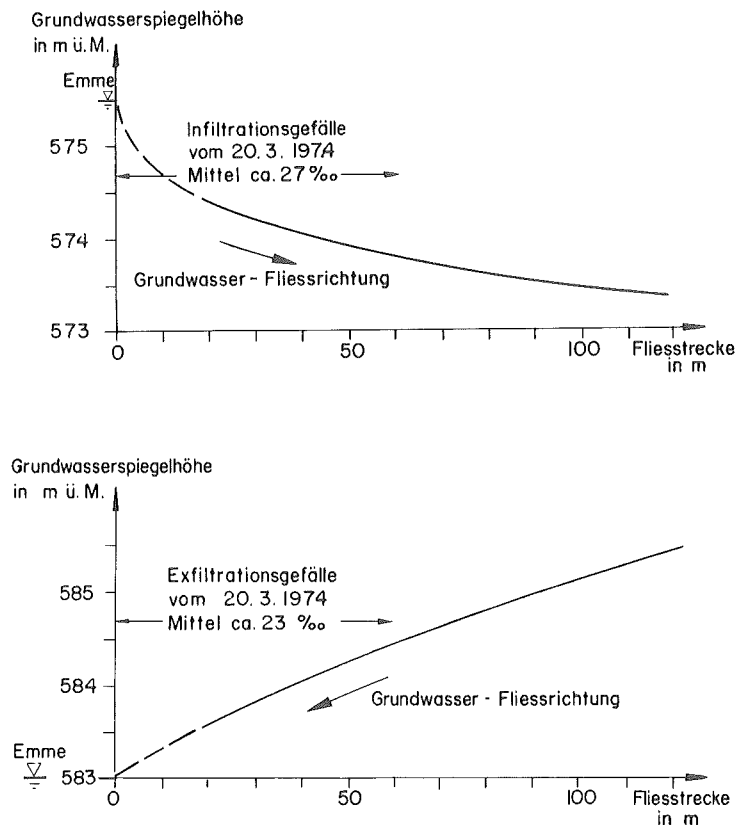
Das Grundwasserspiegelgefälle wird einerseits durch die räumliche Ausdehnung des Grundwasserleiters und andererseits durch die mengenmässig beachtlichen In- und Exfiltrationen aus resp. in die Emme beeinflusst. Daneben wirken sich auch die randlichen Zuflüsse aus den Seitentälern (z.B. Rüegsbachtal) auf den Grundwasserspiegelverlauf aus (vgl. Beilage II,2).

Ausgeprägte Exfiltrationsgefälle weist der Grundwasserspiegel unterhalb der Gohlhausbrücke (ca. 619.270/205.625), südlich Lützelflüh, auf. Die Isohypsen verlaufen in diesem Bereich (ab Emme-km 25.60) praktisch parallel zur Emme und zeigen den Grundwasserabfluss ins Oberflächengewässer. Das Spiegelgefälle zwischen Emmewasserspiegel und dem Peilrohr 619.205/29 beträgt für eine Fließstrecke von ca. 60 m 23 ‰ (siehe Figur II,6) und ist über zweimal grösser als das Durchschnittsgefälle in diesem Grundwasserleiter-Abschnitt.

Ähnliche Verhältnisse, aber mit umgekehrter Grundwasserfliessrichtung, sind beispielsweise bei Emme-km 23.62 anzutreffen. Hier infiltriert bei einem Spiegelgefälle am 20.3.1974 zwischen Emme und Peilrohr 617.206/20 von ca. 27 ‰ (unter Annahme, dass Emmewasserspiegel und Grundwasserspiegel direkt zusammenhängen) Emmewasser in das Grundwasser.

Figur II,6

Infiltrationsgefälle bei Emme-km 23.88 (Emme-Peilrohr 617.207/20)
bzw. Exfiltrationsgefälle bei Emme-km 25.60 (Emme-Peilrohr 619.205/29)
vom 20.3.1974



Wie im letzten Kapitel erwähnt wurde, ist während Hochwasserperioden praktisch auf der ganzen Emme-Strecke eine Infiltration und demzufolge eine Neigung des Grundwasserspiegels quer zum Emmebett zu erwarten. Als Beispiel sei an dieser Stelle nochmals auf die in Figur II,3 dargestellte Gefällsveränderung infolge des Hochwassers vom 2.2.1970 verwiesen. Mit dem Rückgang des Hochwassers kann auf Strecken mit allgemein kleiner Spiegeldifferenz der angehobene Grundwasserspiegel rückläufige Strömungen in die Emme bewirken und während kurzer Dauer ähnliche, jedoch nicht so ausgeprägte Isohypsenbilder wie bei Emme-km 25.60 zeigen. Die Erfassung dieser Vorgänge bedingen jedoch Beobachtungspunkte, bei welchen Grundwasser- bzw. Emme-Spiegel laufend aufgezeichnet werden.

In Tabelle II,23 werden die mittleren Grundwasserspiegelgefälle vom 20.3.1970 in der Längenprofilaxe und zum Vergleich die Gefälle über die Wehrkronen, bzw. der Sohle des Längenprofils der Emme (ASF, 1959/1969) angegeben. Das mittlere Gefälle des Grundwasserspiegels beträgt zwischen Lützelflüh, Farbschachen, und Burgdorf,

Schachen, ca. 6.4 ‰. Bei den Talverengungen ist das Gefälle in der Regel grösser (z.B. östl. Lützelflüh: 8.5 ‰) als bei breitem Talboden (z.B. südl. Burgdorf: ca. 5 ‰).

Tabelle II,23

Mittlere Grundwasserspiegelgefälle in der Längenprofilaxe, Gefälle über die Wehrkronen des Emmebettes und mittleres Längsgefälle der Emmesohle

Ort	Ramsei	Lützelflüh	Rüegsau-Schachen	Oberburg-Schachen	Burgdorfer-schachen	
Emme-km	25.69	24.60-23.55	22.00	20.72	19.95 - 18.52	
Grundwasser-spiegel-gefälle in ‰	8.5	5.8	5.1	6.3	5.7	5.9
Gefälle über die Wehr-kronen in ‰	7.0	4.5	6.6	4.8	7.2	5.2
Mittleres Längs-gefälle der Emme-sohle in ‰	5.0	5.5	6.0	4.2	8.4	5.6

3.5.5. Unterirdische randliche Zuflüsse

Unterirdische randliche Zuflüsse in den Grundwasserleiter des Haupttales konnten aus allen grösseren Seitentälern festgestellt werden. Das Vorhandensein dieser Zuflüsse zeigt sich teilweise im Verlauf der Grundwasserspiegelisohypsen (s. Beilage II,2) in den Mündungsgebieten der Seitentäler wie auch in den hydrochemischen Analysen (vgl. Beilage II,1). Sehr differenziert konnte das Isohypsenbild bei der Ausmündung des Rüegsbachtales mit dem Messstellennetz der Wasserversorgung Rüegsauschachen und Umgebung erfasst werden. Es zeigt, dass das Grundwasser im untersten Teil des Rüegsbachtales ungefähr rechtwinklig zur Strömungsrichtung des Emmentalgrundwassers fliesst. Durch die Vereinigung der beiden Grundwasserströme drehen die Isohypsen in die Strömungsrichtung des Emmentalgrundwassers ab. Das Isohypsenbild wird im Grundwasserleiter des Haupttales ungefähr auf einer Breite von 300 m und einer Länge von etwa 600 m beeinflusst. Ähnliche Isohypsenbilder, jedoch nicht so ausgeprägt, entstehen auch bei den Mündungsgebieten des Luterbaches und Heimiswilerbaches. Für die Mündungsgebiete des Goldbaches, des Biglenbaches und des Biembaches musste mangels geeigneter Grundwasserbeobachtungsstellen (das Rammen von Peilrohren ist wegen der in den Mündungsgebieten grösser werdenden Ueberwasserspiegelzone unmöglich) der Verlauf der Isohypsen geschätzt werden.

Neben den festgestellten Grundwasserzuflüssen aus den erwähnten Seitentälern fliesst auch über die seitlichen Grundwasserleiterbegrenzungen unterirdisch Wasser in den Grundwasserleiter des Haupttales. Dieses Grundwasser wird vorwiegend aus Niederschlägen auf die angrenzenden Gebiete gebildet. Zur Abschätzung dieser seitlichen Zuflüsse wurden die gleichen Annahmen wie im Oberen Emmental getroffen. Aufgrund der rein hydrologischen Abklärungen von WEBER, 1974, kann sowohl der Oberflächenabfluss wie auch die Verdunstung zu je ca. 40 % des Niederschlages (s. Teil I) angenommen werden. Für den unterirdischen Zufluss in den Grundwasserleiter stehen demzufolge ca. 20 % des Niederschlages auf die seitlichen Einzugsgebiete zur Verfügung (s. Kap. 5.2.2.2.).

4. GRUNDWASSERHYDRAULIK

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

4.1. Durchgeführte Untersuchungen

4.1.1. Uebersicht

In den folgenden Kapiteln werden die im Laufe der Untersuchungsperiode durchgeführten Pumpversuche dargestellt, welche insbesondere zur Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte k (k . punktförmige, k_P Profil-, k_G Gebiets k -Werte) und der nutzbaren Porosität p dienen. Der Umfang der Versuche geht aus Tabelle II,24 hervor. Markierversuche wurden keine ausgeführt.

Tabelle II,24

Uebersicht über die hydrologischen Versuche

Untersuchungszweck	Versuchsort	Versuchsmethode (Arbeitsumfang)	Resultate
Siedlungswasser- wirtschaftliche Planung Emmental	2 Rotationskernbohrungen, Lützelflüh, Brandis	KPV (D+A) KPV (D+A)	2 k_P 22 k .
Abklärung der Grundwasserver- hältnisse und Schutzzonenbestim- mungen	für öffentliche Grundwasserfassung bei - - Schafhausen, Walkringen, WV - Rüegsauschachen, WV 1 Rotationskernbohrung - Hasle, WV - Oberburg, Tschamerii, WV - Burgdorf, Butterzentrale - Burgdorf, Oberburgschachen 1 Spülbohrung - Burgdorf, Schachen 1 Greiferbohrung (Versuchs- brunnen) 2 Rotationskernbohrungen 9 Spülbohrungen	KPV (R) GPV (R) KPV (R) GPV (R) GPV (R) GPV (R) GPV (R+A) KPV (R) GPV (R) KPV (R) KPV (R)	k_P k_G, p 1 k_P , 6 k . k_G k_G, p k_G, p k_G, p 1 k_P , 21 k . k_G, p 2 k_P , 6 k . 9 k_P , 85 k .

KPV = Kleinpumpversuch GPV = Grosspumpversuch

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

Die verwendeten Kleinpumpversuchs-Resultate, erarbeitet im Auftrage der aufgeführten öffentlichen und privaten Wasserversorgungen, wurden den Konzessionsakten (Dok. WEA) entnommen.

4.1.2. Kleinpumpversuche

4.1.2.1. Punkt-k-Werte

Um die höhenmässigen Wechsel der Durchlässigkeit zu erfassen, wurden während des Abtiefens der Bohrungen auf verschiedenen Tiefen in Abständen von 2 bis 5 m 141 Kleinpumpversuche durchgeführt. Die Berechnung der Durchlässigkeitsbeiwerte, der sog. Punkt-k-Werte, erfolgte nach der im Teil I (Kap. 4.2.2.) beschriebenen Theorie von KOERNER, 1957, für ellipsoidförmige Strömungsbereiche. Auf eine Zusammenstellung der einzelnen Feldbeobachtungen und Versuchsergebnisse wird hier verzichtet. Die Punkt-k-Werte sind jedoch aus den Bohrprofilen in Beilage II,3 ersichtlich.

4.1.2.2. Profil-k-Werte

Jeweils nach Abschluss einer Bohrkampagne sind in den eingebauten Filterrohren weitere Kleinpumpversuche durchgeführt worden, um die mittleren Durchlässigkeitsbeiwerte über die erbohrten Vertikalprofile des Grundwasserleiters, die sog. Profil-k-Werte zu erfassen. Die wichtigsten Feldbeobachtungen sowie die zugehörigen Versuchsergebnisse sind in Tabelle II,25 zusammengestellt. Die Auswertung berücksichtigte sowohl hydraulisch vollkommene als auch hydraulisch unvollkommene Verhältnisse nach der Theorie von DUPUIT/THIEM (1863/70), unter Beachtung der Hangquelle nach EHRENBERGER (1928).

Tabelle II,25

Kleinpumpversuche in den Rotationskern- und Spülbohrungen

Ort	WEA- Bezeichnung	Datum des Versuchs- beginns	Berück- sichtigte Grund- wasser- mächtig- keit z.Z. des Ver- suchs- beginns HL in m	Entnahme- menge QV in l/min	Wasser- spiegel- absen- kung in der Bohrung DH in m	Profil- k-Wert kP in 10^{-3} m/s	Gemitt- elter Profil- k-Wert kP in 10^{-3} m/s
Lützelflüh, Brandis	617.206/16	7. 8.1974	25.7	134 77	0.026 0.016	2.3 1.9	2.1
Lützelflüh, Brandis	617.206/17	7. 8.1974	29.7	146 76	0.012 0.007	4.2 3.1	3.7
Rüegsau- schachen, unterhalb Bifang	617.207/28	8. 8.1973	23.6	159 88	0.150 0.090	0.52 0.41	0.5
Burgdorf, Oberburg- schachen	615.208/24	28. 9.1967	43.4	480	0.150	1.1	
Burgdorf, Bleichi	614.210/84	28. 9.1967	26.5	282	0.053	2.5	
Burgdorf, östl. Bleichi	614.210/87	28. 9.1967	35.6	447 88 80	0.044 0.010 0.006	3.1 1.8 2.3	2.4
Burgdorf, Schachen	614.210/89	28. 9.1967	38.0	200	0.035	1.5	
Burgdorf, Schachen	614.210/100	28. 9.1967	24.2	480 300	0.192 0.118	1.5 1.4	1.5
Burgdorf, Schachen	614.210/124	12.11.1968	19.0	303	0.190	1.2	
Burgdorf, Schachen	614.210/129	12.11.1968	9.0	52	0.035	1.6	
Burgdorf, Ziegelet	614.210/130	12.11.1968	4.0	54	0.175	1.0	
Burgdorf, Schachen	614.210/133	12.11.1968	21.3	178 134	0.050 0.040	2.0 1.7	1.9
Burgdorf, Ziegelet	614.210/210	3. 2.1972	6.2	196 70	0.100 0.035	4.7 3.8	4.3
Burgdorf, Ziegelet	615.210/14	3. 2.1972	9.3	190 135	0.470 0.230	0.75 0.96	0.85
Burgdorf, Schachen	614.210/131	12.11.1968	8.2	148 137	0.055 0.050	4.2 3.9	4.0

4.1.2.3. Kleinpumpversuch in bestehenden Grundwasserfassungen

Im Zusammenhang mit der Grundwassererschliessung für die Wasserversorgung Walkringen wurde im Vertikalfilterbrunnen 616.204/2 während der Zeit vom 17. bis 27.4. 1972 ein Kleinpumpversuch mit einer Entnahmemenge von 1060 l/min durchgeführt. Nach den hydrologischen Auswertungen von RUTSCH, 1972, brachte er einen Profil-k-Wert von $1.2 \cdot 10^{-3}$ m/s.

In den übrigen Grundwasserfassungen fanden durchwegs Grosspumpversuche statt. Zum Vergleich wurden die Versuchsergebnisse ebenfalls zur Berechnung von Profil-k-Werten verwendet. Die Ergebnisse gehen aus den Tabellen II,25 bis II,32 hervor.

4.1.3. Grosspumpversuche

Dank der durch das WEA subventionierten umfangreichen hydrologischen Untersuchungen für die Schutzzonenabklärungen der öffentlichen Wasserversorgungen Oberburg, Burgdorf, Hasle und Rüegsauchachen (WERNER, 1969/71/72/73) sowie der Butterzentrale Burgdorf (WERNER, 1975) konnte im Rahmen unserer Untersuchungen darauf verzichtet werden, zusätzliche Grosspumpversuche durchzuführen. Die Standorte der entsprechenden Fassungsanlagen mit Grosspumpversuchen gehen aus Beilage II,6 hervor.

In den folgenden sechs Kapiteln sind die wichtigsten Versuchsdaten und Resultate zusammengestellt. Eingehende Kommentare zu den einzelnen Grosspumpversuchen sind in den erwähnten Gutachten (Dok. WEA) nachzulesen.

4.1.3.1. GPV Rüegsauchachen

Zweck: Schutzzonenabklärung
 Ort: Grundwasserfassung der Wasserversorgung
 Rüegsauchachen und Umgebung 617.207/2
 Objekt: Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen
 Bohrradius $r_B = 0.5 \text{ m}$

Tabelle II,26

Grosspumpversuch Rüegsauchachen, Pumpwerk WV

Versuchsdauer	1. Phase 26.6. - 29.6.73	2. Phase 9.7. - 16.7.73
Eintauchtiefe des unvollkommenen Brunnens LV (m)	17.98	17.82
berücksichtigte Mächtigkeit des Grundwasserleiters HL (m)	17.98	17.82
Mächtigkeit des Grundwasserleiters H' (m)	~ 30	~ 30
Pumpmenge QV (l/s)	15.7	16.0
Absenkverhältnisse		
- Wasserspiegelabsenkung im Brunnen DH (m)	1.36	1.40
- Räumliches Steigungsmass α (m)	0.125	0.125
- Zeitliches Steigungsmass β (m)	0.05	
- Zeitliches Steigungsmass r (m)	0.075	
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität		
Gebiets-k-Wert kG aus α (m/s)	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-3}$
Gebiets-k-Wert kG aus β (m/s)	$3.7 \cdot 10^{-3}$	
Gebiets-k-Wert kG aus r (m/s)	$2.4 \cdot 10^{-3}$	
Porosität p aus Q, DH, α	ca. 0.18	

4.1.3.2. GPV Hasle

Zweck: Schutzzonenabklärung

Ort: Grundwasserfassung der Brunnengenossenschaft Hasle 615.207/2

Objekt: Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen
 $r_B = 0.50 \text{ m}$

Tabelle II,27

Grosspumpversuch Hasle, Pumpwerk WV

Versuchsdauer	1. Phase 15.8.-18.8.72	2. Phase 30.8.-1.9.72	3. Phase 4.9.72
LV (m)	10.05	9.94	9.89
HL (m)	8.26	8.18	8.09
H (m)	~ 40	~ 40	~ 40
QV (l/s)	11.8	11.9	7.3
Absenkverhältnisse			
- DH (m)	0.86	0.84	0.46
- d (m)	0.12	0.11	0.065
- β (m)	0.05		
Durchlässigkeit			
- kG aus d (m/s)	$4.4 \cdot 10^{-3}$	$4.9 \cdot 10^{-3}$	$5.1 \cdot 10^{-3}$
- kG aus β (m/s)	$5.2 \cdot 10^{-3}$		

4.1.3.3. GPV Burgdorf, Oberburgschachen

Zweck: Abklärung der Grundwasserverhältnisse für die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf

Ort: Versuchsbrunnen im Oberburgschachen 615.208/44

Objekt: Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen
 $r_B = 0.80/0.65 \text{ m}$

Tabelle II,28

Grosspumpversuch Burgdorf, Oberburgschachen

Versuchsdauer	1. Phase 12.10.-18.10.73	2. Phase 27.10.-20.11.73
LV (m)	36.6	36.6
HL (m)	36.6	36.6
H (m)	~42.7	~42.7
QV (l/s)	125	261.7
Absenkverhältnisse		
- DH (m)	1.08	3.25
- α (m)	0.17	0.38
- β_P (β von Piezometern) (m)	0.18	0.38
- β_B (β von Bohrungen) (m)		0.32
- δ_P (δ von Piezometern) (m)		0.39
- δ_B (δ von Bohrungen) (m)		0.32
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität		
- kG aus α (m/s)	$7.4 \cdot 10^{-3}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$
- kG aus β_P (m/s)	$7.0 \cdot 10^{-3}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$
- kG aus β_B (m/s)		$8.2 \cdot 10^{-3}$
- kG aus δ_P (m/s)		$6.7 \cdot 10^{-3}$
- kG aus δ_B (m/s)		$8.2 \cdot 10^{-3}$
- p^1 (m/s)		0.12-0.20

1) Berechnung mit Computerprogramm GEOHYD
(WERNER/BASLER UND HOFMANN, 1975)

4.1.3.4. GPV Oberburg, Tschamerii

Zweck: Schutzzonenabklärung

Ort: Grundwasserfassung der Wasserversorgung Oberburg 615.208/1

Objekt: Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen
 $r_B = 0.50 \text{ m}$

Tabelle II,29

Grosspumpversuch Oberburg, Tschamerii

Versuchsdauer	1. Phase 2.12.-10.12.69	2. Phase 15.-18.12.69
LV (m)	16.70	16.50
HL (m)	16.70	16.50
H (m)	~ 30	~ 30
QV (l/s)	60.8	33.7
Absenkverhältnisse		
- DH (m)	1.25	0.55
- α (m)	0.40	0.23
- β (m)	0.20	0.10
Durchlässigkeit		
- kG aus α (m/s)	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
- kG aus β (m/s)	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3.5 \cdot 10^{-3}$

4.1.3.5. GPV Burgdorf, Butterzentrale

Zweck: Schutzzonenabklärung

Ort: Grundwasserfassung der Butterzentrale Burgdorf, südlich Burgdorfer Schachen 614.210/43

Objekt: Unvollkommener Vertikalfilterbrunnen
rB ca. 0.60 m

Tabelle II,30

Grosspumpversuch Burgdorf, Butterzentrale

Versuchsdauer	12.4. - 16.4.75
LV (m)	11.65
HL (m)	14.00
H (m)	~ 25
QV (1/s)	15.2
Absenkverhältnisse	
DH (m)	0.10
d (m)	0.04
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität	
kG aus d (m/s)	$9.9 \cdot 10^{-3}$
p aus Q, DH, d	0.18

4.1.3.6. GPV Burgdorf, Schachen

Zweck: Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich Burgdorf (Wasserversorgung der Stadt Burgdorf)

Ort: Versuchsbrunnen im Burgdorfer Schachen (VB3) 614.210/134

Objekt: Vollkommener Vertikalfilterbrunnen
 $r_B = 0.575 \text{ m}$

Tabelle II,31

Grosspumpversuch Burgdorf, Schachen

Versuchsdauer	1. Phase 13.11. - 3.12.69	2. Phase 17.2. - 17.3.70
LV (m)	20.57	21.91
HL (m)	20.50	22.00
H (m)	20.82	22.16
QV ¹⁾ (l/s)	116.7 - 183.3	183.3 - 251.7
Absenkverhältnisse		
- DH (m)	0.8 - 1.8	1.5 - 8.2
- α (m)	0.25 - 0.34	0.34 - 0.48
- β (m)	0.17 - 0.325	0.26 - 0.335
- r (m)	0.22	0.23
Durchlässigkeit und nutzbare Porosität		
- kG aus α (m/s)	8.4 - 9.6	8.7 - 9.0
- kG aus β (m/s)	7.0 - 9.5	8.1
- kG aus r (m/s)	7.4	9.1
- p	0.18 - 0.21	

¹⁾ exkl. der Pumpmengen der Brunnen 614.210/1 + 2 ($\Sigma QV \text{ max. } \sim 355 \text{ l/s}$)

4.2. Diskussion der Resultate

4.2.1. Resultattabellen

Tabelle II,32 gibt eine Uebersicht über die Durchlässigkeitsbeiwerte des Grundwasserleiters aus den Klein- und Grosspumpversuchen. Daneben zeigt sie die aufgrund der Grosspumpversuche berechneten Porositäten p . Die einzelnen Resultate werden in den folgenden Kapiteln kurz beurteilt.

Tabelle II,32

Resultate aus Klein- und Grosspumpversuchen

Ort	WEA- Bezeich- nung	Punkt-k-Wert		Punkt- Profil- k-Wert	Gemit- telter Profil- k-Wert	Gebiets- k-Wert (gerundet)	Nutzbare Porosität
		k.min 10 ⁻³ m/s	k.max 10 ⁻³ m/s	k.P 10 ⁻³ m/s	kP 10 ⁻³ m/s	kG 10 ⁻³ m/s	p %
Lützelflüh, Brandis	617.206/16	0.19 ¹⁾	5.2 ¹⁾	2.4 ¹⁾	2.1		
Lützelflüh, Brandis	617.206/17	0.38 ¹⁾	5.0 ¹⁾	1.6 ¹⁾	3.7		
Rüegsau- schachen, Bifang	617.207/28	0.12 ¹⁾	1.7 ¹⁾	0.7 ¹⁾	0.5		
Rüegsau- schachen, Pumpwerk	617.207/2				0.6	2.5-3.5	~18
Hasle, Pumpwerk	615.207/2				1.5	4.5-5.0	
Oberburg, Schachen	615.208/44				2.6	6.5-8.0	12-20
Oberburg, Schachen	615.208/24	1.1 ²⁾	18.0 ²⁾	7.5 ²⁾	1.1		
Oberburg, Tschamerii	615.208/1				3.0	3.0-3.5	
Burgdorf, Butterzen- trale	614.210/43				6.4	10.0	~18
Burgdorf, Bleichi	614.210/84	1.3 ²⁾	15.0 ²⁾	6.8 ²⁾	2.5		
Burgdorf, Bst, Bleichi	614.210/87	1.1 ²⁾	22.0 ²⁾	5.9 ²⁾	2.4		
Burgdorf, Schachen	614.210/89	1.6 ²⁾	19.0 ²⁾	7.8 ²⁾	1.5		
Burgdorf, Schachen	614.210/100	1.0 ²⁾	12.0 ²⁾	5.0 ²⁾	1.5		
Burgdorf, Schachen	614.210/124	4.2 ²⁾	13.0 ²⁾	7.9 ²⁾	1.2		
Burgdorf, Schachen	614.210/133	1.8 ²⁾	24.0 ²⁾	8.9 ²⁾	1.9		
Burgdorf, Schachen	614.210/129	5.3 ²⁾	14.0 ²⁾	8.6 ²⁾	1.6		
Burgdorf, Ziegelei	614.210/130			2.6 ²⁾	1.0		
Burgdorf, Schachen	614.210/131	8.3 ²⁾	18.0 ²⁾	13.1 ²⁾	4.0		
Burgdorf Ziegelei	614.210/210	0.71 ¹⁾	15.0 ¹⁾	5.0 ¹⁾	4.3		
Burgdorf, Oberburgschachen	614.210/134				5.5	7.0-9.5	18-21
Burgdorf, Ziegelei	615.210/14	0.15 ¹⁾	1.5 ¹⁾	0.6 ¹⁾	0.85		
Walkringen Versuchsbr.	616.204/2				1.2		

1) Resultate aus Rotationskernbohrungen

2) Resultate aus Spülbohrungen

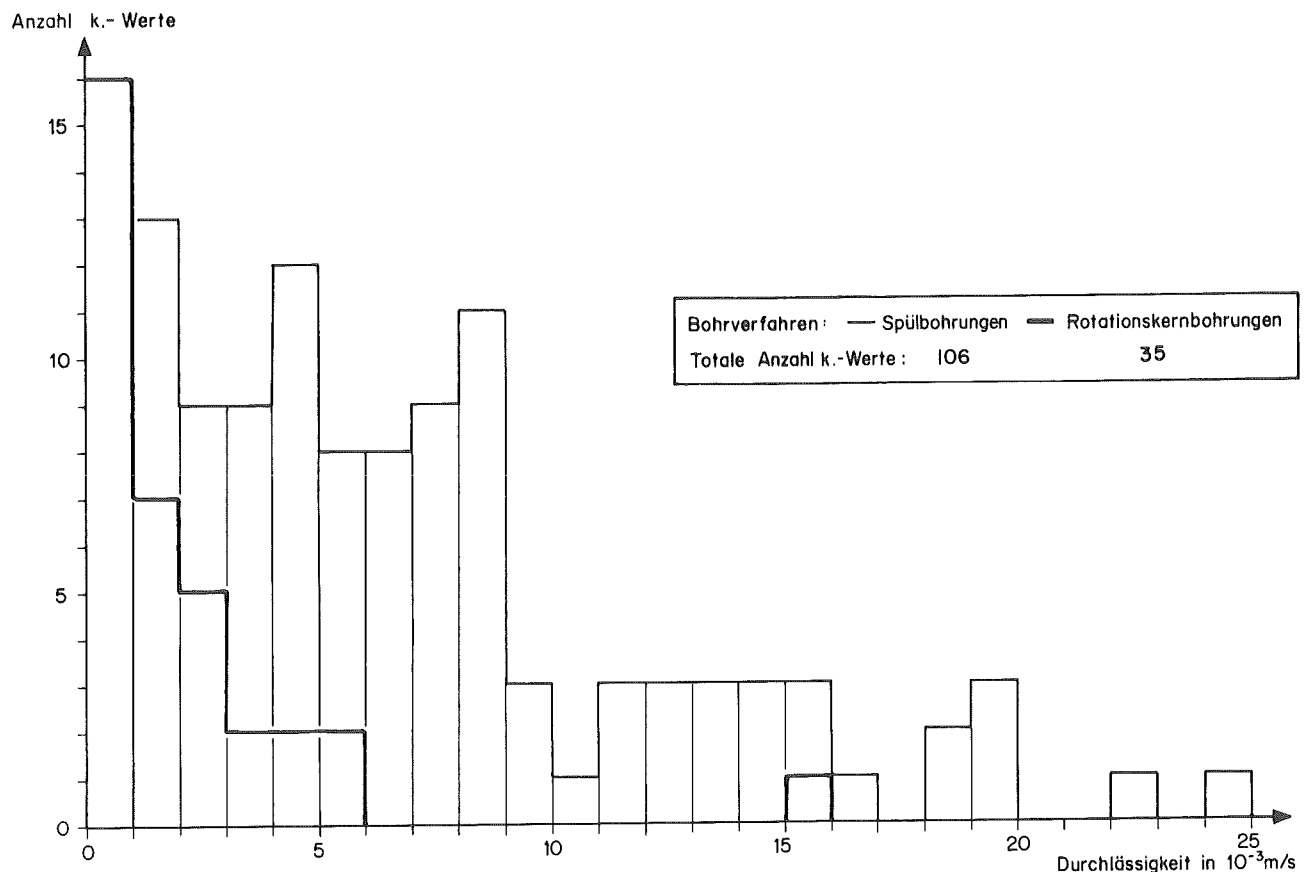
4.2.2. Punkt-k-Werte

Bei der Betrachtung der Resultate punktförmiger Durchlässigkeitsbestimmungen in Beilage II,3 fällt auf, dass die k. Werte in den Rotationskernbohrungen meistens kleiner als diejenigen in den Spülbohrungen ausgefallen sind. Dies lässt sich nicht mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters erklären. Es zeigen sich hier die Auswirkungen der beiden Bohrsysteme auf das Korngefüge des Grundwasserleiters an der Bohrwandung und in unmittelbarer Nähe der Bohrung. Diese unterschiedlichen Randbedingungen können nicht mit der Berechnungsformel berücksichtigt werden. Bei der Rotationskernbohrung ist es durch das Rotieren des Kernrohres möglich, dass die Bohrwandung verschmiert und abgedichtet wird. Die im Untersuchungsgebiet angewendete Wasserspülung der Spülbohrungen bewirkt das Gegenteil. Die feinkörnigen Bestandteile des Grundwasserleiters werden ausgewaschen und weggepumpt. Das Korngefüge wird an der Bohrwandung eher poröser und durchlässiger. Zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Versuchsergebnisse für die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters wurden die Punkt-k-Werte getrennt nach Bohrverfahren und Grösse in Figur II,7 mit zwei Häufigkeitspolygonen dargestellt.

Von 35 Punkt-k-Wert-Versuchen in den Rotationskernbohrungen ergeben 16 Versuche Punkt-k-Werte unter $1.0 \cdot 10^{-3}$ m/s, wovon die Hälfte sogar unter $0.5 \cdot 10^{-3}$ m/s liegen. Zwischen 1.0 und $2.0 \cdot 10^{-3}$ m/s sind sieben Versuchsergebnisse und zwischen 2.0 und $3.0 \cdot 10^{-3}$ m/s noch fünf anzutreffen. Die restlichen sieben Ergebnisse zeigen Punkt-k-Werte von über $3.0 \cdot 10^{-3}$ m/s. Das einfache arithmetische Mittel der 35 Punkt-k-Werte beträgt $2.0 \cdot 10^{-3}$ m/s. Im Vergleich zum Oberen Emmental sind die Durchlässigkeitsbeiwerte etwas kleiner, was auf die Lage von drei der fünf Rotationskernbohrungen in den weniger durchlässigen Randbereichen des Grundwasserleiters zurückzuführen ist.

Figur II,7

Häufigkeit der Punkt-k-Werte aus Kleinpumpversuchen in den Rotationskernbohrungen und Spülbohrungen



Bei den Spülbohrungen sind keine Punkt-k-Werte unter $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ermittelt worden. Der grösste Anteil, nämlich 79 der insgesamt 106 Punkt-k-Werte brachten Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereiche von 1 bis $9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Von den restlichen 27 liegen 25 Punkt-k-Werte zwischen 9 und $20 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Zwei Resultate ergeben sogar 22 bzw. $24 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Das einfache arithmetische Mittel beträgt $7.3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Die Punkt-k-Werte aus den Spülbohrungen sind demzufolge im Durchschnitt etwa 3.5 mal grösser als aus den Rotationskernbohrungen.

Wie im Teil I näher beschrieben wurde (Seite 89/97), muss der ellipsoidförmige Strömungsbereich für die Berechnung der Punkt-k-Werte in unserem inhomogenen und anisotropen Grundwasserleiter als zu gross betrachtet werden, so dass die Resultate im allgemeinen eher zu klein sind. Dies gilt insbesondere für die Punkt-k-Werte aus den Versuchen in Rotationskernbohrungen, bei denen der Untergrund ausserhalb der Bohrwandung wegen der beschriebenen Abdichtung kaum beeinflusst wird, was die Punkt-k-Werte nach unten zusätzlich verfälscht.

Der für die k-Wertberechnung angenommene ellipsoidförmige Strömungsbereich dürfte in den Spülbohrungen bessere eintreten, werden doch Anisotropie- und Inhomogenitätseinflüsse längs der Bohrung durch den Spülvorgang verringert. Hingegen können durch den Spülvorgang Zonen mit grossem Feinkornanteil wesentlich durchlässiger werden. Die gewonnenen Werte sind eher zu hoch.

Eine generelle Beziehung zwischen der Grösse der Punkt-k-Werte und der Tiefe des Versuchsortes zeichnet sich - wie bereits im Oberen Emmental festgestellt wurde - auch hier nicht ab. Grosse sowie kleine Durchlässigkeiten können praktisch in sämtlichen Tiefenlagen auftreten.

4.2.3. Punkt-Profil-k-Werte

Um die mittlere Durchlässigkeit der vertikalen Streckenprofile bei den verschiedenen Bohrungen erfassen zu können, wurde mit Gleichung I,8 aufgrund des geologischen Bohrprofiles und der entsprechenden Punkt-k-Werte das gewogene arithmetische Mittel der sog. Punkt-Profil-k-Wert k.P berechnet:

$$k.P = \frac{1}{\sum_{n=1}^n m} \sum_{n=1}^n m \cdot k. \quad \text{m/s} \quad (\text{s. I,8, S. 90})$$

n = Anzahl Schichtglieder

m = zugeordnete Schichtmächtigkeit

Die Beurteilung der Resultate (Tab. II,32) hat natürlich wiederum unter dem Gesichtspunkt der Bohrverfahren zu erfolgen.

Die Punkt-Profil-k-Werte der 5 Rotationskernbohrungen repräsentieren minimale Durchlässigkeitsbeiwerte. Sie betragen im Durchschnitt ca. $2 \cdot 10^{-3}$ m/s. Werte unter 10^{-3} m/s weist die Bohrung nahe der Grundwasserleiterbegrenzung bei Burgdorf, Ziegelet (615.210/14) sowie die Bohrung im Mündungsgebiet des Rüegsbachtales (617.207/28) auf.

Etwa um das drei- bis vierfache grössere Punkt-Profil-k-Werte gehen aus den Kleinpumpversuchen in den 10 Spülbohrungen hervor. Die Werte liegen zwischen 2.6 bis $13.1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Der Durchschnitt beträgt $7.4 \cdot 10^{-3}$ m/s.

4.2.4. Profil-k-Werte

Die in Tabelle II,32 aufgeführten teilweise aus 2 bis 3 Versuchen gemittelten Profil-k-Werte kP variieren zwischen 0.5 und $6.4 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die durchschnittliche Durchlässigkeit aus allen kP-Versuchen beträgt für die Rotationskern- und Spülbohrungen $2 \cdot 10^{-3}$ m/s, für die bestehenden Grundwasserfassungen $3 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Eine abschliessende Erklärung für diese festgestellten Unterschiede kann heute noch nicht gegeben werden. Dazu wären umfangreiche Untersuchungen der Versuchs- und Auswertmethoden notwendig, die den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.

Wie bereits im Teil I, Oberes Emmental (s. Seite 111) angedeutet wurde, sind die kleinen Profil-k-Werte zumindest teilweise auf Strömungsverluste in den Filterrohren zurückzuführen. In diese Richtung weisen jedenfalls verschiedene ab 1976 durchgeführte Kleinpumpversuche, bei denen die Tiefenlage des Pumpenseihers in der Bohrung variiert worden ist. Für die Berücksichtigung der festgestellten Strömungsverluste fehlen heute jedoch noch die wissenschaftlichen Grundlagen.

Tendenzmässig zeigte sich, dass ohne die Berücksichtigung der Strömungsverluste, die kP-Werte in der Regel eher zu klein werden. Die Profil-k-Werte sind demnach als Minimalwerte der effektiven Durchlässigkeit zu betrachten.

4.2.5. Gebiets-k-Werte

Innerhalb des untersuchten Grundwasserleiters liegen Gebiets-k-Werte aus sechs Grosspumpversuchen vor, wovon ein Versuch die gesamte Grundwassermächtigkeit mit einem "vollkommenen" Vertikalfilterbrunnen, ein weiterer mit einem fast vollkommenen Brunnen und vier nur den oberen Teil des Grundwasserleiters mit "unvollkommenen" Vertikalfilterbrunnen erfasst haben.

Aus dem Grosspumpversuch mit dem vollkommenen Vertikalfilterbrunnen südlich von Burgdorf, Schachen, 350 m von der rechten Grundwasserleiterbegrenzung entfernt, wurde der kG-Wert zu $7.5 \text{ bis } 9.5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ bei einem Mittelwert von ca. $8.5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ berechnet (vgl. Kap. 4.1.3.6.).

Der Grosspumpversuch mit dem beinahe vollkommenen Vertikalfilterbrunnen konnte im Oberburgschachen, 200 m von der rechten Grundwasserleiterbegrenzung (s. Beilage II,5) entfernt, durchgeführt werden. Die graphischen und analytischen Auswertungen ergeben unter Berücksichtigung der hydrogeologischen Randbedingungen einen mittleren kG-Wert von $6.5 \text{ bis } 8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ (vgl. Kap. 4.1.3.3.).

Aufgrund der beiden Absenktrichter, kann angenommen werden, dass die Durchlässigkeitsbeiwerte beider Grosspumpversuche als Mittelwerte über ca. 2/3 der Grundwasserleiter-Breite betrachtet werden können. Mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind die beiden kG-Werte in Bezug auf die für die Berechnung eingeführte Grundwassermächtigkeit. Dies gilt insbesondere für die Auswertung des Grosspumpversuches im Burgdorfer Schachen. Der Filterbrunnen liegt hier auf dem gegen die Talmitte hin abfallenden Grundwasserstauer. Die Zuströmverhältnisse können dadurch rechnerisch nur unter Annahme der sog. massgebenden Mächtigkeit HL berücksichtigt werden.

Die vier weiteren Filterbrunnen beanspruchen die Unterwasserspiegelzone nur bis in eine Tiefe von ca. 18 m im Rüegsauschachen, ca. 8 m in Hasle, ca. 17 m in Oberburg, Tschamerii, und ca. 14 m in Burgdorf, Butterzentrale. Der Grundwasserstauer liegt bei allen vier Filterbrunnen aufgrund der geologischen Interpretation der Molasseoberfläche tiefer. Die Auswertungen der Grosspumpversuche ergeben deshalb Durchlässigkeitsbeiwerte, welche sich nur auf den oberen Teil der Unterwasserspiegelzone beziehen. Für den Grosspumpversuch Rüegsauschachen be-

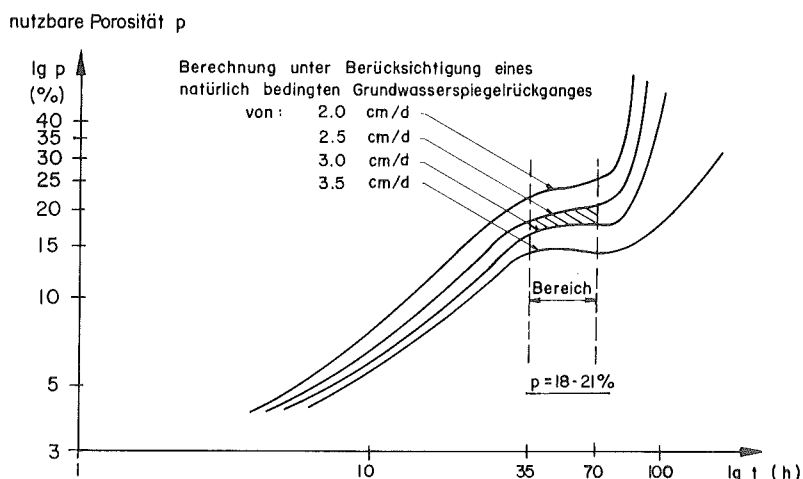
trägt der mittlere k_G -Wert $3 \cdot 10^{-3}$ m/s, für den Grosspumpversuch Hasle $5 \cdot 10^{-3}$ m/s, für den Grosspumpversuch Tschamerii $3.5 \cdot 10^{-3}$ m/s und für den Grosspumpversuch Butterzentrale $10 \cdot 10^{-3}$ m/s (gerundete Werte).

4.2.6 Mittlere nutzbare Porosität

Umfangreiche Porositätsauswertungen stehen vom Grosspumpversuch Burgdorf, Schachen (WERNER, 1970/ MUCHENBERGER, 1973) zur Verfügung. Die Auswertungen beruhen auf der Annahme, dass die geförderte Wassermenge während einer Zeitperiode dem entwässerten Porenraum innerhalb des Absenktrichters entspricht. Da der Absenkkörper bereits nach 4 Stunden die Grundwasserleiterbegrenzung erreicht hat, wurde er für die Volumenberechnung in sektorielle Elemente aufgeteilt und für verschiedene Zeitschnitte (Zeit ab Pumpbeginn = t) berechnet. Die daraus hervorgehenden nutzbaren Porositäten sind in Figur II,8 als Kurven dargestellt worden. Wie die Kurven zeigen, sind die Porositäten p - bedingt einerseits durch die begrenzte Gültigkeit der theoretischen Auswertungsgrundlagen und andererseits durch die pumpversuchsbeeinflussten Veränderungen der natürlichen Strömungsverhältnisse des Grundwassers - in Funktion zur Pumpdauer t veränderlich. In den ersten Stunden des Pumpversuches entsteht vorerst nur eine teilweise Entleerung des Absenktrichters und damit auch ein kleiner Porositätswert. Die nutzbare Porosität kommt beim vorliegenden Pumpversuch erst nach einer Pumpdauer von 35 bis 70 Stunden zur Geltung. Mit weiter zunehmender Pumpdauer verfälschen dann die Zuflüsse in den Absenktrichter und Ungenauigkeiten in den Modellannahmen die Resultate.

Figur II,8

Nutzbare Porosität beim Grosspumpversuch Burgdorf, Schachen



Aufgrund der Spiegelbewegungen vor dem Grosspumpversuch und der Aufzeichnungen in unbeeinflussten Messstationen kann für die vorliegende Auswertung der nutzbaren Porosität während der Zeitspanne zwischen 35 und 70 Stunden nach Pumpbeginn ein natürlich bedingter Rückgang des Grundwasserspiegels von 2.5 bis 3 cm/Tag in Rechnung gestellt werden. Die nutzbare Porosität der entwässerten Bodenschichten liegt demzufolge zwischen 18 und 21 %.

Die Porositätsauswertungen des Grosspumpversuches Oberburgschachen erfolgten mit dem Computerprogramm GEOHYD (WERNER/BASLER & HOFFMANN, 1975). Die Computerberechnungen basieren auf dem Vergleich der gemessenen und der theoretisch berechneten Grundwasserspiegelbewegungen nach der Methode der kleinsten Summe der Fehlerquadrate (s. Teil I, Seite 103). Der berechnete Porositätsbereich liegt zwischen 12 und 20 %. Dieser grosse Streubereich ist damit zu erklären, dass im Laufe des Versuches nebst den erwünschten, pumpbedingten Grundwasserspiegelabsenkungen noch starke, durch ein Emmehochwasser verursachte Grundwasserspiegelbewegungen auftraten, die mit den Messeinrichtungen nur generell erfasst und in der Auswertung nicht vollständig berücksichtigt werden konnten.

Aus den Auswertungen der Grosspumpversuche Rüegsauschachen und Burgdorf, Butterzentrale, gehen Porositätswerte von 18 % hervor.

5. GRUNDWASSERBILANZIERUNG

A. Werner, dipl.Ing. ETH; Mitarbeiter F. Muchenberger, dipl.Ing. HTL

5.1. Allgemeines

Mit einer Grundwasserbilanzierung werden die Grundlagen für die Bestimmung des Grundwasserdargebotes erarbeitet. Sie will insbesondere die Zu- und Abflüsse in einem Grundwasserleiter (Bilanzierungskörper) quantitativ erfassen. Die Zahlenwerte, welche die ein- und ausströmenden Wassermengen beschreiben, bezeichnen wir als Bilanzierungskennziffern BK.

Die in den folgenden Kapiteln beschriebene stationäre und instationäre Bilanzierung beruht auf Bilanzierungsgleichungen (s. Teil I). Für die stationäre Grundwasserbilanzierung 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 die instationäre Bilanzierung der Zu- und Abflussmengen massgebend.

Die Bilanzierung wird im Folgenden für vier Stromabschnitte des Grundwasserleiters durchgeführt. Dies erfordert die Einführung von fünf Bilanzierungsprofilen BP, die möglichst in die hydrogeologisch am besten erforschten Querschnitte des Grundwasserleiters gelegt werden. Um die Auflösung der Bilanzierungsgleichungen zu vereinfachen, liegen die Profile möglichst senkrecht zur örtlichen Hauptstromrichtung. Bei Verzweigungen des Grundwasserstromes werden die Profile in einzelne Bilanzierungsprofil-Abschnitte BPA unterteilt.

Der Bilanzierungskörper BK oder seine durch Bilanzierungsprofile unterteilten Bilanzierungskörper-Abschnitte BKA liegen innerhalb des Bilanzierungsgebietes BG. Das Bilanzierungsgebiet ist durch die seitliche Begrenzung der Grundwasserleiter und von zwei Bilanzierungsprofilen abgegrenzt.

Die Quantifizierung der in den Bilanzierungsgleichungen enthaltenen hydrologischen Kennziffern (Durchlässigkeit, nutzbare Porosität, Mächtigkeiten des Grundwasserleiters, Grundwasserspiegelgefälle und dgl.) erfolgte aus den in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten hydrogeologischen Untersuchungen.

5.2. Grundwasserbilanzierung Mittleres Emmental

5.2.1. Der Bilanzierungskörper

Der Bilanzierungskörper für die Grundwasserbilanzierung des Mittleren Emmental umfasst:

- die Grundwasserleiter der Grüene und der Emme im Bereiche ihres Zusammenflusses bei der Terrasse von Waldhus (s. Teil I, Beilage I,6)
- und den Grundwasserleiter der Emme zwischen Lützelflüh und südlich Burgdorf.

Er wird abgegrenzt durch die Bilanzierungsprofile 9 (vgl. Beilage I,6) und 13 (vgl. Beilage II,6), durch den Grundwasserstauer, welcher in der Regel der Oberfläche der Molasse entspricht und durch die Grundwasserspiegelfläche (Beilage II,2). Seine Unterteilung erfolgt mit den Bilanzierungsprofilen 10, 11 und 12.

Figur II,9 gibt eine Uebersicht über die Volumenverhältnisse im Bilanzierungskörper. Sie zeigt die approximative Dauerlinie des Jahres 1972 für

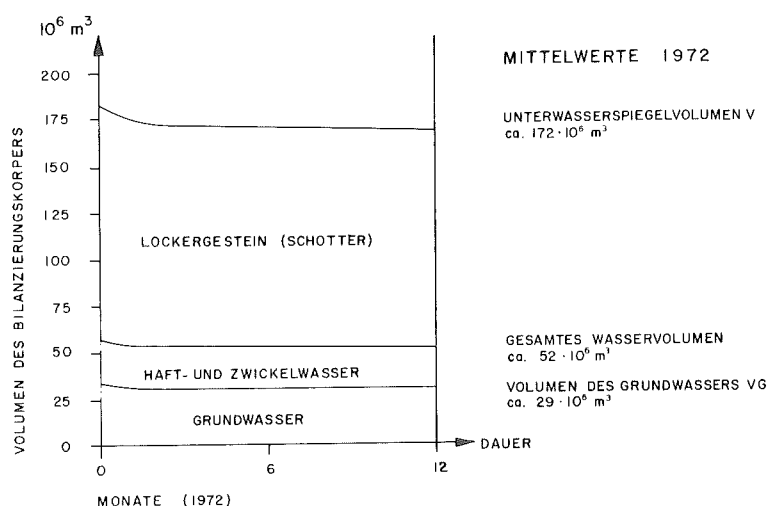
- das Unterwasserspiegelvolumen V,
- das gesamte Wasservolumen unter Annahme einer Porosität $n = 30 \%$
- und das Grundwasservolumen VG unter Annahme der nutzbaren (durchströmten) Porosität $p = 17 \%$.

Die wichtigsten Daten über die Ausdehnung des Bilanzierungskörpers sind:

- die mittlere Fließstrecke in der Hauptströmungsrichtung des Grundwasserleiters $L = 7.68 \text{ km}$,
- die mittlere Breite der Grundwasserspiegelfläche zwischen den seitlichen Grundwasserleiterbegrenzungen $B = 980 \text{ m}$,
- die maximale Grundwassermächtigkeit $H_{\text{MAX}} = \text{ca. } 45 \text{ m}$
- und die Grundwasserspiegelfläche $OS = 7.57 \text{ km}^2$.

Figur II,9

Volumenverhältnisse im Bilanzierungskörper Mittleres Emmental 1972



5.2.2. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, stationär

5.2.2.1. Durchflussmengen Q_0 , Q_U

Die Berechnung der Durchflussmengen Q durch die Bilanzierungsprofile beruht auf dem modifizierten Gesetz von DARCY, das unter Verwendung der Symbole für die massgebenden Hydrologischen Kennziffern, wie folgt lautet:

Durchflussmenge durch das obere Bilanzierungsprofil:

$$Q_0 = k_G \cdot J_0 \cdot F_0$$

bzw. Durchflussmenge durch das untere Bilanzierungsprofil:

$$Q_U = k_G \cdot J_U \cdot F_U$$

Als Grundlagen für die Bestimmung der Durchlässigkeitsverhältnisse in den Bilanzierungsprofilen dienten die Gebiets- k -Werte (s. Kap. 4.2.5) aus den Auswertungen der Grosspumpversuche. Sie repräsentieren die mittlere Durchlässigkeit der mit den Grundwasserspiegelmessungen beobachteten pumpversuchsbedingten Absenkbereiche, welche beim GPV Burgdorf, Schachen, den gesamten, bei den restlichen Versuchen nur einen Teil des Grundwasserquerschnittes umfasst haben.

Bei der Grundwasserbilanzierung im Oberen Emmental (vgl. Teil I) konnte massgeblich auf den GPV Rüderswil mit einem k_G -Wert von ca. $7 \cdot 10^{-3}$ m/s abgestellt werden. Dieser k_G -Wert ergibt sich im Durchschnitt auch für den Hauptgrundwasserleiter im Mittleren Emmental. Für die Bilanzierungsprofile 9 E bis 11 E wurde deshalb ein k_G -Wert von $7 \cdot 10^{-3}$ m/s angenommen. Für das Bilanzierungsprofil 12 E können die k_G -Werte aus den beiden GPV Burgdorf, Oberburgschachen, und Oberburg, Tschamerii, als massgeblich angesehen werden. Das aufgrund der Absenkbereiche der beiden Versuche gewogene Mittel ergibt einen k_G -Wert von ca. $6 \cdot 10^{-3}$ m/s. Für das Bilanzierungsprofil 13 E steht der k_G -Wert aus dem GPV Burgdorf, Schachen, zur Verfügung. Sein Mittelwert aus den umfangreichen Auswertungen beträgt $8.5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Im Bereich der Terrassen Waldhus, Riffershüseren und Eichholz stehen keine Durchlässigkeitsversuche zur Verfügung, so dass die k_G -Werte geschätzt werden müssen. Der mittlere k_G -Wert des Grundwasserleiters unter der Terrasse von Waldhus wurde für die Bilanzierung des Oberen Emmentals (s. Teil I) in Anlehnung an die Durchlässigkeitsverhältnisse im Grundwasserleiter unter der Emme bei Ramsei und Rüderswil zu $7 \cdot 10^{-3}$ m/s angenommen. Dieser k_G -Wert dürfte für die Waldhus-Terrasse zu gross sein; solange für dieses Gebiet nicht mehr Unterlagen vorliegen, bleibt jede Korrektur fragwürdig.

Im Grundwasserleiter unter den Terrassen von Riffershüseren und Eichholz werden aufgrund von geoelektrischen Tiefensondierungen siltige Stauschotter vermutet. Der k_G -Wert wird daher zu $3 \cdot 10^{-3}$ m/s geschätzt.

Tabelle II,33 zeigt die der Bilanzierung zugrunde gelegten Grundwasserspiegelgefälle J_0 vom 20.3.74 (s. Beilage II,2). Dabei wird angenommen, dass das Gefälle innerhalb der einzelnen Bilanzierungsprofilabschnitte BPA konstant ist und J_0 vom 20.3.74 den mittleren Gefällsverhältnissen von 1972 entspricht.

Tabelle II,33

Mittleres Grundwasserspiegelgefälle J_0 für die Bilanzierungsprofilabschnitte (vgl. Beilagen I,6 und II,6)

Grundwasserleiter unter der Emme						Durchschnitt	Mittleres Gefälle
BPA	9E	10E	11E	12E	13E	9 bis 13	
$J_0(\text{‰})$	6.7	5.3	6.2	6.2	4.8	5.8	6.4
Grundwasserleiter unter den Terrassen						Durchschnitt	Mittleres Gefälle
BPA	9W	10R	11R	-	-	10+11	
$J_0(\text{‰})$	9.0 ¹⁾	6.0 ¹⁾	8.0 ¹⁾	-	-	7.0	5.4

1) vermutet

Als Durchflussfläche F wurde überall die Fläche zwischen dem Grundwasserstauer und dem mittleren Grundwasserspiegel von 1972 gewählt. Die mittleren Durchflussflächen für die Bilanzierungsprofilabschnitte sind in Tabelle II,34 aufgeführt.

Tabelle II,34

Durchflussfläche F der Bilanzierungsprofile für einen mittleren Grundwasserstand 1972 (vgl. Beilagen I,6 und II,6)

Grundwasserleiter unter der Emme					
BPA	9E	10E	11E	12E	13E
$F \text{ (m}^2\text{)}$	16600	13750	13300	25800	27050
Grundwasserleiter unter den Terrassen					
BPA	9W	10R	11R	-	-
$F \text{ (m}^2\text{)}$	7700 ¹⁾	10800 ¹⁾	7300 ¹⁾		
Total					
BP	9	10	11	12	13
$F \text{ (m}^2\text{)}$	24300	24550	20600	25800	27050

1) vermutet

Die durchschnittliche Durchflussfläche der angegebenen Bilanzierungsprofile beträgt 24'460 m².

Mit dem modifizierten Gesetz von DARCY (vgl. Kap. 5.2.2.1.) ergeben sich die in Tabelle II,35 zusammengestellten Durchflussmengen.

Tabelle II,35

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

Grundwasserleiter unter der Emme					
BPA	9E	10E	11E	12E	13E
Q(l/s)	779	510	577	960	1104
Grundwasserleiter unter den Terrassen					
BPA	9W	10R	11R	-	-
Q(l/s)	485 ¹⁾	194 ²⁾	175 ²⁾	-	-
Total					
BP	9	10	11	12	13
Q(l/s)	1264	704	752	960	1104

- 1) vermutlich zu gross
2) Werte unsicher

5.2.2.2. Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen QIR

Die Infiltrationsmengen aus randlichen unterirdischen Zuflüssen QIR in den Bilanzierungskörper werden aus Niederschlägen auf die angrenzenden hydrologischen Einzugsgebiete gebildet. Die Berechnungen der mittleren Niederschlagsmengen N basieren auf der durchschnittlichen Niederschlagshöhe des Jahres 1972 von ca. 1'000 mm der 4 in unmittelbarer Umgebung des Untersuchungsgebietes liegenden Niederschlags-Messstationen (vgl. Tabelle II,11).

Tabelle II,36 gibt einen Ueberblick über die mittleren Niederschlagsmengen N von 1972 auf die einzelnen hydrologischen Einzugsgebiete E. Als Hilfsmittel zur Abschätzung der randlichen unterirdischen Zuflüsse sind weiter 20 % der mittleren Niederschlagsmengen (s. Kap. 3.5.5.) aufgeführt.

Tabelle II,36

Mittlere Niederschlagsmenge N 1972 auf die hydrologischen Einzugsgebiete E

BGA	E		N		0.2 N		
Seite*	l	r	l	r	l	r	Total
BP - BP	km ²	km ²	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s
9 - 10	23.58	1.36	745.7	43.0	149.0	8.6	157.6
10 - 11	49.40	23.78	1562.2	752.0	312.0	150.4	462.4
11 - 12	11.03	1.31	348.8	41.4	69.8	8.3	78.1
12 - 13	35.57	2.22	1124.8	70.2	225.0	14.0	239.0
9 - 13	119.58	28.67	3781.5	906.6	755.8	181.3	937.1

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

Ebenfalls zur Abschätzung der randlichen unterirdischen Zuflüsse dienen die in der Tabelle II,37 nach dem Gesetz von DARCY berechneten Durchflussmengen Q durch die Grundwasserleiter der Seitentäler. Die Durchflussfläche F des Bigentales wurde anhand der Untersuchungen für die Grundwassererschliessung der Wasserversorgung Walkringen (RUTSCH, 1972) abgeschätzt. Für das Rüegsbachtal stützt sich die Bestimmung von F auf die geoelektrische Untersuchung 617.207/27 (vgl. Beilage II,2) und auf die Sondierbohrung 617.207/28, welche im Rahmen der Schutz-zonenabklärung Rüegsauschachen abgetieft wurde. Aus beiden Untersuchungen konnten zudem die Grundwassergefälle J berechnet werden. Die Durchflussflächen F und die Grundwassergefälle J des Goldbachtals, des Biembachtals und des Luterbachtals sind lediglich geschätzt worden.

Tabelle II,37

Approximative Durchflussmenge Q durch die Grundwasserleiter der Seitentäler

BGA	F m ²	J ‰	kG 10 ⁻³ m/s	Q l/s
9 - 10 Goldbachtal	1300 ¹⁾	20 ¹⁾	3 ¹⁾	80
10 - 11 Bigental	1750	18	3	95
10 - 11 Rüegsbachtal	3400	9	3	90
11 - 12 Biembachtal	300 ¹⁾	20 ¹⁾	3 ¹⁾	20
12 - 13 Luterbachtal	1000 ¹⁾	20 ¹⁾	3 ¹⁾	60

1) geschätzte Werte

Die benützten k-Werte basieren auf den Durchlässigkeits-Auswertungen des Grosspumpversuches Rüegsauschachen ($k_G = 3 \cdot 10^{-3}$ m/s, vgl. 4.1.3.1.) sowie auf dem Kleinpumpversuch Walkringen ($k_P = 1.2 \cdot 10^{-3}$ m/s, vgl. 4.1.2.3.). Da die Auswertungen von Kleinpumpversuchen aufgrund unserer Erfahrungen zu kleine Durchlässigkeitsbeiwerte ergeben, wird zur Berechnung der Durchflussmenge im Bigental ebenfalls ein k_G von $3 \cdot 10^{-3}$ m/s angenommen. Als k_G -Werte der Seitentäler des Goldbaches, des Biembaches und des Luterbaches werden in Ermangelung von Pumpversuchen ebenfalls $3 \cdot 10^{-3}$ m/s eingesetzt.

Als weiteres Kriterium um randliche Zuflüsse abzuschätzen, sind die örtlichen Verhältnisse betrachtet worden. Teilweise besteht der Zufluss grösstenteils aus der Durchflussmenge der Seitentäler, und der Niederschlagsanteil tritt in den Hintergrund. Wo Seitentäler fehlen, wird der Niederschlagsanteil massgebend.

Für die Bilanzierung wurden die in den Tabellen II,36 und II,37 angegebenen Mengen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten gewertet und in Tabelle II,38 die abgeschätzten randlichen Zuflüsse aufgeführt.

Tabelle II,38

Randliche unterirdische Zuflüsse QIR aus den Einzugsgebieten E in den Bilanzierungskörper, 1972 (s. Beilagen I,6 und II,6)

BGA Seite ¹⁾	QIR			Randlicher Zufluss in % der Nieder- schlagsmenge N
	l l/s	r l/s	Total l/s	
9 - 10	80	10	90	11
10 - 11	110	100	210	9
11 - 12	35	15	40	10
12 - 13	70	10	80	7
9 - 13	295	125	420	9

1) l = linke Seite, r = rechte Seite des Bilanzierungskörpers

5.2.2.3. Infiltrationsmengen aus Niederschlag auf den Grundwasserleiter QIM

Die Grundwasserneubildung durch die infiltrierenden Niederschläge auf den Grundwasserleiter QIM, wie sie aus Tabelle II,39 hervorgeht, wurde zu 50 % der mittleren Niederschlagsmenge von 1972 angenommen. Diese Annahme stützt sich auf die Schätzung der mittleren Verdunstungsmenge im Oberen Emmental mit 40 % (s. Kap. 3.5.5.) und auf unsere Schätzung des oberflächlichen Abflusses aus dem Bilanzierungsgebiet mit 10 %. Die mittlere Niederschlagshöhe des Jahres 1972 wurde aus den Niederschlagshöhen der beiden Niederschlags-Messstationen Rüderswil, Moos, und Burgdorf, MZA, zu 975 mm (s. Tabelle II,11) berechnet.

Tabelle II,39

Infiltrationsmenge QIM aus dem Niederschlag N auf die Bilanzierungsgebiets-Abschnitte BGA (vgl. Beilage II,6)

BP - BP	BGA km ²	N(1972) l/s	QIM l/s
9 - 10	2.10 ¹⁾	64.9	32.5
10 - 11	2.03 ¹⁾	62.8	31.4
11 - 12	1.89 ¹⁾	58.4	29.2
12 - 13	1.69	52.3	26.1
9 - 13	7.71	238.4	119.2

1) inkl. Terrainoberfläche des nicht unterströmten Teils der Terrasse

5.2.2.4. Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmengen QXOM

Innerhalb des Bilanzierungsgebietes ist uns lediglich die Exfiltrationsmenge des oberflächlich abgeleiteten Grundwasseraustrittes, der "Chuderglungge" südlich von Rüegsauschachen, 617.207/14, bekannt. Für das Jahr 1972 stehen leider keine Abflussmengenmessungen zur Verfügung, so dass auf die Abflussmengen aus den Jahren 1968/69 zurückgegriffen werden muss. Die drei vorliegenden Abflussmengenmessungen wurden bei praktisch gleichem Grundwasserstand vorgenommen und haben deshalb eine relativ konstante Exfiltrationsmenge QXOM von durchschnittlich ca. 85 l/s ergeben (BLOCH, 1972).

5.2.2.5. Grundwassernutzung QN

Zur Bestimmung der genutzten Grundwassermengen QN, wurden die Grundwasserbezüger in drei Kategorien unterteilt (vgl. Teil I):

- Hauswasserversorgungen
- Kleinverbraucher
- Grossverbraucher und öffentliche Wasserversorgungen.

Die in Tabelle II,40 zusammengestellten Grundwasserentnahmemengen mussten grösstenteils aufgrund mündlicher Angaben der Bezüger oder durch einen Vergleich mit dem Wasserverbrauch ähnlicher Fassungsanlagen einzeln geschätzt werden. Da die entnommenen Grundwassermengen im Vergleich zu den Durchflussmengen in diesem Bilanzierungsgebiet relativ klein sind, dürften evtl. Fehlschätzungen auf die gesamten Bilanzierungsberechnungen von untergeordneter Bedeutung sein.

Tabelle II,40

Mittlere Grundwassernutzung QN 1972 (vgl. Beilagen I,6 und II,6)

BGA	Hauswasser- versorgungen		Kleinver- braucher		Grossverbraucher		Grund- wasser- nutzung
					Industrielle Betriebe	Öffentliche Wasservers.	
BP-BP	Anzahl QN(l/s)		Anzahl QN (l/s)		Anzahl QN(l/s)	Anzahl QN(l/s)	QN(l/s)
9-10	11	0.13	2	0.06		1 0.5	0.69
10-11	14	0.16	1	0.33		1 1.5	1.99
11-12	8	0.09	-	-	1 -	3 11.0	11.09
12-13	3	0.03	1	0.42	4 1.57	1 6.67	8.69
9-13	36	0.41	4	0.81	5 1.57	6 19.67	22.46

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

Mit einer stationären Bilanzierung lassen sich auch hier wie im Oberen Emmental (Teil I) die effektiven Exfiltrations- und Infiltrationsmengen nicht berechnen. Die stationäre Bilanzierungsgleichung ergibt lediglich eine Differenzmenge zwischen der Infiltrations- und Exfiltrationsmenge ($Q_{I0} + Q_{X0}$) innerhalb eines Bilanzierungsgebiets-Abschnittes. Bei einem Exfiltrationsüberschuss bringt die Berechnung eine Menge mit negativem, bei einem Infiltrationsüberschuss eine Menge mit positivem Vorzeichen.

Die im folgenden Kapitel durchgeführte stationäre Bilanzierung (Tabelle II,41) zeigt für das Jahr 1972 in den beiden Bilanzierungsgebiets-Abschnitten zwischen den Profilen 9 und 10 sowie 10 und 11 einen Exfiltrationsüberschuss von 860 l/s (einschliesslich Grundwasseraustritt "Chuderglungge"), wovon der grösste Teil unterhalb der Hohlhausbrücke in die Emme fliessen dürfte. Zu dieser Exfiltrationsmenge muss jedoch gesagt werden, dass sie infolge der sehr wahrscheinlich wesentlich zu gross geschätzten Durchflussmenge unter der Terrasse von Waldhus (Teil I) kaum den angegebenen Wert erreichen dürfte.

Zwischen den Bilanzierungsprofilen 11 und 13 ergibt sich ein Infiltrationsüberschuss von 145 l/s. Diese Menge dürfte realistisch sein. Unter der Annahme, dass das Infiltrat aus der Emme stammt und gleichmässig über die ganze Länge verteilt ist, beträgt die mittlere Infiltration ca. 0.04 l/s und Laufmeter der Emme.

5.2.2.7. 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. $172 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$.

Tabelle II,41 gibt eine Zusammenstellung der massgebenden hydrologischen Kennziffern zur Berechnung der Durchflussmengen durch die Bilanzierungsprofile sowie die Auflösung der Gleichung II,1 anhand der Bilanzierungskennziffern für die einzelnen Gebietsabschnitte. Die ein- und ausströmenden Grundwassermengen gehen aus der Schemaskizze im Kartenausschnitt des Bilanzierungsgebietes, Fig. II,10 hervor. Sämtliche Bilanzierungskennziffern lassen sich ebenfalls aus Beilage II,6 entnehmen.

Tabelle II,41

Stationäre Grundwasserbilanzierung 1972, Mittleres Emmental von Lützelflüh bis Burgdorf

Allgemeine stationäre
Bilanzierungsgleichung:
 $\sum_0 Q_j = Q_{EIN} + Q_{AUS} = 0$

Erweiterte stationäre Bilanzierungsgleichungen
- für Bilanzierungsgebietsabschnitte gilt:
 $QU + QO + QIM + QIR + QXOM + QN + (QIO + QXO) = 0$
- für Durchflussmengen durch Bilanzierungsprofile oder -profilabschnitte gilt:
oben: $QO = FO \cdot JO \cdot kg$
unten: $QU = FU \cdot JU \cdot kg$
(vgl. Beilagen I,6 und II,6)

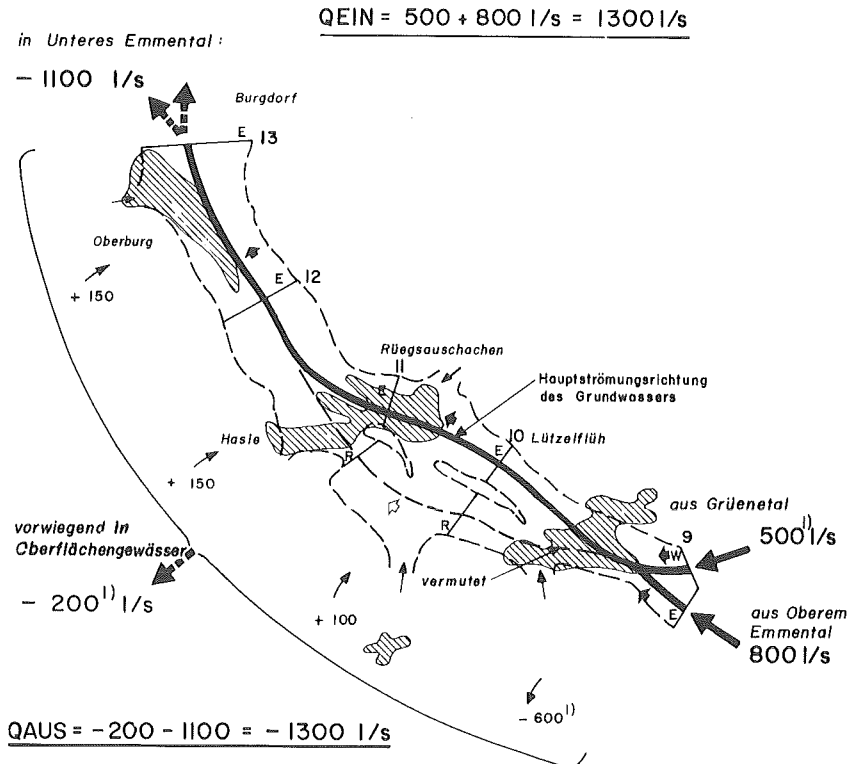
Bilanzierungsprofil										Bilanzierungsgebietsabschnitte									
Bezeichnung		Hydrologische Kennziffern (Mittelwerte)				Bilanzierungskennziffern (Mittelwerte)													
Profilnummer	Profilabschnitt, Buchstabe = Grundwasserleiter unter der — R = Riffershäusern/Eichholz — W = Waldhus	Oberflächengewässer — km	Durchflussfläche FO, FU m ²	Mittleres Grundwasserspiegelgefälle JO, JU ‰	Durchlässigkeitsbeiwert kg 10 ⁻⁴ /m/s	Durchflussmenge durch Profilabschnitt QO(E, R, ...), QU(E, R, ...) l/s	Durchflussmenge durch Profil QO, QU l/s	Summe der Durchflussmengen bei Profilvereinigung QO, QU l/s	Differenz zwischen den Durchflussmengen QU + QO l/s	Infiltration aus Niederschlag QIM l/s	Infiltration aus randochen unterirdischen Zuflüssen QIR l/s	Gemessene, oberflächlich abgeleitete Exfiltrationsmenge QXOM l/s	Genutzte Grundwassermenge QN l/s	Differenz zwischen der in- und der Exfiltrationsmenge aus resp. in Oberflächengewässer QIO+QXO l/s					
9	m ²⁾	26.365	16600	6.7	7.0	800	keine Profilvereinigung	+ 600 ¹⁾	30	90		- 85	(0)	- 720 ¹⁾					
9	W ²⁾		7700	9.0	7.0	500 ¹⁾									- 100	30	210	- 10	+ 90
10	E	23.525	13750	5.3	7.0	500									- 150	25	80	- 10	+ 55
10	R		10800	6.0	3.0	200													
11	E	22.280	13300	6.2	7.0	600													
11	R		7300	8.0	3.0	200													
12	E	20.440	25800	6.2	6.0														
13	E	18.680	27050	4.8	8.5														
Durchschnitt aus E			19300	5.8	7.1		800	Total	+ 200	115	420	- 85	- 20	- 630 ¹⁾					

1) vermutlich wesentlich zu gross (Durchflussmenge unter der Terrasse von Waldhus) 2) s. Teil I

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

Fig. II,10

Schema der stationären Grundwasserbilanzierung, Mittleres Emmental (1:100 000)



Allgemeine stationäre Bilanzierungsgleichung:

$$QEIN + QAUS = 0$$

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

1) vermutlich wesentlich zu gross

5.2.3. Berechnung der Bilanzierungskennziffern, instationär

Als Beispiel für eine instationäre Bilanzierung wurde der Zeitabschnitt vom 22.11.1972, 06.00 Uhr, bis 23.11.1972, 12.00 Uhr, ($\Delta t = 30$ Stunden) gewählt. Die Bestimmung der während dieser Zeit neu gespeicherten Grundwassermenge basiert auf dem Grundwasserspiegelanstieg in den Schreibpegel-Messstationen Hasle, Pumpwerk, und Burgdorf, Pumpwerk 2, im Mittleren Emmental (s. Kapitel 3.5.3.3.) sowie Rüderswil, Moos, im Oberen Emmental (s. Teil I). Die Veränderung des Unterwasserspiegels für die betrachteten 30 Stunden beträgt im Bilanzierungsgebiet ca. 5,6 Millionen m^3 (s. Tab. II,42). Dies entspricht ca. 3.2 % des durchschnittlichen Unterwasserspiegels 1972 von ca. 172 Mio. m^3 (s. Kapitel 5.2.1). Bei einer nutzbaren (= durchströmten) Porosität p von 17 % ergibt sich daraus im Minimum eine Grundwasserneubildung von ca. 8.8 m^3/s

(Differenz zwischen gespeicherter Menge QS und genutzter Menge QZ während $\Delta t = 30$ Stunden).

Für die Berechnung der Durchflussmengen QO, QU wurden die gleichen Annahmen wie bei der stationären Bilanzierung getroffen (s. Kap. 5.2.2.). Die während des Zeitabschnittes Δt genutzte Grundwassermenge QN ist nicht bekannt. Sie wird daher der mittleren Nutzung von 1972 gleichgesetzt.

Die Auflösung der instationären Bilanzierungsgleichung erfolgt nach der Menge aus der gesamten Infiltration und Exfiltration (QI + QX). Unter der berechtigten Annahme, dass der Infiltrationsanteil aus dem Niederschlag auf den Grundwasserleiter für den Zeitabschnitt Δt vernachlässigbar ist, beträgt der minimale Infiltrationszuwachs aus den Oberflächengewässern und den randlichen unterirdischen Zuflüssen pro Laufmeter Grundwasserstrom ca. 1 l/s. Ordnet man den Hauptanteil der neu gespeicherten Grundwassermenge der Infiltration aus der Emme zu, so berechnet sich die durchschnittliche Infiltrationsmenge pro m² Gewässerbett auf ca. 2.5 m³/d.

Tabelle II,42

Instationäre Grundwasserbilanzierung vom 22.11.1972 06.00 h bis 23.11.1972 12.00 h

Allgemeine instationäre
Bilanzierungsgleichung :
 $\sum_0 Q_j = Q_{\text{EIN}} + Q_{\text{AUS}}$

Modifizierte instationäre Bilanzierungsgleichung
 $(Q_S + Q_Z) = (Q_O + Q_U) + Q_N + (Q_I + Q_X)$
Einströmende Grundwassermenge (+) : QO, QI, QS
Ausströmende Grundwassermenge (-) : QU, QX, QZ

Bilanzierungsprofil			Bilanzierungsgebietsabschnitte						
Profilnummer	Bezeichnung		Hydrologische Kennziffern			Bilanzierungskennziffern			
	Profilabschnitt, Buchstabe = Grundwasserleiter unter der - E = Emme - R = Riffersbüschen / Eichholz - W = Waldhus	Oberflächengewässer - km	Grundwasserspiegelfläche OS 10 ⁶ m ²	mittlerer Grundwasserspiegelsanlag Δh vom 22.11.1972 6.00 Uhr - 23.11.1972 12.00 Uhr m	Veränderung des Unterwasserspiegelsvolumens in 30 h ΔV 10 ⁶ m ³	Differenz zwischen der Speicher- und Zehrmenge (QS + QZ) l/s	Differenz zwischen den Durchflussmengen (QO + QU) l/s	Genutzte Grundwassermenge QN l/s	Differenz zwischen der In- und Exfiltrationsmenge (QI + QX) l/s
9	E	26.365							
9	W		2.07	0.70	1.89	+ 2975	+ 595	(0)	+ 3570
10	E	23.525							
10	R		1.95	0.60	1.17	+ 1870	- 100	(0)	+ 1740
11	E	22.280							
11	R		1.86	0.55	1.02	+ 1605	- 150	-10	+ 1445
12	E	20.440							
13	E	18.680							
13	E	18.680	1.69	0.90	1.52	+ 2395	- 160	-10	+ 2225
Total			7.57	0.74	5.60	+ 8815	+ 185	-20	+ 8980

5.2.4. Natürlicher Grundwasserzuwachs

Zur Beurteilung des gesamten natürlichen Grundwasserzuwachses innerhalb eines Jahres wurden die in Kapitel 3.5.3.3. eingetragenen Summen der jährlichen Grundwasserspiegelanstiege 1972 in den Schreibpegel-Messstationen Burgdorf, Pumpwerk 2; Hasle, Pumpwerk, und Rüderswil, Moos, (s. Teil I) beigezogen. Die Summe des jährlichen Grundwasserspiegelanstieges 1972 beträgt bei Burgdorf 6.48 m, bei Hasle 3.91 m und bei Rüderswil 4.91 m. Unter Beizug der Ganglinien von Beobachtungspunkten mit periodischen Grundwasserspiegelmessungen (vgl. Kap. 3.5.3.2) konnten aus diesen drei Werten die in Tabelle II,43 aufgeführten Summen der Grundwasserspiegelanstiege des Jahres 1972 abgeschätzt werden.

Das daraus berechnete Grundwasserleiter-Volumen für das Jahr 1972 beträgt im Bilanzierungsgebiet 38.5 Mio. m³, also 22 % des durchschnittlichen Unterwasserspiegelvolumens 1972 von ca. 172 Mio. m³ (vgl. Fig. II,9). Ein grosser Teil dieses Zuwachses findet innerhalb sehr kurzer Zeitspannen statt. So änderte sich das Unterwasserspiegelvolumen beispielsweise während des hochwasserbedingten Grundwasserspiegelanstieges vom 22./23.11.1972 allein schon in 30 Stunden um ca. 5.6 Mio. m³ (s. Tab. II,42) oder 15 % des Zuwachses 1972.

Das Volumen des natürlichen Grundwasserzuwachses basiert auf dem Mittelwert der nutzbaren Porosität p von 17 % im Oberen und Mittleren Emmental (s. Teil I, Kap. 4.2.6.) und beträgt für das ganze Bilanzierungsgebiet im Jahre 1972 ca. 6.5 Mio. m³. Unter Annahme, dass sich die Grundwasserneubildung 1972 auf das Jahr gleichmässig verteilen würde, ergibt sich ein mittlerer Zuwachs von ca. 200 l/s.

Tabelle II,43

Natürlicher Grundwasserzuwachs 1972 (vgl. Beilagen I,6 und II,6)

Bilanzierungs-Gebietsabschnitt (BGA)	9-10	10-11	11-12	12-13	9-13
Summe der Grundwasserspiegelanstiege 1972 in m	5.0	4.5	5.0	6.0	5.1
Zuwachs des Unterwasserspiegelvolumens (Summe 1972) in 10 ⁶ m ³	10.3	8.8	9.3	10.1	38.5
Volumen des natürlichen Grundwasserzuwachses in 10 ⁶ m ³	1.76	1.49	1.58	1.72	6.55
Mittlerer natürlicher Grundwasserzuwachs in l/s	55.7	47.1	50.0	54.4	207.2

6. SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

A. Werner, dipl. Ing. ETH; Mitarbeiter F. Muchenberger, dipl. Ing. HTL

6.1. Grundwassernutzung heute (1976)

Die mittlere Grundwassernutzung beträgt ca. 23 l/s (s. Kap. 5.2.2.5., Tabelle II,40). Die Erhebungen beziehen sich auf das Jahr 1972, die Angaben dürfen jedoch auf 1976 übertragen werden. Ungefähr 20 l/s entfallen auf die öffentlichen Wasserversorgungen, der Rest auf Industriebetriebe, Kleinverbraucher und Hauswasserversorgungen.

Nicht berücksichtigt in diesen Zahlen sind ausserordentliche Entnahmen, z.B. bei Baugrubenentwässerungen, Bewässerung der Landwirtschaft. Eine Quantifizierung dieser Grundwassernutzungen stösst leider meistens auf Schwierigkeiten. Vielfach werden die Mengen gar nicht oder zu wenig genau gemessen, und für ihre nachträgliche Berechnung fehlen grösstenteils die Unterlagen. Kleine oder kurzfristige ausserordentliche Nutzungen spielen mengenmässig natürlich eine untergeordnete Rolle. Sie fallen aber ins Gewicht, wenn Wassermengen von mehr als 30 l/s und während längerer Zeit, etwa zehn Tagen, gepumpt werden und sollten deshalb unbedingt gemessen werden.

Für eine zeitgemässe Siedlungswasserwirtschaftliche Planung spielen aber auch die Spitzenentnahmemengen eine wesentliche Rolle. Leider werden sie selten, oft nicht einmal bei den öffentlichen Wasserversorgungen erhoben. Damit fehlen wesentliche Daten und wichtige Grundlagen für die Planung.

6.2. Totales Grundwasserangebot

Unter dem totalen Grundwasserangebot QT verstehen wir die maximale Grundwassermenge (z.B. m³/s), welche aus einem Grundwasserleiter dauernd entnommen werden kann (WEA/GEOLOGIE, 1975).

Als erster Schritt zur Bestimmung des totalen Grundwasserangebotes müssen die ein- und die ausströmenden Grundwassermengen ins resp. aus dem Bilanzierungsgebiet ermittelt werden, wie sie aus der stationären Bilanzierung für das Jahr 1972 (vgl. Tabelle II,41) hervorgehen. Sie betragen im Mittel ca. 1 300 l/s. Weiter ist die Grundwassernutzung möglichst vollständig zu erfassen. Innerhalb des Bilanzierungsgebietes beträgt die mittlere Grundwassernutzung für 1972 ca. 20 l/s. Knapp unterhalb des Bilanzierungsgebietes (vgl. Beilage II,5) wurden im selben Jahr durch die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf im Mittel ca. 65 l/s Grundwasser gewonnen. Diese bedeutende Menge beeinflusst auch die Strömungsverhältnisse im Bilanzierungsgebiet. So haben diese Entnahmen eine massgebende Steigerung der aus dem Bilanzierungsgebiet strömenden Wassermengen zur Folge und die Entnahmemenge der Wasserversorgung der Stadt Burgdorf kann praktisch vollständig dem Bilanzierungsgebiet zugeordnet werden. Die mittlere Grundwassernutzung beträgt damit ca. 85 l/s oder ca. 7 % der ins Bilanzierungsgebiet einströmenden Grundwassermengen.

Weitere wichtige Dargebotskennziffern für die Berechnung des totalen Grundwasserdargebotes fehlen bis zum heutigen Zeitpunkt, z.B. die Pflichtwassermenge für Unter- und Oberlieger, die nutzbare In- und Exfiltrationsmengen. Dabei ist zu beachten, dass für die Bestimmung dieser Kennziffern nicht nur regionale sondern auch überregionale Nutzungsinteressen einzubeziehen sind. Für die Dargebotsberechnungen sind weiter verschiedene mögliche Fassungsstandorte und die angestrebten Entnahmemengen vorzugeben und optimale wasserwirtschaftliche Lösungen zu suchen.

Die Berechnung des totalen Grundwasserdargebotes scheint uns deshalb erst dann sinnvoll, wenn z.B. die heutige Grundwassernutzung erheblich gesteigert werden muss, neue Fassungsanlagen geplant oder infolge technischer Eingriffe in den natürlichen Wasserkreislauf im Grundwasserleiter neue Strömungsverhältnisse auftreten würden.

6.3. Nutzbares Grundwasserdargebot

Bei der siedlungswasserwirtschaftlichen Planung kann in der Regel nicht davon ausgegangen werden, dass das totale Grundwasserdargebot eines Gebietes voll genutzt werden kann. Beispielsweise können qualitative und quantitative Randbedingungen die Grundwassergewinnung erheblich einschränken. Damit steht für die Siedlungswasserwirtschaft nicht das totale sondern lediglich das nutzbare Grundwasserdargebot zur Verfügung. Dem nutzbaren Grundwasserdargebot sind, aufbauend auf den im vorangegangenen Kapitel erwähnten Kennziffern, sog. Nutzungsmodelle zu Grunde zu legen. Dazu haben neben den technischen und naturwissenschaftlichen Zielvorstellungen volkswirtschaftliche und politische Konzeptionen vorzuliegen, anhand derer sich der siedlungswasserwirtschaftliche Planer zu orientieren hat.

6.4. Grundwasserschutz

6.4.1. Gesetzliche Grundlagen

Das Grundwasserdargebot kann mengen- und gütemässig beeinträchtigt werden. Die eidgenössischen und die kantonalen Gewässerschutzgesetze und -Verordnungen verfolgend das Ziel, Gebiete mit Grundwasservorkommen, die hinsichtlich Menge und Güte zur Wassergewinnung geeignet sind zu schützen (AfU, 1977).

Das Bilanzierungsgebiet Mittleres Emmental und seine Randzonen gehören generell zum Grundwasserschutzbereich A resp. zur Zone A (VEWD, 1973-74). Damit sind nach der KGV (Kanton Bern, 1972) verschiedene mengen- und gütemässige Schutzmassnahmen verbindlich vorgeschrieben, z.B. sind Gewässerverbauungen und Meliorationen, die die Grundwasserspeisung wesentlich beeinträchtigen sowie Kehrichtdeponien und Grosstanklager verboten.

Der gesetzlich vorgeschriebene Grundwasserschutz im unmittelbaren Einzugsbereich bestehender öffentlicher Trinkwasserfassungen ist noch intensiver. So sind für

die Fassungen Grundwasserschutzzonen auszuscheiden und Nutzungsbeschränkungen einzuhalten. Für geeignete zukünftige Fassungsgebiete müssen Grundwasserschutzareale ausgeschieden werden.

6.4.2. Mengenmässiger Grundwasserschutz

Der mengenmässige Grundwasserschutz wird vielfach vernachlässigt, weil das Wasser im Ueberfluss zur Verfügung steht. Dabei kann die mengenmässige Beeinträchtigung zu einem Wassermangel führen, welcher sich gravierender auswirken kann als eine Qualitätseinbusse durch einen ungenügenden gütemässigen Grundwasserschutz.

Damit das Grundwasserdargebot im Bilanzierungsgebiet nicht beeinträchtigt wird, sind folgende Schutzmassnahmen erforderlich:

- Die Wassernutzung durch die Oberlieger resp. Unterlieger darf den Zufluss durch das obere Bilanzierungsprofil resp. den Abfluss durch das untere nicht beeinträchtigen
- die natürliche Infiltration aus den Oberflächengewässern im Bilanzierungsgebiet und den Seitentälern darf durch bauliche Massnahmen nicht beeinträchtigt werden
- die Versickerung des Meteorwassers in überbauten Gebieten sollte möglichst vollständig sein
- die natürliche Exfiltration von Grundwasser in die Oberflächengewässer darf durch die Abtiefung von Gewässersohlen usw. nicht gesteigert werden
- abgeleitetes Grundwasser durch Drainagen usw. muss wieder versickert werden
- Kanalisationsleitungen und -Gräben dürfen kein Grundwasser ableiten
- der Durchflussquerschnitt des Grundwasserleiters darf durch Bauwerke etc. nicht verkleinert werden.

Der Erfolg dieser Schutzmassnahmen ist durch periodische Messungen zu kontrollieren und statistisch zu analysieren. Dabei müssen

- die ordentlich und insbesondere die ausserordentlich genutzten Grundwassermengen exakter erfasst werden
- die Grundwasserspiegelbewegungen und die Abflussmengen der Oberflächengewässer an signifikanten Stellen permanent registriert werden
- das Klima- und das Niederschlagsgeschehen im Rahmen der MZA-Messungen beobachtet werden.

6.4.3. Gütemässiger Grundwasserschutz

Mit dem gütemässigen Grundwasserschutz wird angestrebt, die heutige Qualität des Grundwassers und damit auch des Trinkwassers zu erhalten oder noch zu verbessern. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn möglichst wenig Schadstoffe in den Grundwasserleiter gelangen und wenn es gelingt, ihren Einfluss auf die Qualität des

Grundwassers zu erfassen und zu bewältigen. Die Auswirkungen sämtlicher menschlichen Eingriffe in den Wasserhaushalt auf die Qualität des Grundwassers können weder für heute geschweige denn für die Zukunft abgegrenzt werden. Die Vorgänge bei der sogenannten Selbstreinigung des Wassers im Boden sind je nach Schadstoff sehr komplex und bis heute nur teilweise geklärt (SAGUF, 1974 - 75). Es steht jedoch fest, dass der Abbau vieler Schadstoffe wesentlich von der chemischen Qualität des Wassers abhängig ist.

Der gütemässige Schutz des Grundwassers erfordert Nutzungsbeschränkungen (AfU, 1977) und Qualitätskontrollen. Mit periodischen chemischen, bakteriologischen usw. Untersuchungen muss die Wasserqualität überwacht werden, damit bei Qualitätsveränderungen die notwendigen Massnahmen zur Beseitigung der Verschmutzungsursache vorgenommen werden können.

6.4.4. Grundwasserschutz heute

Im Bilanzierungsgebiet sind bis heute folgende Grundwasser-Schutzzonenverfahren eingeleitet worden:

- Wasserversorgung Rüegsauschachen und Umgebung
Grundwasserfassungen 617.207/2 und 617.207/49 ¹⁾
- Brunnengenossenschaft Hasle, Grundwasserfassung 615.207/2
- Wasserversorgung Oberburg, Grundwasserfassung 615.208/1
- Wasserversorgung Stadt Burgdorf, Grundwasserfassung 615.208/44
- Betriebswasserversorgung der Butterzentrale Burgdorf,
Grundwasserfassung 614.210/43
- Wasserversorgung Stadt Burgdorf, Grundwasserfassung 614.210/1,2 + 134

Die vorgesehenen Schutzzonen sind infolge der schon recht dichten Ueberbauung der Talebene nicht überall optimal. Mit den folgenden Erläuterungen werden die einzelnen Standorte der Fassungsanlagen aus schutzzonentechnischer Sicht gewertet und allfällige Alternativen aufgezeigt.

Die Grundwasserfassung 617.207/2 der Genossenschaft "Wasserversorgung Rüegsauschachen und Umgebung" liegt schutzzonentechnisch sehr ungünstig. Aufgrund der Schutzzonenabklärungen entschloss sich daher die Eigentümerin zum Bau einer neuen Fassung. Mit dem neuen Vertikalfilterbrunnen 617.207/49 ¹⁾ im Gebiet Lützelflüh, Brandis, wird die Genossenschaft "Wasserversorgung Rüegsauschachen und Umgebung" einen ergiebigen Abschnitt des Emmental-Grundwasserstromes nutzen und eine geeignete Schutzzone ausscheiden können.

¹⁾ wurde erst 1977 erstellt

Der Grundwasserbrunnen 615.207/2 der Brunnengenossenschaft Hasle liegt mitten im Dorf. Er ist bautechnisch unbefriedigend und die Verwirklichung der Schutzzone wird nur einen beschränkten Schutz ergeben. In Anbetracht dieser Nachteile sollte ein neues, schutzzonentechnisch günstigeres Fassungsgebiet gesucht oder ein Anschluss an eine Nachbargemeinde geprüft werden.

Die Fassung 615.208/1 der Wasserversorgung Oberburg in der Tschamerii liegt schutzzonentechnisch etwas besser als diejenige von Hasle. Der Standort kann aber auch nicht als ausgesprochen gut bezeichnet werden. Insbesondere erschweren die in den letzten Jahren entstandenen Wohnhäuser einen wirksamen Grundwasserschutz. Auch hier könnte ein Zusammenschluss mit einer benachbarten Wasserversorgung bessere schutzzonentechnische Voraussetzungen schaffen.

Der Oberburgschachen ist im Mittleren Emmental das bedeutendste potentielle Fassungsgebiet. Die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf hat seine Eignung zur Trinkwassererfassung durch umfangreiche Untersuchungen abgeklärt und bereits einen Grundwasserbrunnen 615.208/44 für 10 000 l/min erstellt. Der Brunnen ist noch nicht ans Versorgungsnetz angeschlossen. Seine Lage ist heute schutzzonentechnisch gut. Das regionale Erholungsgebiet längs der Emme mit dem Schachenwald bietet heute die besten Voraussetzungen für den Grundwasserschutz, welche durch künftige Strassenbauten etc. nicht in Frage gestellt werden sollten.

Die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf gewinnt heute ihr Grundwasser in Burgdorf, Schachen (614.210/1,2 + 134). Im Fassungsgebiet sind heute bereits verschiedene Gefahrenherde vorhanden. Sofern weitere heute diskutierte Projekte wie Strassenbauten, Oberburgbachabsenkung usw. verwirklicht werden sollten, könnte der Gefährdungsgrad eine langfristige Nutzung dieses Teils des Grundwasservorkommens in Frage stellen.

6.5. Ausblick (vgl. auch Teil I)

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass im Mittleren Emmental die beiden Fassungsgebiete Rüegsauchachen, Brandis, und Oberburgschachen im Hinblick auf die Eignung zur Wassergewinnung und zur Ausscheidung von Schutzzonen hohen Ansprüchen genügen. Auf diese beiden Gebiete wird sich in Zukunft die Grundwasserentnahme konzentrieren. Auch wenn im Vergleich zu den ins Bilanzierungsgebiet einströmenden Grundwassermengen die heutige Grundwassernutzung mit einem Anteil von ca. 7 % sehr klein ist, sollten diese beiden Fassungsgebiete vor allem für die benachbarten Gemeinden reserviert und eine Ableitung des Wassers aus dem Emmental nicht ins Auge gefasst werden.

Für die Sicherstellung der künftigen Trinkwasserversorgung im Mittleren Emmental sind die eingeleiteten Schutzmassnahmen mit der Schutzzonenausscheidung im Fassungsgebiet Rüegsauchachen, Brandis, und der Ausscheidung eines Grundwasserschutzareales im Oberburgschachen rechtskräftig abzuschliessen.

7. ZUSAMMENFASSUNG

- Hydrogeologie
1. Der Grundwasserleiter dieses Abschnittes des Emmentals, aus vermutlich würmeiszeitlichen bis max. 45 m mächtigen Schottern aufgebaut, lässt sich nicht gliedern.
- Hydrochemie
2. (II,4) Die chemische Güte der Grundwasserproben aus 15 Fassungen entsprach im Sommer 1972 wie auch im Winter 1973 - mit Ausnahme einzelner Sauerstoffsättigungen - in der Regel den Anforderungen des schweiz. Lebensmittelbuches für Trinkwasser. Ueber die Hälfte der bakteriologischen Wasseranalysen mussten vom Kantonschemiker beanstandet werden. Sehr wahrscheinlich rühren die grossen Keimzahlen von Verschmutzungen in der näheren Umgebung der Fassungsanlagen her. Anhand der in den Jahren 1969/1970 in Burgdorf - Schachen entnommenen Wasserproben wurde festgestellt, dass die Härte des Grundwassers mit der Entfernung des Entnahmeortes von der Emme linear zunimmt.
- Hydrometrie
Hydrographie
3. Mit den hydrometrischen Untersuchungen wurden in erster Linie die Niederschlagshöhen, die wichtigsten Oberflächenwasserabflüsse und die Bewegungen des Grundwasserspiegels erfasst.
- Im Mittelpunkt der Abklärungen stand die Emme.
- Untersuchungs-
gebiet
3.2. (II,5) Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Talsohle der Emme von Ramsei bis Burgdorf und erstreckten sich teilweise auch auf die Einzugsgebiete der Seitenbäche.
- Aufbau Mess-
stellennetz
3.3. Von 1966 bis 1975 erfolgte ein sukzessiver Aufbau des Messstellennetzes.
- Messstellen und
Messungen
3.4. (II,5) 1974 stand ein Messstellennetz aus 4 Niederschlagsmessstationen (Grosshöchstetten, Rüderswil, Affoltern, Burgdorf), 92 Wasserstands-Abstichpunkten (Emme und Bäche), 1 Abflussmengen-Messstelle (Chuderglungge), 3 Abflusspegeln (Emme, Rüegsbach, Luterbach) und 176 Grundwasser-Beobachtungsstellen zur Verfügung. Die Messresultate von 1969 bis 1971 sind in der Dissertation BLOCH, 1972, dargestellt worden. Teilweise werden sie in den vorliegenden Tabellen und Beilagen aufgeführt und mit den Daten der Jahre 1972 bis 1974 ergänzt.

- Niederschläge
3.5.1. (II,5) Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe von 1969 bis 1974 beträgt in der MZA-Station Burgdorf 970 mm. Verglichen mit dem 40 jährigen Mittel war in dieser Periode ein kleines Niederschlagsdefizit von ca. 5 % zu verzeichnen.
- "Chuderglungge"
3.5.2.1. (II,2,5) Die "Chuderglungge" in Rüegsauschachen ist der ergiebigste Grundwasseraustritt im Untersuchungsgebiet ($Q \sim 80 - 100 \text{ l/s}$).
- Oberflächenab-
fluss vom
8.11.1972
3.5.2.2. Eine generelle Bilanzierung des Oberflächenabflusses vom 8.11.1972 deutet darauf hin, dass auch während Trockenperioden Wasser aus den Oberflächengewässern ins Grundwasser fließt.
- Abfluss Emme,
Rüegsbach,
Luterbach
3.5.2.3. (II,5) Der durchschnittliche Jahresabfluss von 1969 bis 1974 beträgt für die Emme in Emmenmatt $11.8 \text{ m}^3/\text{s}$, für den Rüegsbach in Rüegsau und den Luterbach in Oberburg je ca. $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$.
Die Abflussverhältnisse während der Untersuchungsperiode können als durchschnittlich bezeichnet werden.
- Grundwasser-
spiegel
3.5.3. (II,2,5) Die grössten Unterschiede zwischen den jährlichen Hoch- und Tiefständen traten während der Untersuchungsperiode im Raum südl. von Burgdorf auf (max. ca. 5 m). Emmetal aufwärts nahmen sie bis zur Chuderglungge nach und nach ab.
Die Summen der jährlichen Grundwasserspiegelanstiege von 1972 bis 1974 variierten in den beiden Schreibpegel-Messstationen Burgdorf und Hasle zwischen ca. 3m und 6.5 m. Die Grundwasserspiegelfläche vom 20.3.1974 wurde mit Isohypsen (Aequidistanz 1 m) im Massstab 1:25 000 dargestellt.
- Beziehung
zwischen
Emmewasser und
Grundwasser
3.5.4. (II,2,5) Das Emmebett ist das ganze Jahr hindurch mehr oder weniger durchlässig. Es kann deshalb angenommen werden, dass durchwegs je nach Höhenlage des Emme- und des Grundwasserspiegels eine Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserleiter oder eine Exfiltration von Grundwasser in den Fluss stattfindet. Bei Hochwasserabflüssen liegt der Emmewasserspiegel praktisch auf der ganzen Flussstrecke über dem Grundwasserspiegel. Flusswasser sickert dann solange in den Grundwasserleiter bis Grundwasser- und Emmespiegel auf gleichem Niveau liegen.
Wenn der Emmespiegel wieder absinkt, strömt Grundwasser in die Emme zurück. Am ausgeprägtesten sind diese Exfiltrationen unterhalb der Schwellen nach Hochwasser zu beobachten. Während des Emmehochwassers vom 22./23.11.1972 stieg der Grundwasserspiegel in Burgdorf, Pumpwerk 2, mit einer Verzögerung von 9 Stunden gegenüber dem Emmewasserspiegel in 32 Stunden ca. 1.4 m

an. Eine Ueberschlagsrechnung ergibt für dieses Gebiet einen hochwasserbedingten Infiltrationszuwachs von ca. 11 m³/h und Laufmeter Emme. Die enge Wechselbeziehung zwischen Emme und Grundwasser zeigt sich auch aus den Dauerlinien der Wasserspiegelanstiege und -rückgänge des Jahres 1972; sowohl der Emmewasserspiegel wie auch der Grundwasserspiegel stiegen während ca. 100 Tagen an und gingen während ca. 250 Tagen zurück.

Grundwasser- spiegel- gefälle 3.5.4.2. (II,2,5)	Das mittlere Grundwasserspiegelgefälle beträgt ca. 6.4 ‰. Bei den Talverengungen ist das Gefälle in der Regel grösser (z.B. östl. Lützelflüh ca. 8.5 ‰) als in breiten Talabschnitten (z.B. südl. Burgdorf ca. 5 ‰).
Infiltration randlicher Zuflüsse 3.5.5. (II,2)	Aus allen grösseren Seitentälern fliesst Grundwasser in den Grundwasserleiter des Haupttales.
<u>Grundwasser- hydraulik</u> 4.	Die hydrologischen Kennziffern wurden mit Gross- und Kleinpumpversuchen sowie Markierversuchen bestimmt.
Punkt-k-Werte 4.2.2. (II,3)	Die in den Aufschlussbohrungen bestimmten Punkt-k-Werte liegen zwischen $0.12 \cdot 10^{-3}$ m/s und $24 \cdot 10^{-3}$ m/s. Das einfache arithmetische Mittel der Punkt-k-Werte in den Rotationskernbohrungen beträgt $2 \cdot 10^{-3}$ m/s, dasjenige in den Spülbohrungen $7.3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die Punkt-k-Werte aus den Versuchen in den Rotationskernbohrungen ergeben erfahrungsgemäss zu kleine Werte.
Profil-k-Werte 4.2.4	Der Mittelwert für die Profil-k-Werte in den Rotationskern- und den Spülbohrungen beträgt $2 \cdot 10^{-3}$ m/s und derjenige in den untersuchten Grundwasserfassungen $3 \cdot 10^{-3}$ m/s.
Gebiets-k-Werte 4.2.5. (II,5)	Die Gebiets-k-Werte aus den 6 Grosspumpversuchen liegen zwischen $3 \cdot 10^{-3}$ m/s und $9.5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Sie charakterisieren die mittlere Durchlässigkeit des ganzen Grundwasserleiters im Haupttal und in den Mündungsgebieten der Seitentäler.
Mittlere nutzbare Porosität 4.2.6. (II,5)	Aus den Auswertungen von 3 Grosspumpversuchen ergeben sich mittlere Porositätswerte von 12 % bis 21 %.

Grundwasser-
bilanzierung
Allgemeines
5.1.

Die Grundwasserbilanzierung dient als Grundlage für die Bestimmung des Grundwasserdargebotes. Sie hat insbesondere die Zu- und Abflüsse in und aus dem Bilanzierungskörper, d.h. der Unterwasserspiegelzone des Grundwasserleiters, quantitativ zu erfassen.

Bilanzierungs-
körper
5.2.1.
(I/II,2,6)

Der Bilanzierungskörper Mittleres Emmental umfasst den Grundwasserleiter zwischen dem Zusammenflussgebiet Emme/Griene bei Ramsey und Burgdorf, Schachen.

Bilanziert wurden die Zu- und Abflüsse des Jahres 1972. Das Unterwasserspiegelvolumen betrug ca. 172 Millionen m³. Es strömten darin durchschnittlich ca. 29 Millionen m³ Grundwasser.

Durchfluss-
mengen
5.2.2.1.
(I/II,6)

Im Jahre 1972 flossen durch den Bilanzierungs-Profilabschnitt Ramsey aus dem Oberen Emmental durchschnittlich ca. 800 l/s und aus dem Grünenetal schätzungsweise ca. 500 l/s in das Bilanzierungsgebiet Mittleres Emmental. Durch das Profil Burgdorf, Schachen, strömten im Durchschnitt ca. 1 100 l/s ins Untere Emmental ab.

Randliche
unterirdische
Zuflüsse
5.2.2.2.
(I/II,6)

Die randlichen unterirdischen Zuflüsse aus den angrenzenden hydrologischen Einzugsgebieten, deren Fläche ca. 148 km² beträgt, erreichten 1972 ca. 420 l/s.

Infiltration
von Nieder-
schlag
5.2.2.3.
(I/II,6)

Die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag direkt auf den Grundwasserleiter wird zu 50 % der Niederschlagsmenge von 1972 angenommen. Sie beträgt ca. 115 l/s.

Grundwasser-
nutzung
5.2.2.5.

Die öffentlichen Wasserversorgungen nutzten im Jahre 1972 im Durchschnitt ca. 20 l/s Grundwasser. Ca. 2.5 l/s wurde von Gewerbe- und Industriebetrieben entnommen und ca. 0.5 l/s von Hauswasserversorgungen.

Emme-
Infiltration
und
Exfiltration
5.2.2.6.
(I/II,6)

Im oberen Teil des Bilanzierungsgebietes ergibt sich ein Exfiltrationsüberschuss von ca. 860 l/s, welcher vorwiegend unterhalb der Gohlhausbrücke bei Lützelflüh in die Emme fließt. Im unteren Teil überwiegt die Infiltration mit einem Infiltrationsüberschuss von ca. 145 l/s.

Stationäre Grundwasserbilanz 5.2.2.7. (I/II,6)	In den Bilanzierungskörper strömt eine Grundwassermenge von max. 1 300 l/s. Aus dem Bilanzierungskörper strömen unterirdisch ca. 1 100 l/s ab. Der Ueberschuss von max. 200 l/s fliesst in die Oberflächengewässer, vorwiegend in die Emme.
Instationäre Grundwasserbilanzierung 5.2.3	Für den extremen Grundwasserspiegelanstieg zwischen 22.11.1972, 06.00 Uhr und 23.11.1972, 12.00 Uhr - also während 30 Stunden - ergibt sich für das Bilanzierungsgebiet ein Infiltrationszuwachs von ca. 9 000 l/s.
Grundwasserzuwachs 5.2.4. (I/II,6)	Im Jahre 1972 betrug der Grundwasserzuwachs ca. 6.5 Millionen m ³ . Ein grosser Teil dieses Zuwachses findet während den Hochwasserperioden statt. Beispielsweise vergrösserte sich am 22./23.11.1972 das Grundwasservolumen während 30 Stunden um 15 % des Jahreszuwachses von 1972.
<u>Siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte</u> Grundwassernutzung 6.1. (I/II,6)	Die mittlere Grundwassernutzung beträgt ca. 23 l/s. Nicht berücksichtigt sind darin ausserordentliche Entnahmen, z.B. Baugrubenentwässerungen, landwirtschaftliche Bewässerungen usw.
Totales Grundwasserdargebot 6.2.	Die Berechnung des totalen Grundwasserdargebotes ist erst dann erforderlich, wenn z.B. die heutige Grundwassernutzung erheblich gesteigert werden muss, neue Fassungsanlagen geplant oder infolge technischer Eingriffe in den natürlichen Wasserkreislauf im Grundwasserleiter neue Strömungsverhältnisse auftreten werden.
Grundwasserschutz	Damit das Grundwasserdargebot im Mittleren Emmental für die Zukunft erhalten bleibt, dürfen vor allem die natürlichen ein- und ausströmenden Mengen sowie die heutigen Infiltrations- und Exfiltrationsverhältnisse durch bauliche Massnahmen nicht verändert werden. Der gütemässige Schutz des Grundwassers erfordert das Beachten der Gewässerschutzgesetze. Periodische Qualitätskontrollen sind notwendig. Für die meisten Fassungen öffentlicher Wasserversorgungen sind Grundwasser-Schutzzonenverfahren eingeleitet worden. Die beiden Gebiete Rüegsauschachen, Brandis, und Burgdorf/Hasle, Oberburgschachen, eignen sich als künftige Fassungsgebiete. Für die Sicherstellung der künftigen Trinkwasserversorgung des Mittleren Emmentales ist die Ausscheidung der Grundwasser-Schutzzone in Rüegsauschachen, Brandis, und des Grundwasser-Schutzareales im Oberburgschachen deshalb möglichst bald rechtskräftig abzuschliessen.

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

A. PUBLIKATIONEN

- BLOCH, T. (1972): Beiträge zur Hydrologie des Unteren Emmentals - Solothurn (Gassmann).
- DIREKTION FUER VERKEHR, ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN, VEWD (1973-74): Gewässerschutzkarte des Kantons Bern 1: 25000 - VEWD, Bern, Blatt 1147, 1148, 1167, 1168.
- 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. (1950): Geol. Atlas der Schweiz 1: 25000, Blatt 22: Fraubrunnen - Burgdorf, mit Erläuterungen - Bern (Kümmerly & Frey).
- KOERNER, H. (1957): Die Prüfung der Durchlässigkeit von Lockergesteinsinjektionen im Bauzustand - Die Wasserwirtschaft, Stuttgart, Heft 8.
- SCHWEIZ. LEBENSMITTELKOMMISSION, EIDG. GESUNDHEITSAMT (1972): Schweiz. Lebensmittelbuch, Kap. 27, Trinkwasser und Mineralwasser - Bern (EDMZ).
- SCHWEIZ. METEOROLOGISCHE ZENTRALANSTALT (jährlich): Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den meteorologischen und Regenmess-Stationen in der Schweiz - Zürich (MZA).
- THIEM, A. (1870): Ueber die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher, Schachtbrunnen und Filtergalerien - Z. Gas und Wasserversorgung.
- WEA (1975): Hydrogeologie Emmental, Teil I: Oberes Emmental - Bern (WEA).
- WERNER, A., BASLER & HOFMANN (1975): Geohyd, ein Programmsystem zur Darstellung und Auswertung geohydrologischer Messdaten - Zürich (Fides).

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).
- MUCHENBERGER, F. (1973): Hydrologische Untersuchungen im Grundwassergebiet südl. von Burgdorf - Dok. WEA/Geologie.
- NIGGLI, C.R. (1972) : 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 Auftrage des kantonalen WEA Bern.
- RUTSCH, R.F. (1972): Grundwassererschliessung für die Wasserversorgung Walkringen; Ergebnisse der geophysikalischen Sondierungen - Dok. WEA/Geologie, Dok. Nr. UP 1167.2/5.
- TROEHLER, B. (1974): Geologische Untersuchung Grundwasserprospektion im Eichholz - WV Gemeinde Hasle-Rüegsau.
- 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. (1969): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung Tschamerii der Wasserversorgung Oberburg - WV Oberburg.
- WERNER, A. (1970): Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich Burgdorf für die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf - WV Burgdorf.
- WERNER, A. (1972): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Brunnengenossenschaft Hasle - WV Hasle.
- WERNER, A. (1972): Abklärung der Grundwasserverhältnisse südlich Burgdorf, Nachtrag Ziegelet - Ziegelmatte - WV Burgdorf.

- WERNER, A. (1973): Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Wasserversorgung Rüegsauchachen und Umgebung - WV Rüegsauchachen und Umgebung.
- WERNER, A. (1975): Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Oberburgschachen für die Wasserversorgung der Stadt Burgdorf - WV Burgdorf.
- WERNER, A. (1975): Hydrologische Untersuchungen zur Schutzzonenabklärung für die Grundwasserfassung der Butterzentrale Burgdorf - Butterzentrale Burgdorf.

Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental Teil II: Mittleres Emmental 1:25000

Blockbilder

L~1:25000 H~1:2500 10fach überhöht

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern

WEA/Geologie

Allgemeine Angaben

Fortlaufende Ordnungsnummer
innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems,
vgl. Register WEA/Geologie

Wichtiges offenes Gewässer

Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter
vom 20. 3. 74

Bohrung innerhalb des abgebildeten Blockes liegend

X Lage eines Blockbildes, vgl. topogr. Übersichtskarte 1:100 000 u. Beilage II.3

Lithologie

Silt-Ton Kies, rund/eckig
Sand Steine, Blöcke

Lithologische Grenze

Chronostratigraphische Zuordnung

Holocaen	Gehängeschutt	gs
	Talalluvionen	a
Pleistocaen	Würm	jüng. Würmschotter
		Stauschotter u. Stauletten
	Riss	Moräne
	Præ Riss	Schotter
Miocaen		m

Durchlässigkeitsbereiche

Durchlässigkeitsbeiwerte
(berücksichtigt worden sind neben Punkt- auch Profil- und Gebiets k-Werte)

-Gross $\geq 2 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-3}$ m/s

-Mittel $2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$ m/s

-Klein $2 \cdot 10^{-4} \leq 10^{-5}$ m/s

----- Grenze zwischen Durchlässigkeitsbereichen

Isohypsen der Geländeoberfläche

580 Isohypse, Aequidistanz 10 m mit Kote in m ü. M.

----- Zwischenkurve, Aequidistanz 5 m

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels vom 20. 3. 1974

(Spiegellage ungefähr einem mittleren Grundwasserstand der
Beobachtungsperiode Sept. 1968 bis Dez. 1974 entsprechend,
vgl. Beilage II.2)

540 Isohypse, Aequidistanz 1 m mit Kote in m ü. M., Pfeil=GW-Fließrichtung

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers (Molasse)

vgl. Beilage II.2

580 Isohypse, Aequidistanz 10 m mit Kote in m ü. M.

Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text

Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt

P. Eichwald, P. Kunz

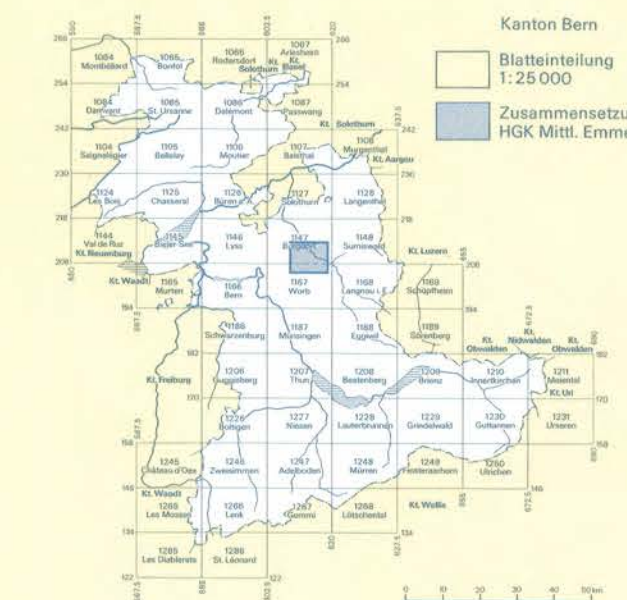
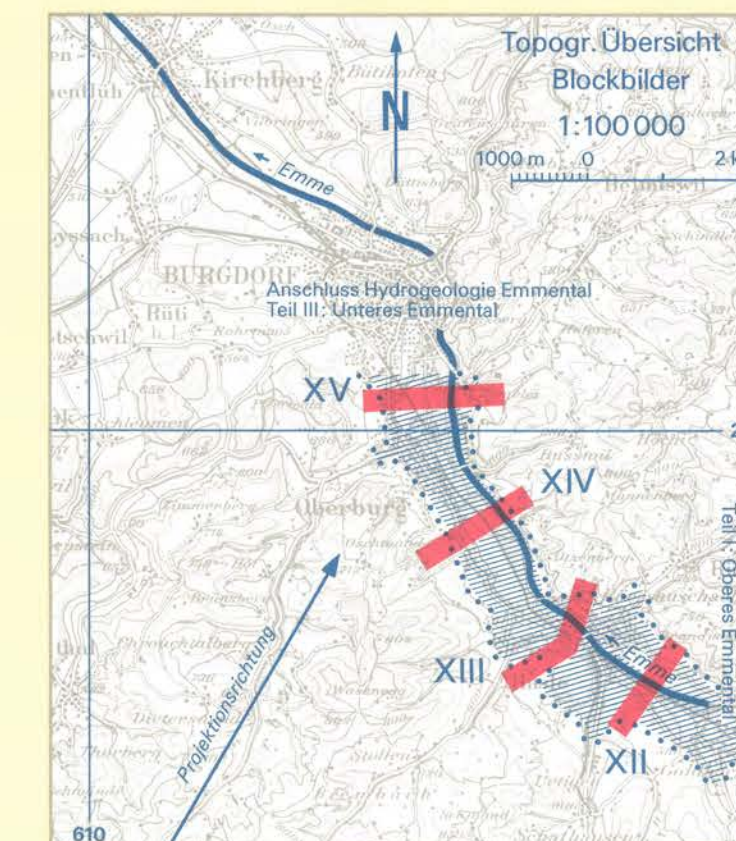
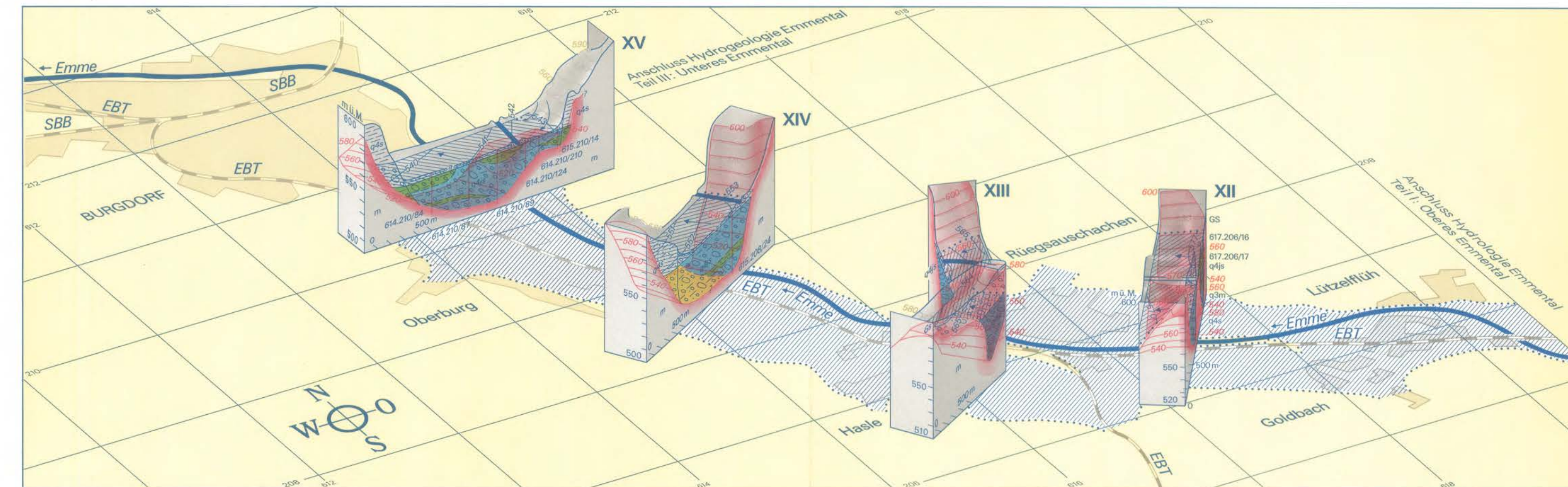
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern

Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern

Mitarbeit Kartographie
D. Hofstetter, Kartograph, Rossens

Reproduziert mit Bewilligung der
Eidg. Landestopographie v. 31.12.76

Jede Vervielfältigung u. Weiterverwendung
der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf
einer Bewilligung der VEWD.
Ausgabe 1976



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Grundlagen für die
siedlungswasserwirtschaftliche
Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental
Teil II: Mittleres Emmental 1:25 000

Isohypsen des Grundwasser-Spiegels
Isohypsen des Grundwasser-Stauers

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf
Hydrogeologie: petraqa, Münsingen/Bern
WEA/Geologie



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Allgemeine Angaben

- 20 Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² 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 Dez. 1974 entsprechen

- Grundwasser-Spiegel-Isohypsen
- Aequidistanz 1 m¹⁾
- 5 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.¹⁾
- Grundwasser-Fliessrichtung

- Grundwasser-Beobachtungsstellen²⁾
- Vertikalfilterbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen
- Schacht- oder Sodbrunnen
- Peilrohr
- Grundwasser-Schreibpegel
- Grundwasser-Spiegelhöhe vom 20. 3. 74 in m ab
nächst tieferer 1 m-Isohypse, z.B. 541.04
- Grundwasseraustritt in verteilter Form umfasst

Isohypsen des Emme-Spiegels vom 20.3.1974
Tagesmittel

- Emme-Spiegel-Isohypsen
- Aequidistanz 1 m
- 5 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.

- Oberflächenwasser-Beobachtungsstellen²⁾
- Wasserstands-Lattenpegel resp. Abstichpunkt;
Zahl= Spiegelhöhe vom 20. 3. 74 in m ü. M.
- Abfluss-Schreibpegel

Isohypsen der Oberfläche des Grundwasserstauers (Molasse)

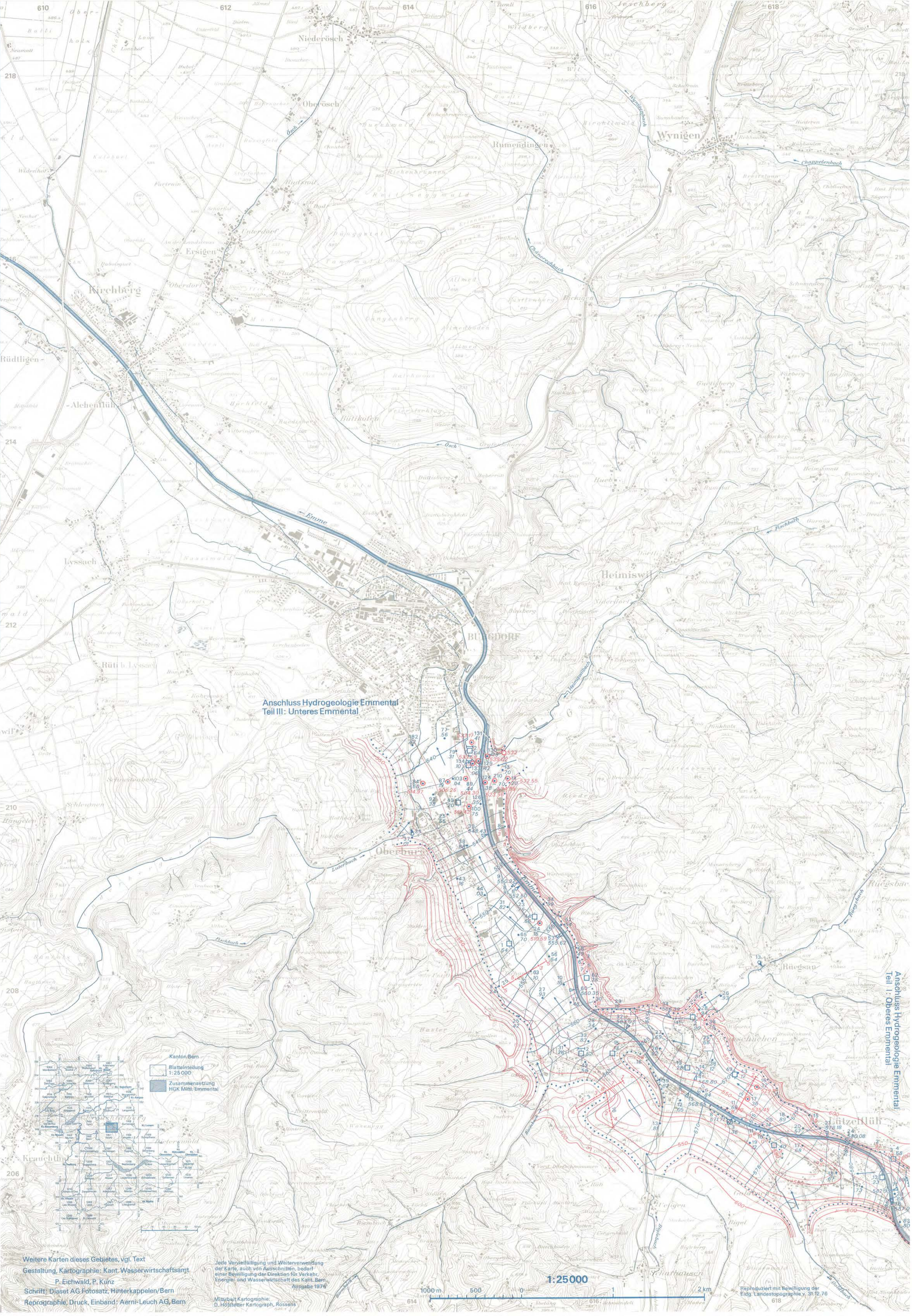
- Stauer-Isohypsen (Molasse)
- Aequidistanz 10 m¹⁾
- 50 m Zählkurve mit Kote in m ü. M.¹⁾

Sondierungen

- 504.30 Kern-Bohrung, Zahl= Kote der Grundwasserstauer-Oberfläche (Molasse) in m ü. M.
- Andere Sondierung
- Geophysikalisches Profil mit Sondierpunkten
- Höhe der Grundwasserstauer-Oberfläche ab nächst tieferer 10 m-Isohypse, z.B. 543

¹⁾ Bei den Isohypsendarstellungen ist darauf verzichtet worden,
einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden.
Die Anordnung der Beobachtungspunkte erlaubt dem Betrachter,
die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.

²⁾ Aus darstellerischen Gründen konnten nicht alle Messstellen
wiedergegeben werden.



Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt
P. Eichwald, P. Kunz
Schrift: Diasec AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung
der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf
einer Bewilligung der Direktion für Verkehr,
Energie und Wasserwirtschaft des Kant. Bern.
Ausgabe 1976
Mitgekauft Kartographie:
O. Hofstätter Kartograph, Rossens

1:25 000

1000 m 500 10 1 2 km

Reproduziert mit Bewilligung der
Eidg. Landestopographie v. 31.12.76

618

Grundlagen für die
siedlungswasserswirtschaftliche
Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental
Teil II: Mittleres Emmental 1:25 000

Mächtigkeit der Grundwasserleiter

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf
Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern
WEA/Geologie

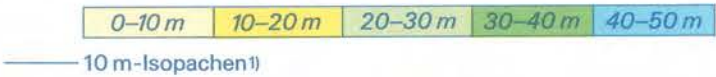
Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Allgemeine Angaben

- 1 Fortlaufende Ordnungsnummer von Sondierungen innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
Wichtiges offenes Gewässer
Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20. 3. 1974
Lage eines Blockbildes, vgl. Beilage II.1
Grundwasser-Spiegel vom 20. 3. 74, vgl. Beilage II.2

Stufen gleicher Mächtigkeit der Grundwasserleiter

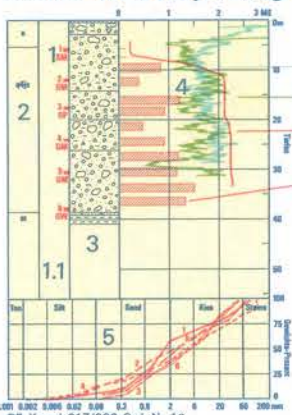
Abgeleitet aus der Differenz Grundwasser-Oberfläche vom 20. 3. 74 – Stauer-Oberfläche; vgl. Beilage II.2



Sondierungen

- 574.15 Bohrung, Zahlen: 574.15 Terrainhöhe in m ü. M.
533.15 Endtiefe in m ü. M.
Sohle des Grundwasserleiters erreicht
Geoelektrisches Profil

Sondier- und Analysendiagramm



1 Klassifikation der Lockergesteine nach USCS (Labormethode)

- G Kies als Hauptbestandteil
S Sand als Hauptbestandteil
M Silt als Haupt- oder Nebengemengteil
W Alle Korngrößen vertreten, keine davon vorherrschend
P Eine Korngröße oder Korngrössengruppe vorherrschend
L Fließgrenze niedrig

1.1 Bereich der Probe-Entnahmen. Zahl: vgl. Kornverteilungsanalyse

2 Chronostratigraphische Zuordnung

Holocaen	Gehängeschutt	gs
Pleistocaen	Talalluvionen	a
	Würm	jüng. Würmschotter
		Stauschotter u. Stauletten
	Riss	Moräne
	Præ Riss	Schotter
Miocæn		m

3 Lithologie

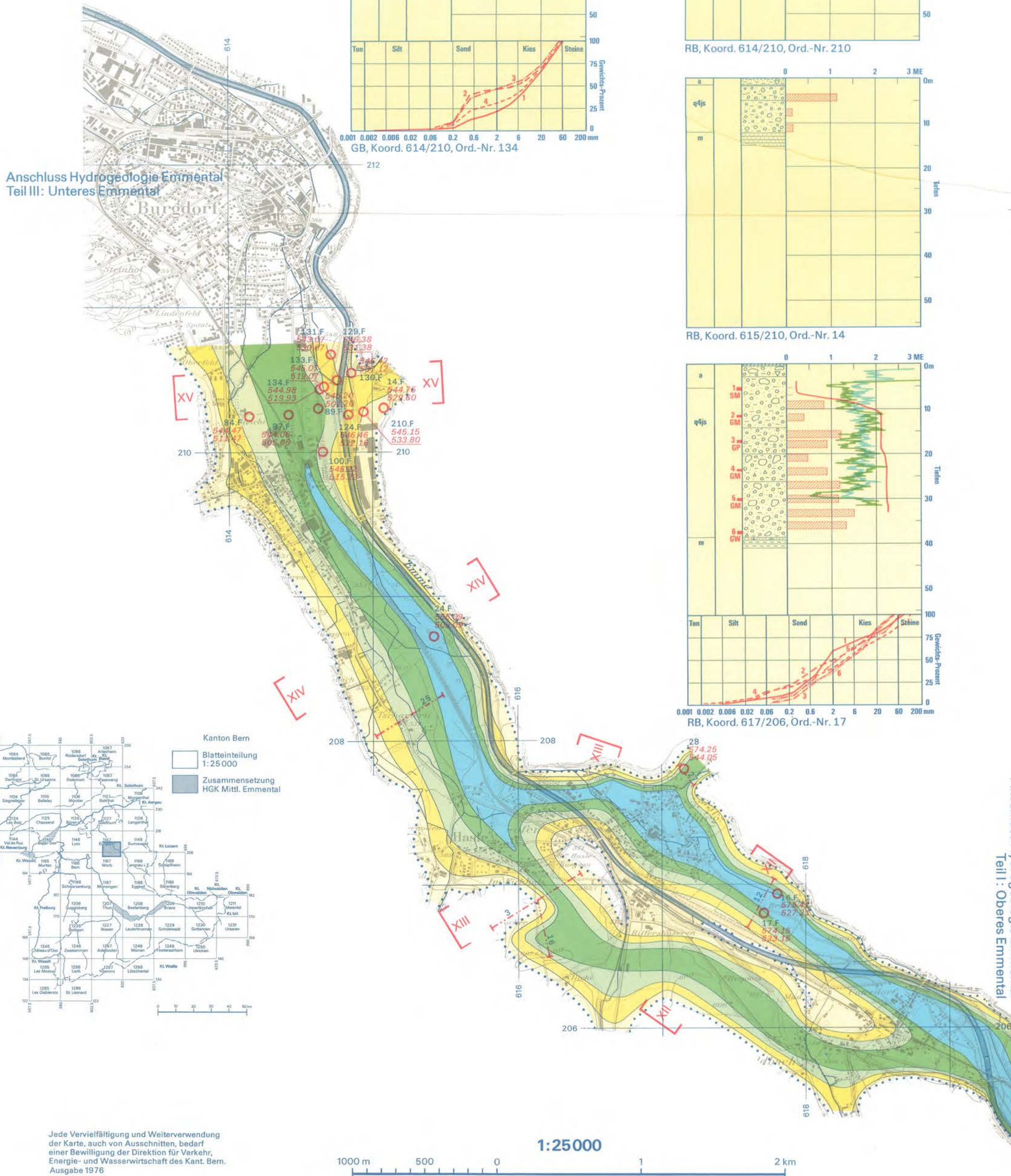
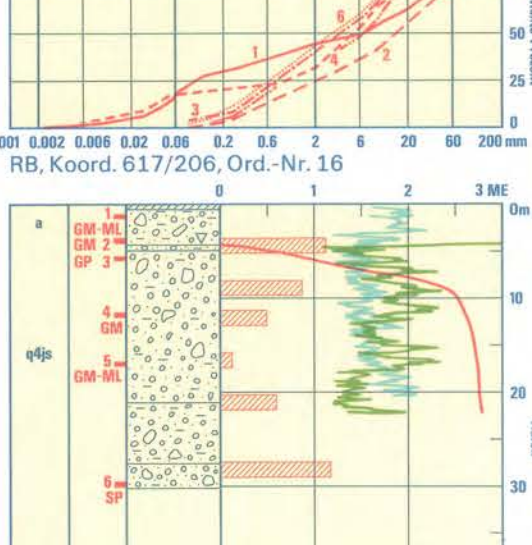
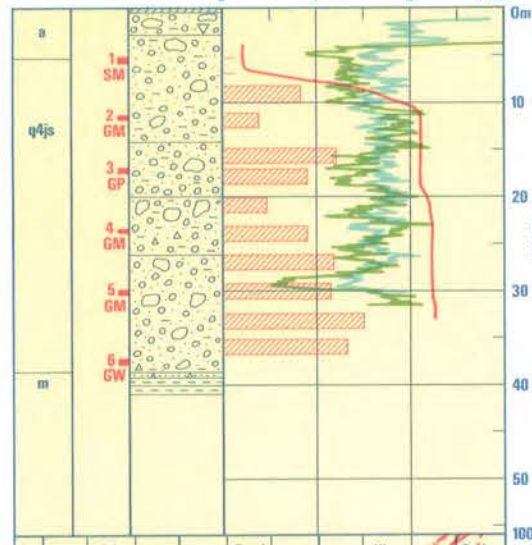
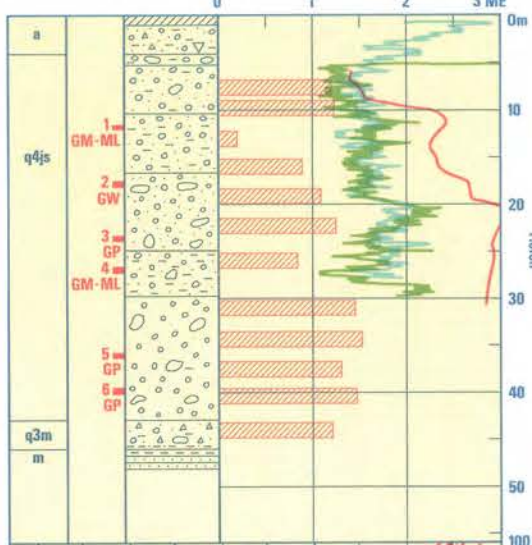
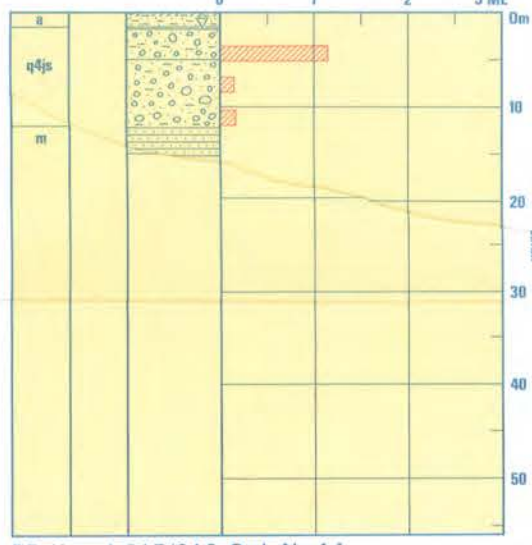
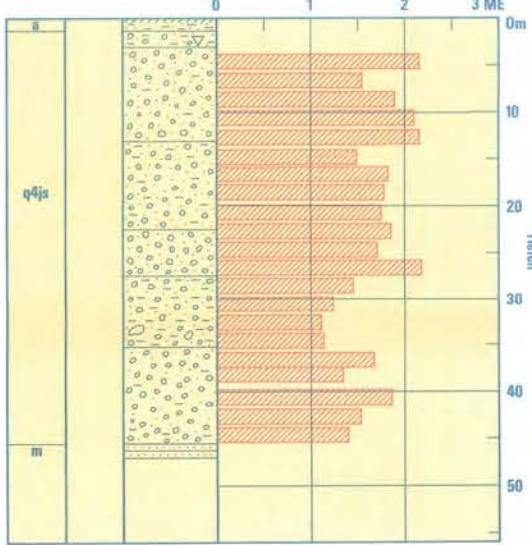
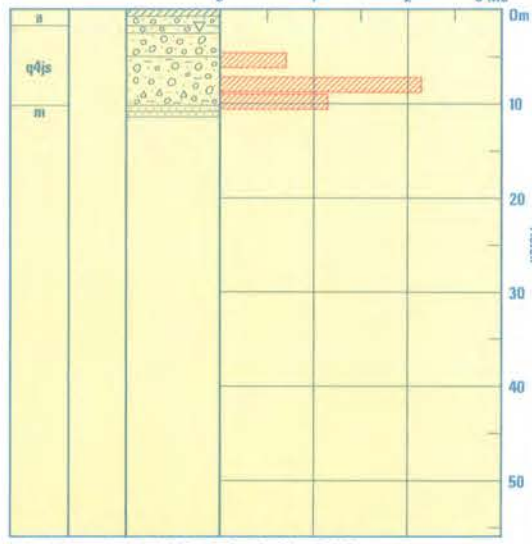
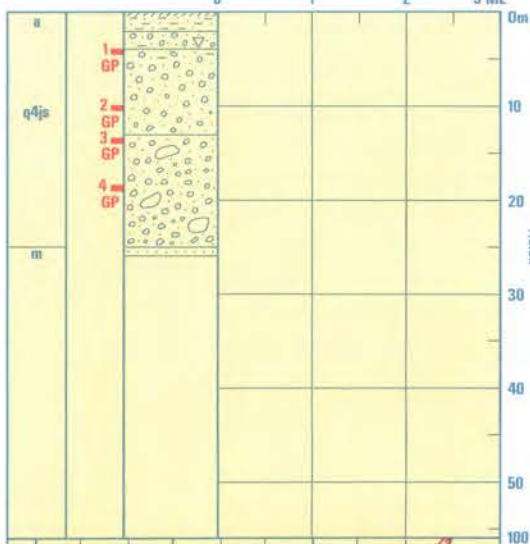
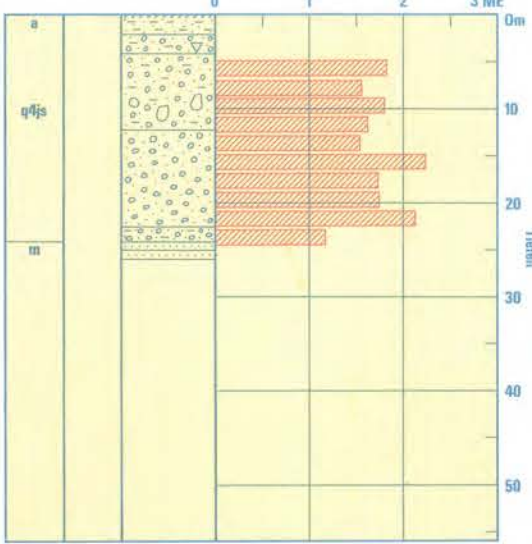
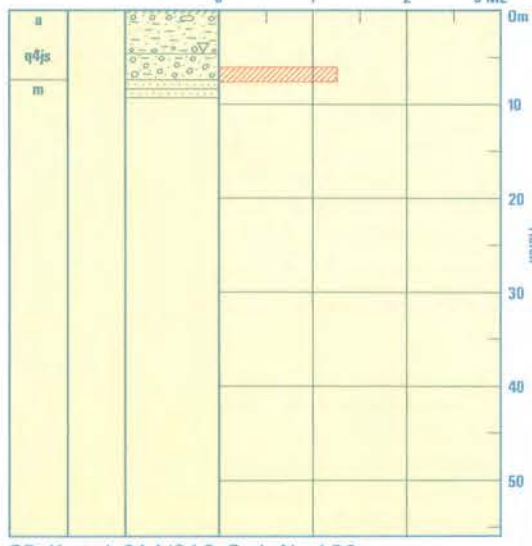
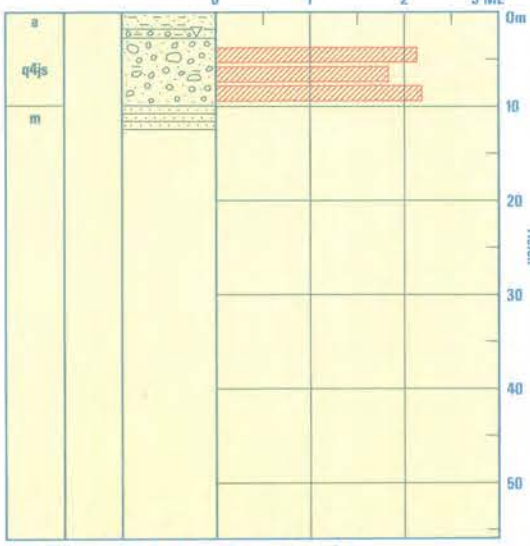
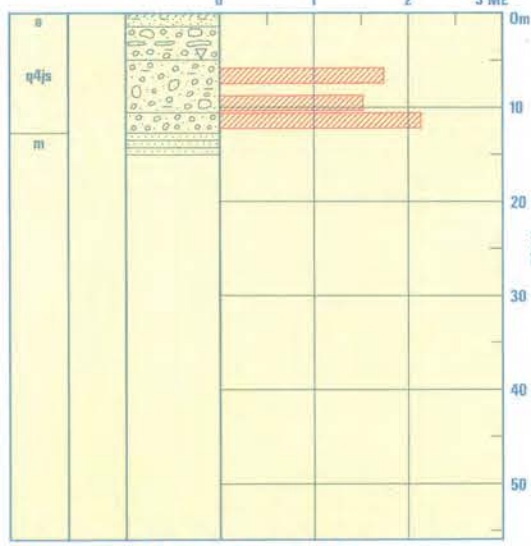
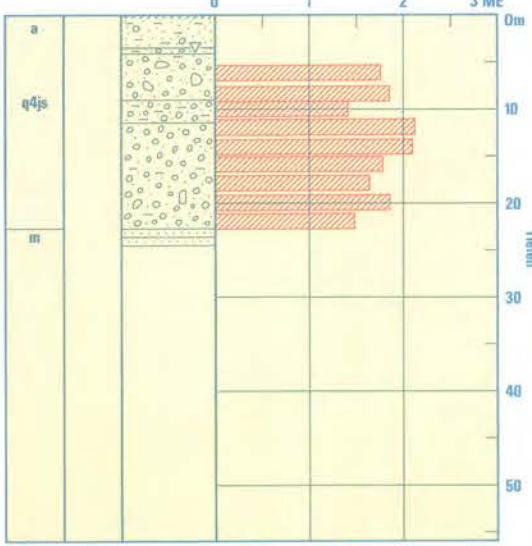
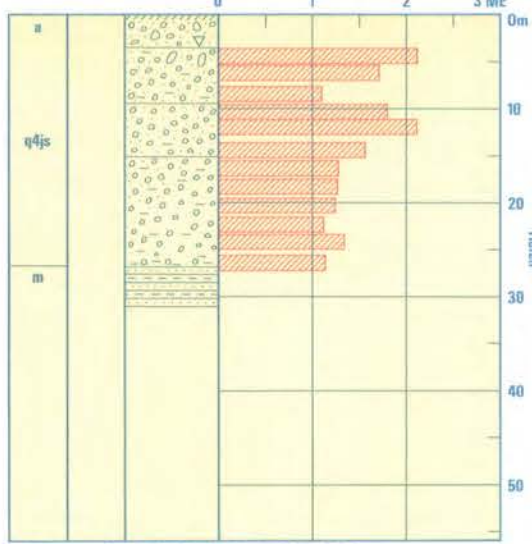
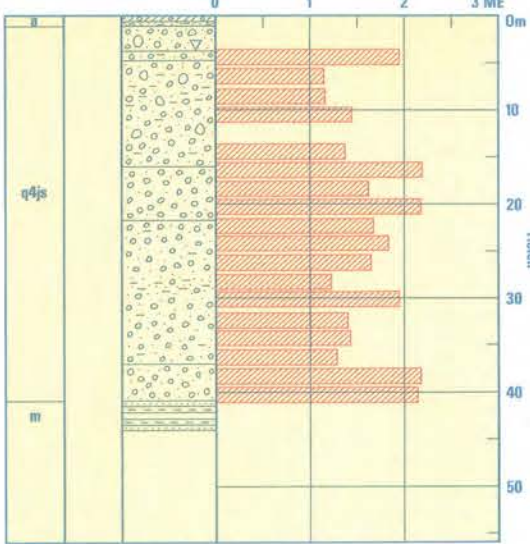
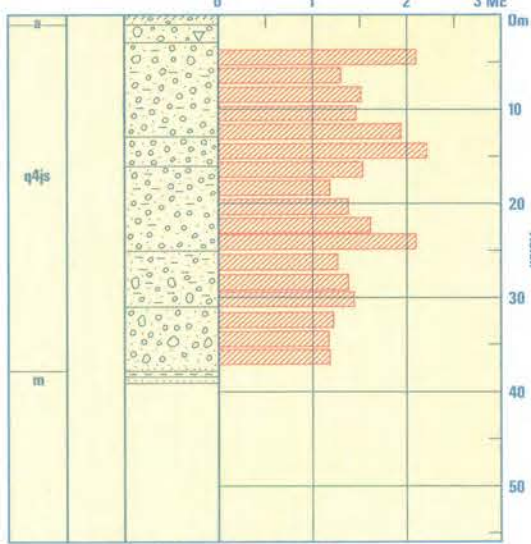
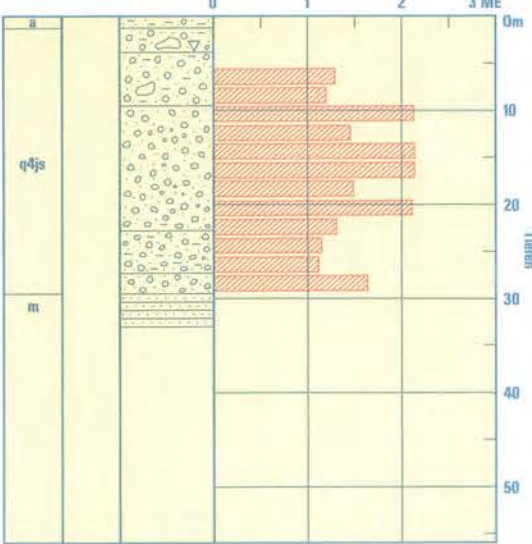


4 Bohrlochmessungen



5 Kornverteilungsanalysen

Zahl: vgl. Bereich der Probe-Entnahmen
¹⁾Bei den Isopachen ist darauf verzichtet worden, einen nachgewiesenen und vermutlichen Verlauf zu unterscheiden.
Die Anordnung der Sondierungen erlaubt dem Betrachter, die Zuverlässigkeit der Karte selbst einzuschätzen.



Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt
P. Eichwald, P. Kunz
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern

Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung
der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf
einer Bewilligung der Direktion für Verkehr,
Energie- und Wasserwirtschaft des Kant. Bern.
Ausgabe 1976

Mitarbeit Kartographie:
D. Hofstetter Kartograph, Rossens

Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental Teil II: Mittleres Emmental 1:25 000

Hydrochemie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqua, Münsingen/Bern

WEA/Geologie



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Allgemeine Angaben

Fortlaufende Ordnungsnummer der Probeentnahmestelle innerhalb eines km² des Landeskoordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie

Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20. 3. 1974

G Öffentliche Fassungsanlage

Entnahmestelle für –

– Grundwasser, Quellwasser

– Oberflächenwasser

B Bakteriologische Analyse **genügend**

b Bakteriologische Analyse **ungenügend**

Wasser-Aufbereitung schwierig,

vgl. Konzentrationsmaßstäbe

Hydrochemisch wirksame Faktoren

Wichtiges offenes Gewässer

▲▲▲ Künstliche Ablagerung, Kehricht

▲▲▲ Künstliche Ablagerung, Bauschutt

Abwasser Versickerung

Frühere Versickerung einer wassergefährdenden Flüssigkeit

Abwasser Einleitung in einen Vorfluter

Darstellung der Analyseergebnisse

(abgewandelt nach: F. Preul, 1958)

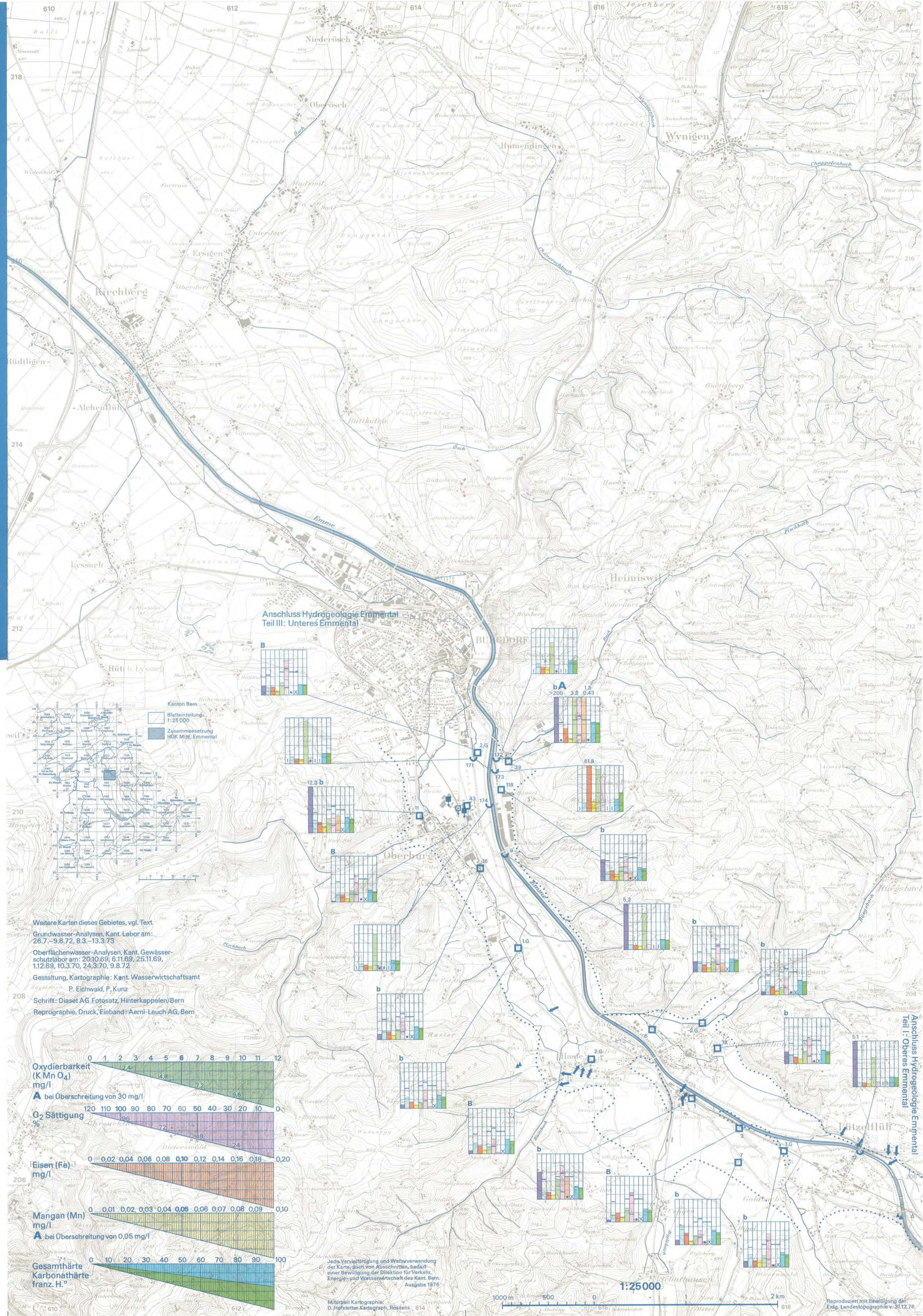
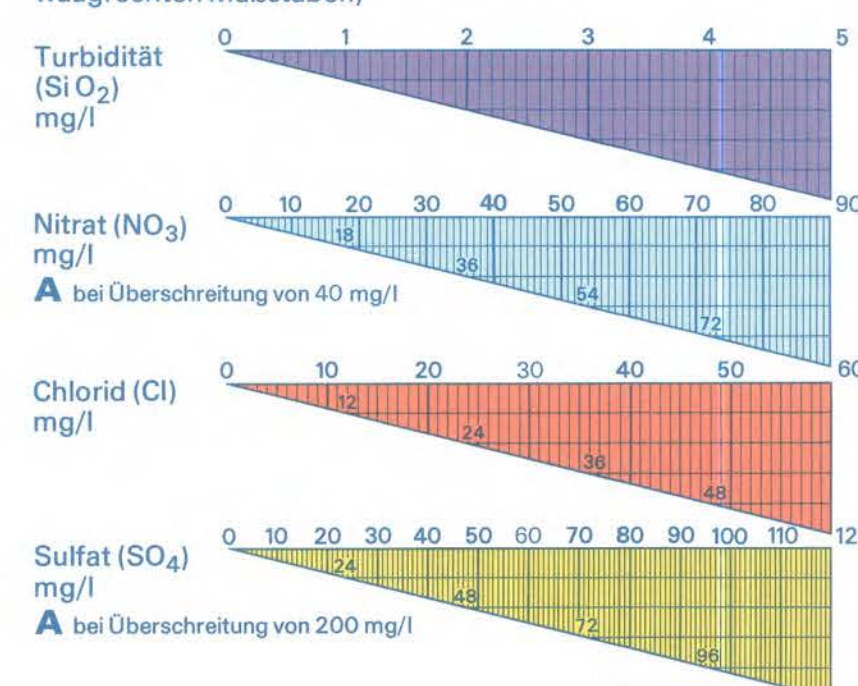
Die stark ausgezogene Linie (vgl. auch Konzentrationsmaßstäbe) bezeichnet die Richt- und Grenzwerte für Trinkwasser (für Cl und SO₄ liegen diese bei 200 mg/l), gemäss **Schweiz. Lebensmittelbuch** (1972)

Effektive Grösse der Komponente in franz. H., mg/l, %
Maximalwert farbig ausgefüllt
Minimalwert durch einen Strich begrenzt
Untersucht und in Spuren nachgewiesen
Untersucht und nicht nachgewiesen
Nicht untersucht

gilt für einen Teil oder alle Analysen

Konzentrationsmaßstäbe

(für das Ablesen der Säulenhöhe dienen die Lote auf den waagrechten Maßstäben)



Grundlagen für die siedlungswasserwirtschaftliche Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental Teil II: Mittleres Emmental 1:25 000

Hydrographie

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern

Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:

Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf

Hydrogeologie: petraqa, Münsingen/Bern

WEA/Geologie



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Situation

Allgemeine Angaben

14

Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² 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;

Wehr, Schwelle

Längen- und Querprofilaxen

Zahl = Oberflächengewässer-Kilometrierung

Anlage aufgelassen

Oberflächenwasser-Messungen, vgl. auch Ganglinie des Wasserspiegels

Abfluss-Schreibpegel

Zahl = Beobachtungsperiode

Einzelne Abflussmessungen

Grundwasser-Messungen und -Beobachtungen, vgl. auch Diagramme: Summe der Grundwasser-Spiegel-Anstiege; Ganglinien des Grundwasser-Spiegels

Vertikalfilterbrunnen

Horizontalfilterbrunnen

Schacht- oder Sodbunnen

Peilrohr

Bohrung

Quelle gefasst

Austritt in verteilter Form

Periodische Abstände während mindestens einem Jahr

Schreibpegel

Zahl = Beobachtungsperiode

Konzessionierte Entnahmestellen. Schüttungen in l/min

unbekannt

251– 1000

1001– 5000

5– 25

5001– 10000

26– 100

10001– 50000

101– 250

> 50000

Hydrographische Profile

Projektion

Abbildungsgesetz $\frac{L^*}{L} = \frac{l^*}{l}$ wobei $L^* = 1 \text{ km} \rightarrow l^* = \frac{1}{L} \cdot l \text{ (km)}$

Beispiel Koord 615/616 207/208 $l^* = \frac{1}{1,23} \cdot 0,85 = 0,69 \text{ km}$

Oberflächenwasser

Emme-Spiegel vom 20. 3. 74 (Tagesmittel)

Hochwasser vom 22. 9. 1968 (an Spuren festgestellt)

Eidg. hydrometrische Station Emme, Emmenmatt Koord. 623/200, Ord.-Nr. 25;

Abfluss von 3.00–5.00 h 430–470 m³/s,

max. Hochwasserspitze seit 1918 (vgl. I, 5)

Emme-Sohle, mittlere Höhe von

1900

1926/31

1969

Wehr, Schwelle

Zahl = Baujahr

Grundwasser

Grundwasser-Spiegel vom 20. 3. 74

in Längen- und Querprofilebenen

Vermuteter Schwankungsbereich

Grundwasser-Spiegel; – gemessen mit Schreibpegel

1 Summe der Grundwasser-Spiegel-Anstiege

Kalenderjahre 1971–1974

2 Hochstand

3 Stand vom 20. 3. 1974 (ungefähr Mittelstand)

4 Tiefstand

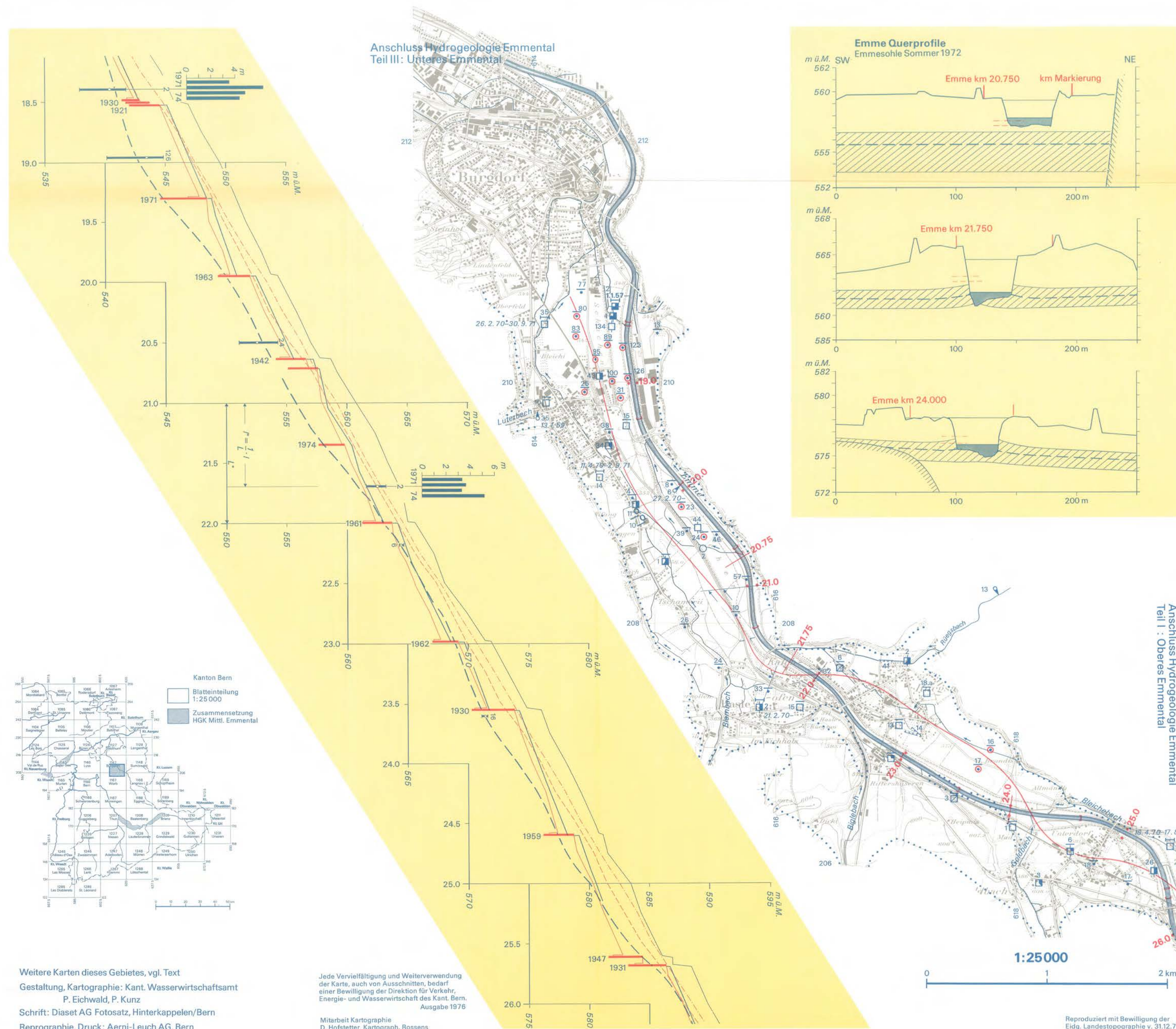
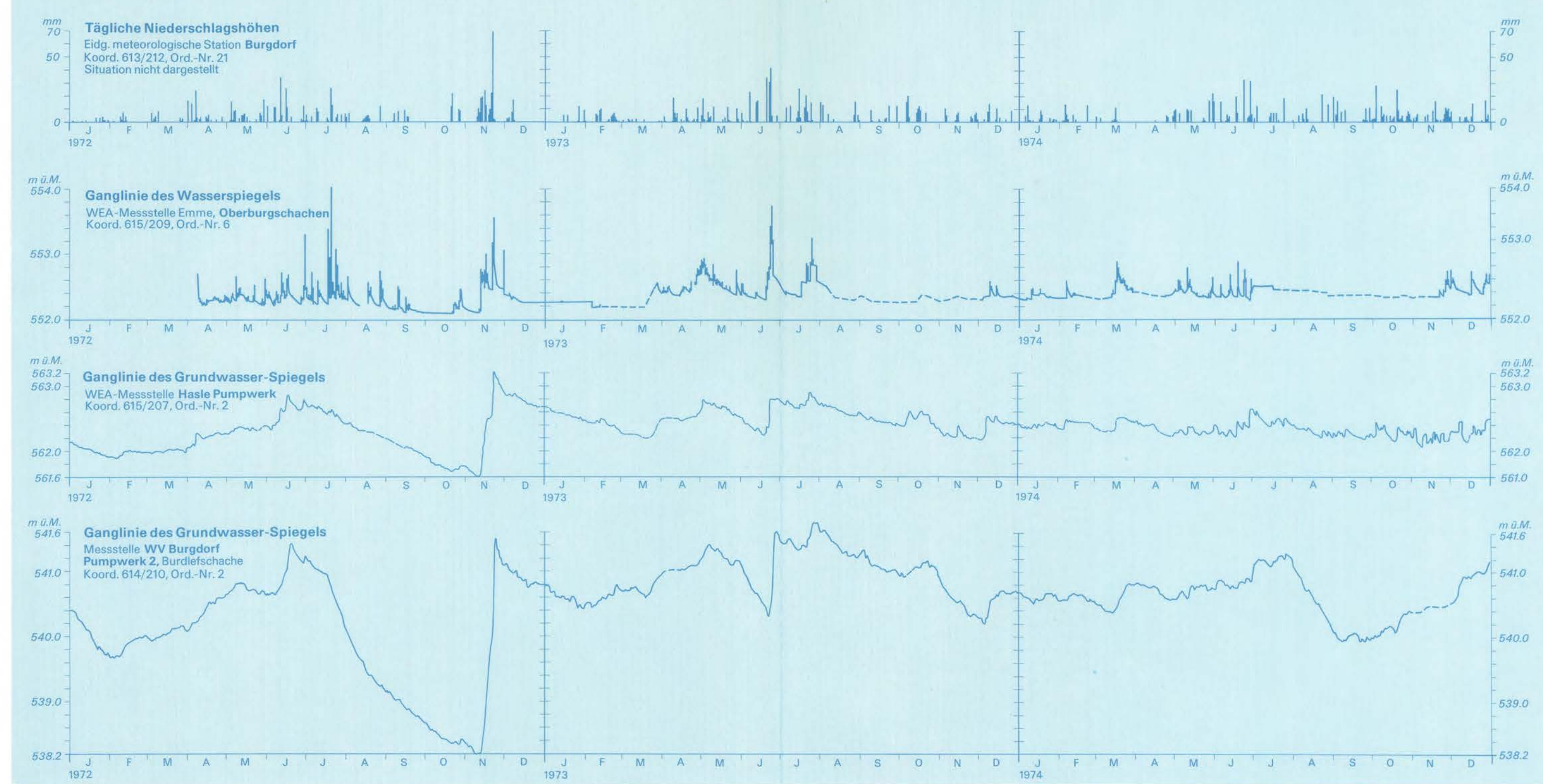
– gemessen mit periodischen Abstichen

5 Hochstand

6 Stand vom 20. 3. 1974 (ungefähr Mittelstand)

7 Tiefstand

8 Fortlaufende Ordnungsnummer



Grundlagen für die
siedlungswasserwirtschaftliche
Planung des Kantons Bern

Hydrogeologische Karte Emmental
Teil II: Mittleres Emmental 1:25 000

Bilanzierungs-Grundlagen

Leitung: Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
Bearbeitung: Grundwasser-Hydraulik:
Ingenieur- u. Studienbüro A. Werner, Burgdorf
Hydrogeologie: petraqa, Münsingen/Bern
WEA/Geologie



Wasser- u. Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern
(WEA)

Allgemeine Angaben



Fortlaufende Ordnungsnummer von Beobachtungsstellen innerhalb eines km² des Landeskordinatensystems, vgl. Register WEA/Geologie
Wichtiges offenes Gewässer
Seitliche Begrenzung der untersuchten Grundwasserleiter vom 20.3.1974
Vertikalfilterbrunnen
Horizontalfilterbrunnen
Grundwasser-Schreibpegel
Gemessener Wert
Geschätzter Wert
Interpretierter Wert

Grosspumpversuche in Vertikalfilterbrunnen

Datum des Versuchsbegins
H-Grundwassermächtigkeit z.Z. des Versuchsbegins in m
LV-Eintauchtiefe des 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 10⁻²m/s

Grundwasser-Beobachtungsstellen (Schreibpegel)

Maximaler Grundwasserspiegel-Anstieg 1972 in cm; vom 22.11., 6.00 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-Profil und Profilschnitte

In Profilmitte oder Profilschnittmitte
1 Hoch 24.11.72 Grundwasser-Spiegelstand in m ü. M.
3 Tief 10.11.72
2 Klein 24.11.72 Flurabstand in m
4 Gross 10.11.72

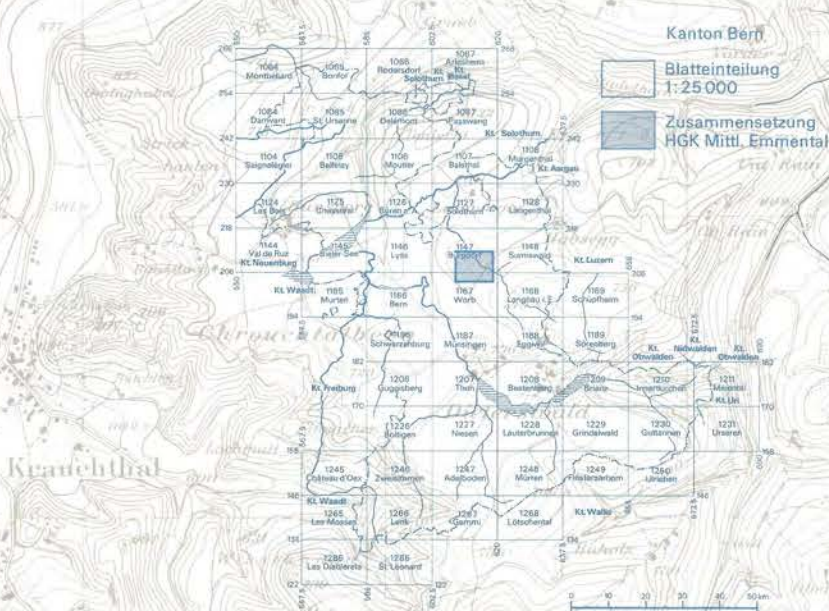
Für ganzes Profil oder für Profilschnitte

5 Durchflussfläche F in m² für einen mittleren Grundwasserstand 1972
6 Mittleres Grundwasser-Spiegelgefälle Jo in ‰
7 Durchlässigkeitsbeiwert kg in 10⁻²m/s
8 Mittlere theoretische Sickergeschwindigkeit vs in m/d, (vs=kg·Jo; p=17%)

B (△B) Breite des Grundwasserleiters, (resp. des Abschnittes)
Mitte des Profilschnittes
Profilnummer
Profilaxe
Profilschnitt
F-Fläche (F proportional Q)
q-Linie, q (△B)=Jo·kg·H (B)·△B
(H=mittl. Grundwasser-Mächtigkeit 1972)
Bezeichnung der Grundwasserleiter unter der Emme
Terrasse von Riffershüsaren/Eichholz
Mittlere Durchflussmenge Q in l/s 1972

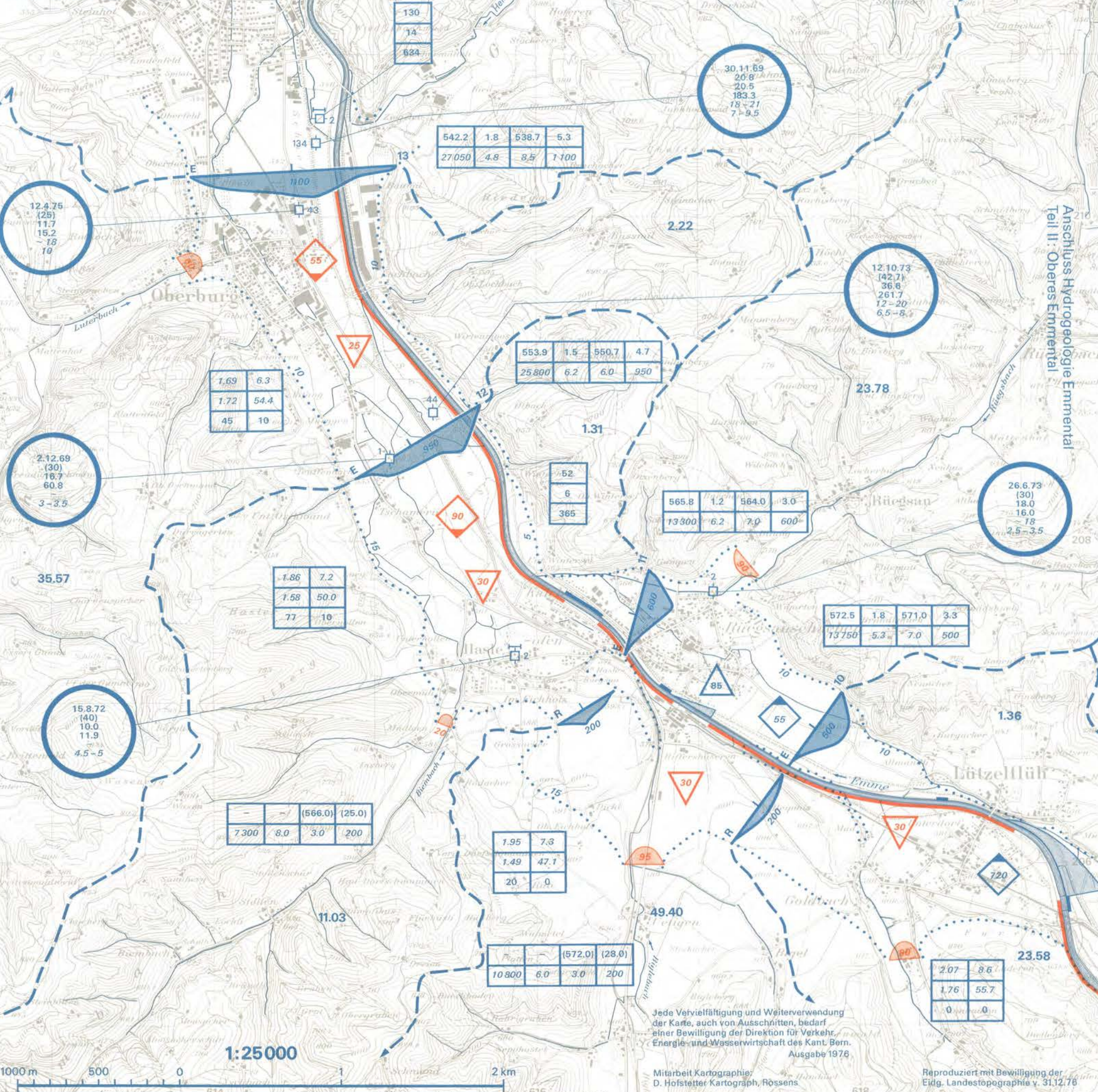
Bilanzierungs-Gebietsabschnitte

Grundwasser-Vorrat, -Nutzung
1 Grundwasser-Spiegelfläche in km² vom 20.3.74
2 Grundwasser-Volumen (p=17%) in 10⁶m³
3 Volumen des natürlichen Grundwasser-Zuwachses 1972 in 10⁶m³ (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
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 konzentriert, Zahl=Menge in l/s (Fläche proportional zur Infiltrationsmenge gemäss stationärer Bilanzierung)
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 km²



Weitere Karten dieses Gebietes, vgl. Text
Gestaltung, Kartographie: Kant. Wasserwirtschaftsamt
P. Eichwald, P. Kunz
Schrift: Diaset AG Fotosatz, Hinterkappelen/Bern
Reprographie, Druck, Einband: Aerni-Leuch AG, Bern

Anschluss Hydrogeologie Emmental
Teil III: Unteres Emmental



Jede Vervielfältigung und Weiterverwendung der Karte, auch von Ausschnitten, bedarf einer Bewilligung der Direktion für Verkehr, Energie- und Wasserwirtschaft des Kant. Bern, Ausgabe 1976

Mitarbeit Kartographie:
D. Hofmeier Kartograph, Rossens

Reproduziert mit Bewilligung der
Eidg. Landesvermessung, 31.12.78