

Hydrogeologisches Geländepraktikum

**Lehrstuhl für Hydrogeologie
Institut für Geologie
Technische Universität Bergakademie Freiberg**

Zubrnice, Tschechische Republik

08.08.2003 - 18.08.2003



Teilnehmende Studenten am Hydrogeologischen Geländepraktium 2003 Zubrnice

Gruppe 1: Juliane Becker, Andreas Berger, Stefan Heckel, Sandra Lehmann, Claudia Müller, Denise Roch

Gruppe 2: Beate Böhme, Esther Dietzel, Mareike Ermer, Thomas Kober, Holger Komischke

Gruppe 3: Cornelia Altenau, Michael Dilbat, Wondemagegnehu A. Gezahegne, Sandra Reinnicke, Monika Weckert

1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	1
2	Untersuchungsgebiet.....	2
2.1	Geologie.....	2
2.2	Hydrogeologie.....	4
2.3	Meteorologie.....	5
2.3.1	Klimatische Wasserbilanz.....	7
2.3.2	Grundwasserneubildung.....	9
3	Methodik.....	12
3.1	Vor-Ort-Parameter.....	12
3.1.1	Allgemeines.....	12
3.1.2	Temperatur.....	12
3.1.3	pH-Wert.....	12
3.1.4	Elektrische Leitfähigkeit.....	12
3.1.5	Sauerstoffgehalt /-sättigung.....	12
3.1.6	Redoxpotential.....	13
3.1.7	Gesamthärte/Carbonathärte.....	13
3.1.8	Säure- und Basenkapazität (m- und p-Wert).....	14
3.1.9	Organoleptische Parameter.....	15
3.1.10	Photometrische Bestimmung von Fe(II) und Fe(gesamt).....	15
3.1.11	Nitratschnelltest.....	15
3.1.12	Einmessung der Probenahmepunkte.....	15
3.1.13	Probenahme.....	15
3.2	Laboranalytik.....	15
3.2.1	Filtration.....	15
3.2.2	Photometrie.....	15
3.2.3	Ionenchromatographie.....	17
3.2.4	Titrimetrische Verfahren.....	17
3.2.4.1	Chlorid - Bestimmung (nach MOHR).....	17
3.2.4.2	Calcium- und Magnesium- Bestimmung.....	18
3.3	Durchflussmessung.....	19
3.3.1	Dreiecksmesswehr.....	19
3.3.2	Verdünnungsmethode.....	20
3.3.3	Flügelmessung.....	21
3.4	Pumpversuch.....	22

3.5	Bodenkundliche Untersuchungen	22
3.5.1	Doppelringinfiltrrometer	22
3.5.2	Bestimmung des mineralischen Stickstoffes.....	23
4	UNTERSUCHUNGSGEBIET I	25
4.1	Einleitung / Fragestellung	26
4.1.1	Lage.....	26
4.1.2	Geologie	27
4.1.3	Hydrogeologie / Hydrologie.....	27
4.1.4	Landnutzung.....	28
4.2	Hydrogeochemie	29
4.2.1	Probenahme.....	29
4.2.2	Vor-Ort-Analytik.....	29
4.2.3	Laboranalytik	29
4.2.4	Fehlerdiskussion:.....	34
4.3	Durchflussmessung	34
4.4	Pumpversuch	37
4.5	Bodenkundliche Untersuchungen	41
4.5.1	Infiltrrometer	41
4.6	Bestimmung mineralischer Stickstoff.....	43
4.7	Bodenerosionsmodellierung mit EROSION 2D	44
4.8	Chemische Modellierung	46
4.9	Ausweisung der Schutzzonen.....	47
4.9.1	Ausweisung der Trinkwasserschutzzone I	47
4.9.2	Ausweisung der Trinkwasserschutzzone II.....	48
4.9.3	Ausweisung der Trinkwasserschutzzone III	48
4.10	Diskussion	48
5	Untersuchungsgebiet II	50
5.1	Einleitung	51
5.2	Gebietsbeschreibung	51
5.2.1	Lage.....	51
5.2.2	Geologie	52
5.2.3	Hydrogeologie und Hydrologie.....	53
5.2.4	Landnutzung.....	54
5.3	Ergebnisse	54

5.3.1	Hydrogeochemie	54
5.3.1.1	Beschreibung der Probenahmepunkte	54
5.3.1.2	Vor-Ort-Parameter	59
5.3.2	Laboranalytik	63
5.3.3	Systematisierung der Wasserproben – Piper-Diagramme.....	65
5.3.3.1	Modellierung mit PhreeqC	71
5.3.3.2	Bewertung des Dorfbrunnens von Kninice zur Trinkwassernutzung	73
5.3.4	Durchflussmessungen.....	74
5.3.4.1	Verdünnungsmethode.....	74
5.3.4.2	Messwehr	76
5.3.4.3	Flügelmessung.....	77
5.3.4.4	Bewertung der Durchflussmessungen.....	81
5.3.5	Bodenkundliche Untersuchungen	81
5.3.5.1	Feinbodenart und Ortsbeschreibung.....	82
5.3.5.2	Infiltrometerversuche	83
5.3.5.3	N _{min} -Bestimmung	84
5.3.5.4	Bewertung der untersuchten Böden mit Hilfe der ermittelten Parameter	84
5.3.6	Pumpversuch	85
5.3.6.1	Ergebnisse	85
5.3.6.2	Diskussion des Pumpversuchss.....	89
5.3.7	Schutzgebietsausweisung.....	91
5.3.7.1	Bestimmung der Schutzzonen des Brunnens in der Aue des Lucni-Baches	91
5.3.7.2	Schutzzone III (weitere Schutzzone).....	92
5.3.7.3	Schutzzone II (engere Schutzzone).....	92
5.3.7.4	Schutzzone I (Fassungsbereich).....	92
5.3.7.5	Bestimmung der Entnahmebreite.....	93
5.3.7.6	Diskussion	95
5.4	Diskussion der Fragestellung	96
6	UNTERSUCHUNGSGEBIET III.....	98
6.1	Einleitung	99
6.2	Einzugsgebiet	99
6.2.1	Lage.....	99
6.2.2	Geologie	99
6.2.3	Hydrogeologie.....	100

6.2.4	Landnutzung	100
6.2.5	Trinkwasserversorgung	100
6.3	Analytik der Hydrogeochemie	101
6.3.1	Vor-Ort-Analytik.....	101
6.3.2	Laboranalytik	107
6.4	Bodenkundliche Untersuchung	116
6.4.1	Infiltrometerversuche	116
6.4.2	Mineralischer Stickstoff.....	117
6.5	Pumpversuch	118
6.6	Durchflussmessung	124
6.7	Grundwasserneubildung.....	125
6.8	Vorläufige Schlussfolgerungen.....	125
6.9	Zusammenfassung.....	126
7	ANHANG.....	128
7.1	Kartiergebiet I	128
7.1.1	Hydrogeochemie	128
7.1.1.1	Probenahme	128
7.1.1.2	Vor-Ort-Parameter	133
7.1.1.3	Laboranalytik	135
7.1.1.4	Durchflussmessung	137
7.1.1.5	Pumpversuch	145
7.1.1.6	Chemische Modellierung mit PHREEQC.....	148
7.2	Kartiergebiet II	156
7.2.1	Karten.....	156
7.2.2	Abbildungen.....	158
7.2.3	Tabellen.....	161
8	Literaturverzeichnis.....	196
9	Computerprogramme	199

1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

In der Zeit vom 08.08.-18.08.2003 wurde von Geoökologie- und Geologie-Studenten der TU Bergakademie Freiberg das Hydrogeologische Geländepraktikum in Zubrnice/CR durchgeführt. Der in die Elbe entwässernde Vorfluter Lucni und seine Nebenvorfluter charakterisieren das Untersuchungsgebiet im Landkreis Usti nad Labem und Litomerice (12 km²).

Ziel des Praktikums war es, das Gebiet hydrogeologisch, hydrologisch und hydrogeochemisch zu charakterisieren. Die folgenden Aufgaben sollten bearbeitet werden:

- Hydrogeologische Systemanalyse der Teileinzugsgebiete mit Untersuchung der einzelnen Vorfluter auf physiko-chemische Parameter
- Anwendung und Auswertung hydrologischer Methoden (Durchflussmessung)
- Erstellung verschiedener Kartenwerke der einzelnen Teileinzugsgebiete
- Pumpversuche
- Bodenuntersuchungen und Infiltrationsversuche
- Analytik der Wasserproben

Ergebnisse des Praktikums sind Messwerte, Analysenergebnisse sowie Bild- und Kartendokumente. Im vorliegenden Bericht werden diese Informationen beschrieben, diskutiert und interpretiert.

2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

2.1 Geologie

Das Böhmisches Mittelgebirge (České Středohoří) gehört zu dem Bereich Mitteleuropas, welcher durch germanotype Bruchschollentektonik gekennzeichnet ist und liegt im Grenzbereich dreier varistischer Deformationszonen.



Im varistisch beeinflussten Basement (einschließlich Unterkarbon) treten, bis auf einige Areale im Nordosten, Gesteine des Saxothuringikums auf. Der südöstliche Rand des Böhmisches Mittelgebirges wird durch die Litoměřice-Störung markiert, welche auch gleichzeitig das Saxothuringikum vom Teplá-Barrandium abgrenzt. Die NW-Grenze wird durch den

Erzgebirgsabbruch gebildet, welcher steil zum Egergraben hin abfällt. Noch innerhalb des Böhmisches Mittelgebirges, in dessen nordöstlicher Randzone, verläuft in W/NW-E/SE streichender Richtung (etwa entlang des Ploučínatales) die Grenze zwischen Saxothuringikum und Lugikum. Dieses Lineament wird als Mittelsächsische Überschiebung bezeichnet. Der SW-Rand des Böhmisches Mittelgebirges kann nicht so klar anhand tektonischer Elemente definiert werden. Er verläuft etwa entlang der Linie Bílina – Roudnice. Das Kartiergebiet rund um Zubrnice befindet sich im Zentralbereich des Böhmisches Mittelgebirges.

Die prävaristischen Einheiten sind heute lediglich in Erosionsfenstern aufgeschlossen. In allen anderen Arealen werden sie von kretazischen und känozoischen Sedimentiten und Magmatiten überlagert. Bei den in einer NE-gerichteten Subduktionszone hochmetamorphisierten Gesteinen, handelt es sich im Wesentlichen um Para- und Orthogneise und Migmatite. Teilweise wurden auch tiefkrustale Granulite exhumiert, in die (heute serpentinierte) Peridotite eingeschuppt sind. Diese Mantelgesteine sind die Träger der berühmten Böhmisches Granate. Syn- und postkinematisch erfolgten mehrere Intrusionen.

Nach Abschluss der orogenen Prozesse kam es im Oberkarbon zu einem postkinematischem sauren Vulkanismus, bei welchem Rhyolithmagmen und –tuffe gefördert wurden.

Von den grobklastischen Molasseschüttungen sowie diversen anderen fluviatilen und lakustrinen Sedimentiten, welche ursprünglich flächig verbreitet waren, sind rezent nur noch kleinere Denudationsreste vorhanden.

Während des Mesozoikums bis ins Alb war das Gebiet des heutigen Böhmisches Mittelgebirges Abtragungsgebiet. Im Cenoman wurde im Zuge des weltweiten Meeresspiegelanstieges auch das hier abgehandelte Gebiet überflutet. Die Transgression erreichte ihr Maximum im Coniac. In Abhängigkeit der Position zum Festland können zwei verschiedene Faziesbereiche ausgehalten werden. In proximaler Position wurden Klastite (Sandsteine) und in distalen Arealen hauptsächlich Karbonat-Ton-Gemische wechselnder Zusammensetzung sedimentiert. Die Regression vollzog sich ab dem Coniac bis zum Santon. Die in dieser Zeitspanne abgelagerten Klastite zeigen demzufolge im zunehmenden Maße Sturm- und Flachwasserfaziesmerkmale. Am Ende des Santon wurde ein mächtiger Sandsteinkörper sedimentiert, welcher rezent noch Mächtigkeiten bis ca. 150 m erreicht. Dieses Gestein ist im Untersuchungsgebiet nördlich und westlich von Zubrnice aufgeschlossen.

Ab der Oberkreide wurden die varistisch konsolidierten Gebiete Mitteleuropas im Zuge der Fernwirkung der alpidischen Orogenese unterschiedlichen Spannungszuständen unterworfen. Das Areal, in welchem sich das heutige Böhmisches Mittelgebirge befindet, unterlag einem extensivem Stressmilieu, und es bildeten sich unter anderem die bereits oben erwähnten Störungszonen. Im weiteren Fortschreiten der Dehnungsprozesse kam es zur Ausbildung des Egertalgrabens und Heraushebung des Erzgebirges. Als Folge dieser Tektonik kam es im Tertiär zu einem intensivem, störungsgebundenem basischen Vulkanismus. In dessen Frühphase können vor allem explosive Ausbrüche (Maare) nachgewiesen werden. Im weiteren Verlauf kam es zur Ausbildung eines reichhaltigen vulkanischen Gesteins- und Formenschatzes. Von diesen sind im Untersuchungsgebiet vor allem olivinführende Alkalibasalte, Tephrite und Pyroklastite aufgeschlossen. Oft sind sie aufgrund ihrer Verwitterungsresistenz in Hochlagen anzutreffen bzw. bilden die Kuppen der Berge.

In Gebieten, in welchen kein Vulkanismus auftrat, lagerten sich Braunkohlen und Beckensedimente ab. Diese greifen jedoch nur randlich ins Böhmisches Mittelgebirge über.

Durch die quartären Klimaschwankungen verursacht, wurden Flussterrassen, Löß und Lößlehme sowie Solifluktiionsdecken mit grobem Frostverwitterungsschutt abgelagert. Letztere finden sich im Untersuchungsgebiet vor allem an den Hanglagen und im Ober- und Mittellauf der Lucni-Zuflüsse. Deren Talbereich im Unterlauf, sowie der Auenbereich des Lucni selber, sind gekennzeichnet durch holozäne Auelehme.

Auch die heutige Geomorphologie wurde im Quartär geschaffen. So schnitt sich die Elbe ca. 100 m tief ein und durch die Zuflüsse entstand die heute beobachtbare Mittelgebirgslandschaft.

2.2 Hydrogeologie

Die geologischen Verhältnisse im Böhmischem Mittelgebirge bieten nur begrenzte Möglichkeiten der Wasserversorgung. Zum einen weisen die Vulkanite nur geringe Grundwasservorräte auf, zum anderen können auch die randlich übergreifenden tertiären Sedimente des Braunkohlebeckens auf Grund ihrer schlechten Wasserqualität kaum genutzt werden. Lediglich die kretazischen Sandsteine und die quartären, fluviatilen Klastika des Elbetales können wasserwirtschaftlich genutzt werden.

Tabelle 2-1 gibt eine Übersicht über die im weiteren Umfeld des Kartiergebietes und im Kartiergebiet selbst vorhandenen hydrogeologischen Einheiten. Die Datengrundlage dafür bildet die „Hydrogeologická Mapa ČR, Blatt 02-41 Ústí nad Labem“.

Tabelle 2-1: Hydrogeologische Einheiten

Stratigraphie	Lithologie	Hydraulischer Charakter	Transmisivitäten [m ² /s]	Verbreitung auf Blatt 02-41
Quartär	fluviatile Klastika	Lockergestein Poren-GWL	$7,8 \cdot 10^{-5} - 1,9 \cdot 10^{-3}$	Elbtal
Tertiär	Vulkanite	Festgestein Kluft-GWL	$7,5 \cdot 10^{-6} - 7,8 \cdot 10^{-5}$	östl. und nördl. der Elbe flächig, im Rest des Gebietes Hochlagen und Bergkuppen
Tertiär	Tuffite	Festgestein, regionaler Stauer	$6,7 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-4}$	südl. und östl. der Elbe flächig (außer SE-Ecke)
Coniac, Santon	Sandsteine	Festgestein double porosity-GWL	es können drei Areale mit unterschiedlichen Wertebereichen ausgehalten werden, Gesamtstreuung: $4,1 \cdot 10^{-5} - 2,1 \cdot 10^{-4}$	flächendeckend
Kreide	k.A.	lokaler Stauer	k.A.	flächendeckend
Oberes Turon bis Unteres Coniac	Tonmergel	Festgestein, regionaler Stauer	$8,7 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$	S und SE
	Sandstein	Festgestein, double porosity-GWL	$2,3 \cdot 10^{-5} - 3,1 \cdot 10^{-4}$	nördlich von Velké Březno
Oberes und Mittleres Turon	Sandstein	Festgestein, double porosity-GWL	$1 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-3}$	
unteres Turon	Mergel, Tonmergel, Kalkmergel	Festgestein, double porosity-GWL	$7,1 \cdot 10^{-5} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	S und Zentralteil
Cenamón	Sandstein	Festgestein double porosity-GWL	k.A.	flächendeckend

2.3 Meteorologie

Grundlage der meteorologischen Gebietsbeschreibung sind die Daten der Klimamessstationen in Ústek - Habrina und Ústí nad Labem - Kockov (375 m n. m.). Die Stationen liegen in ca. 25 km bzw. 15 km Entfernung von Zubrnice. Wesentliches Augenmerk bei der Datenauswertung wird auf die klimatische Wasserbilanz und die Grundwasserneubildung gelegt. Da von den Vorgängergruppen während der Jahre 1998, 2001 und 2002 bereits diese Fragestellungen bearbeitet wurden, erfolgt an dieser Stelle nur eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. Die Rohdaten sind in den genannten Berichten nachzulesen.

Die Auswertung der während des Praktikums durchgeführten Abflussmessungen erfolgt an anderer Stelle. Dabei wird auf dieses Kapitel verwiesen.

Es lagen sowohl Messwerte der Reihen 1990-1997, 1987-1997 sowie die täglichen Augustwerte des Zeitraumes 1990-1997 vor, wobei die Niederschlagsmengen von der Station Ústek stammen, die Angaben zur relativen Luftfeuchte und zur mittleren täglichen Lufttemperatur von der Station Ústí nad Labem. Bei den langjährigen Berechnungen wurde die Zeitreihe von 1987-1997 verwendet.

In der folgenden Tabelle 2-2 sind für die Station Ústek die langjährigen Mittelwerte der monatlichen Niederschlagssummen P sowie die mit dem Faktor 1,1 korrigierten Werte P_{korr} aufgeführt.

Tabelle 2-2: Monatliche Niederschlagssummen P gemittelt über den Zeitraum 1987-1997, Station Ústek, CR

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ
P [mm]	32.6	38.4	41.7	37.5	47.5	62.3	67.3	73.5	48.1	32.8	52.5	59.1	593.4
P_{korr} [mm]	35.9	42.3	45.9	41.2	52.3	68.6	74.1	80.9	52.9	36.1	57.7	65.0	652.8

Die mittlere jährliche korrigierte Niederschlagssumme beträgt 653 mm/a. Im Sommerhalbjahr (Mai-Oktober) fallen im Durchschnitt 364.8 mm, im Winterhalbjahr (November-April) durchschnittlich 288 mm. Der August ist mit rund 81 mm im Mittel der Monat mit der höchsten Niederschlagsmenge.

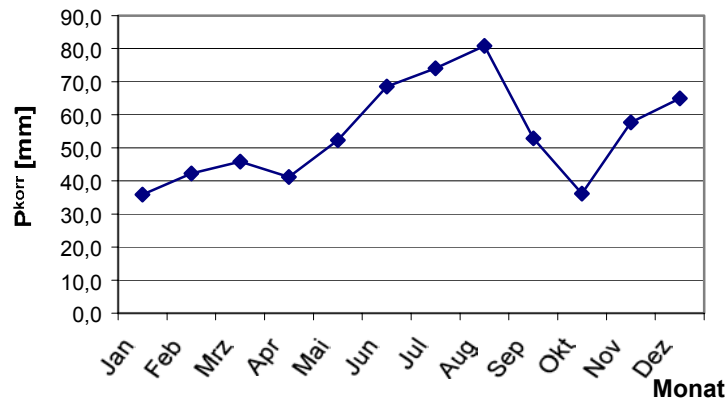


Abbildung 2-1: Verlauf der monatlichen Niederschlagssummen P_{korr} gemittelt über den Zeitraum 1987-1997, Station Ústek, CR

Der kälteste Monat ist der Januar mit $-1,1^{\circ}\text{C}$, der wärmste Monat der Juli mit durchschnittlich $18,3^{\circ}\text{C}$. Das Jahresmittel der Lufttemperatur T beträgt $8,4^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 2-3, Abbildung 2-2). Die relative Luftfeuchtigkeit $r.F.$ ist im langjährigen Mittel im Mai am kleinsten ($65,5\%$) und im November/Dezember am größten ($85,5\%$). Im Jahresmittel liegt die relative Luftfeuchtigkeit bei $74,8\%$.

Tabelle 2-3: Mittlere monatliche Lufttemperatur T und mittlere monatliche Luftfeuchte $r.F.$ gemittelt über den Zeitraum 1987-1997, Station Ústí nad Labem, CR

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	MW
T [$^{\circ}\text{C}$]	-1.1	0.3	3.6	8.2	13.0	15.7	18.3	18.1	13.3	8.5	2.7	-0.1	8.4
$r.F.$ [%]	83.1	80.3	74.4	66.5	65.5	69.8	67.4	67.3	74.9	78.0	85.5	85.5	74.8

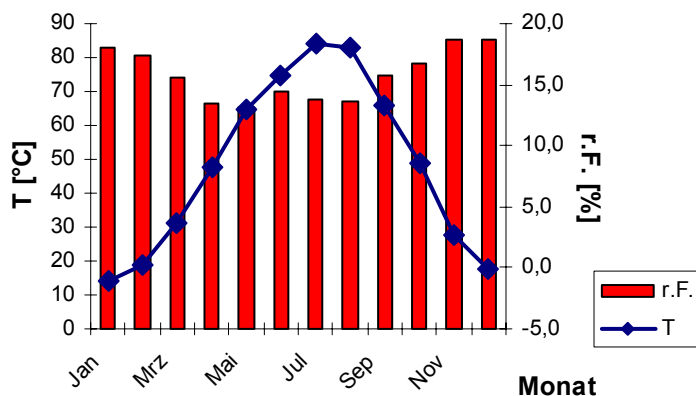


Abbildung 2-2: Verlauf der mittleren monatlichen Temperatur und der mittleren monatlichen Luftfeuchte über den Zeitraum 1987-1997, Station Ústí nad Labem, CR

2.3.1 Klimatische Wasserbilanz

Für den Messzeitraum 1987-1997 wurden die mittleren monatlichen Werte des korrigierten Niederschlages P_{kor} und der mittleren monatlichen potentiellen Verdunstung ETP gegenüber gestellt. Auf die gleiche Weise wurde mit den täglichen Werten für den Monat August im Zeitraum von 1990-1997 verfahren.

Die Berechnung der potentiellen Verdunstung ETP erfolgte nach der HAUDE-Formel für diejenigen Monate mit einer mittleren Lufttemperatur über 0°C und nach der IVANOV-Formel für mittlere Monatstemperaturen unter 0°C (DUNGER, 2000). Diese Werte gelten zunächst für Grasvegetation und ebene Flächen. Für andere Vegetationsarten und Hangflächen wäre ein Abgleich notwendig. Wie aus Abbildung 2-3 zu entnehmen ist, fallen in der Region Ústek ca. 650 mm Niederschlag pro Jahr. Davon verdunsten ca. 320 mm (50%). Der Quotient aus der Jahressumme des korrigierten Niederschlages und der Summe der potentiellen Verdunstung ist ein Maß für die Humidität bzw. Aridität. Bei Werten größer 0,5 spricht man von humiden Klima. Im Untersuchungsgebiet liegt er bei 2.

Im langjährigen Mittel gibt es keine Zehrmonate, in denen die potentielle Verdunstung ETP den Niederschlag P überschreitet (Abbildung 2-3). Die kleinste Differenz zwischen diesen zwei Wasserhaushaltsgrößen wird im Mai mit 5,9 mm/Monat erreicht.

Betrachtet man das Mittel der Tageswerte der klimatischen Wasserbilanz im Monat August (Abbildung 2-4) so ist zu erkennen, dass auf dieser Datengrundlage der August eine Zehrmonat ist. Dies war aus der langjährigen Reihe 1987-1997 nicht zu erkennen.

Tabelle 2-4: Berechnung der klimatischen Wasserbilanz, kursiv ETP [mm/d] sind nach IVANOV berechnet, ansonsten Anwendung der HAUDE-Formel

Monat	f [mm/hPa*d]	T [°C]	P _{kor} [mm]	r.F. [%]	e _s [hPa]	ETP [mm/d]	ETP [mm/mon]	P _{kor} [mm/mon]	P-ETP [mm/mon]
Jan	0,22	-1,1	35,9	83		0,35	10,8	35,9	25,1
Feb	0,22	0,3	42,3	80	6,24	0,27	7,6	42,3	34,7
Mrz	0,22	3,6	45,9	74	7,89	0,45	13,8	45,9	32,1
Apr	0,29	8,2	41,2	66	10,85	1,07	31,7	41,2	9,5
Mai	0,29	13,0	52,3	66	14,99	1,48	46,4	52,3	5,9
Jun	0,28	15,7	68,6	70	17,79	1,49	45,1	68,6	23,5
Jul	0,26	18,3	74,1	67	20,96	1,80	55,1	74,1	18,9
Aug	0,25	18,1	80,9	67	20,67	1,71	52,4	80,9	28,4
Sep	0,23	13,3	52,9	75	15,22	0,88	26,4	52,9	26,5
Okt	0,22	8,5	36,1	78	11,07	0,54	16,6	36,1	19,5
Nov	0,22	2,7	57,7	85	7,43	0,25	7,1	57,7	50,6
Dez	0,22	-0,1	65,0	86		0,31	10,0	65,0	55,0
Summe							323,0	652,8	

f = Monatsfaktor [mm/hPa*d]

e_s = Sättigungsdampfdruck [hPa] der Luft um 14.00 Uhr

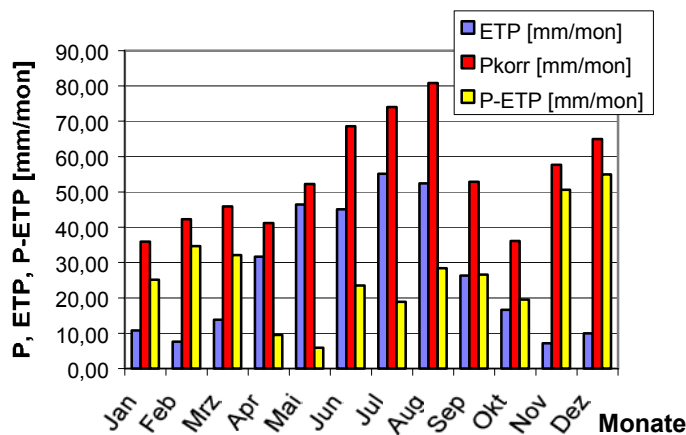


Abbildung 2-3: Klimatische Wasserbilanz, Messreihe 1987-1997

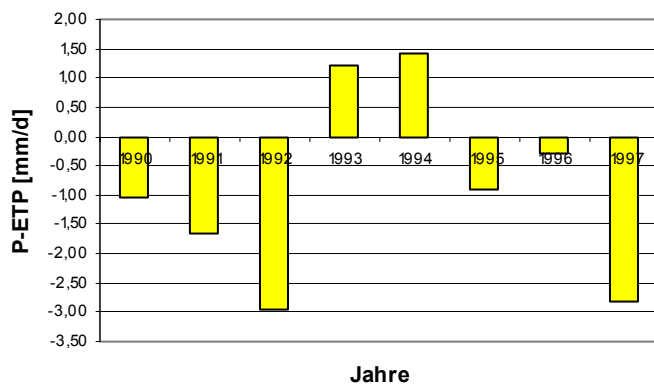


Abbildung 2-4: Klimatische Wasserbilanz, Messreihe 1990-1997, Grundlage Tageswerte August

2.3.2 Grundwasserneubildung

Die Bestimmung der Grundwasserneubildung GWN erfolgte mit Hilfe der Wasserhaushaltsgleichung:

$$GWN = P - ETR - RO - RH - \Delta S \quad \text{Gleichung 2-1}$$

GWN = Grundwasserneubildung

ETR = reale Verdunstung

RO = Oberflächenabfluss

RH = unterirdischer Abfluss

ΔS = Speicheränderung

Die Speicheränderung ΔS wird vernachlässigt. Für den Oberflächenabfluss stehen keine Messwerte zur Verfügung, so dass der zur Bestimmung der GWN notwendige oberirdische Abfluss nach dem Abflussbeiwert berechnet wurde. Dabei gehen die verschiedenen Landnutzungen und deren Flächenanteile im Untersuchungsgebiet ein. Sie wurden aus den georeferenzierten Karten in TNT mips ermittelt.

$$RO = \psi * (P - V_a) \quad \text{Gleichung 2-2}$$

Ψ = Abflussbeiwert

V_a = Anfangsverlust [mm]

Der Anfangsverlust wird für die langjährige Berechnung vernachlässigt. Die flächengewichtete Berechnung des jeweiligen Abflussbeiwertes kann nach folgender Gleichung vorgenommen werden:

$$\Psi_m = (\sum A_i * \Psi_i) / A_{ges} \quad \text{Gleichung 2-3}$$

Ψ_m = mittlerer Abflussbeiwert

A_i = Teilfläche i [km²]

Ψ_i = Abflussbeiwert entsprechend der Nutzung der Teilfläche i

A_{ges} = Gesamtfläche [km²]

Die reale Verdunstung wird über die TURC-Formel abgeschätzt. Dabei werden keine Boden- und Nutzungsparameter berücksichtigt. Deshalb sind die in Tabelle 2-5 aufgeführten Werte lediglich eine Abschätzung.

$$ETR_{Turc} = P / [0,9 + (P/I_T)^2]^{0,5} \quad \text{Gleichung 2-4}$$

ETR_{Turc} = Jahreswert der realen Verdunstung nach TURC [mm/a]

P = Jahressumme des unkorrigierten Niederschlages [mm/a]

T = Jahresmittel der Lufttemperatur [°C]

$I_T = 300 + 25 * T + 0,05 * T^3$

Tabelle 2-5: Abschätzung der langjährigen mittleren realen Verdunstung

P [mm/a]	T [°C]	I_T	ETR_{Turc} [mm/a]
593,4	8,4	539,6	408,6

Der weitere Rechengang ist in DUNGER (2000) nachzulesen.

Tabelle 2-6: Rechenweg zur Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung in den drei Untersuchungsgebieten

Flächennutzung	Ψ	Flächenanteil [km ²]/Gesamtfläche [km ²] Gebiet 1	Flächenanteil [km ²]/Gesamtfläche [km ²] Gebiet 2	Flächenanteil [km ²]/Gesamtfläche [km ²] Gebiet 3
Wiese	0,12	1,6/3,6	2,0/3,1	1,1/3,1
Wald	0,07	1,9/3,6	0,9/3,1	1,7/3,1
Siedlung	0,2	0,1/3,6	0,2/3,1	0,1/3,1
Obstplantage	0,09	0/3,6	0/3,1	0,2/3,1
Ψ_m		0,10	0,11	0,09
RO [mm/a]		65,3	71,8	58,8
P_{korr} [mm/a]		652,8	652,8	652,8
ETR _{Turc} [mm/a]		408,6	408,6	408,6
GWN [mm/a]		178,9	172,4	185,4

Die höchste Grundwasserneubildung weist das Teilgebiet 3 mit 185 mm/a auf. Die Unterschiede zwischen der Grundwasserneubildung der drei Teilgebiete betragen maximal 13 mm/a. Die vergleichsweise geringere Grundwasserneubildung im Teilgebiet 2 wird durch den höheren Oberflächenabfluss hervorgerufen. Dieser resultiert aus dem hohen Wiesenanteil von 65%. Der Waldanteil ist hier mit rund 30% vergleichsweise gering. Diese Ergebnisse setzen voraus, dass im Gelände möglichst genau kartiert wurde. Z.T. wurde jedoch nur Wald kartiert, z.T. Nadelwald und Laubwald getrennt. Bei den obigen Berechnungen wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit diese Unterscheidungen vernachlässigt. Eine detailliertere Kartierung würde sicherlich genauere Ergebnisse liefern.

3 METHODIK

3.1 Vor-Ort-Parameter

3.1.1 Allgemeines

Die Parameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt /-sättigung und Redoxpotential wurden mittels Elektroden (Einstabmessketten) direkt im Gewässer bestimmt. Vor den Messungen wurden die Gerätschaften jeweils kalibriert.

3.1.2 Temperatur

Die Temperatur wurde bei der pH-Wert-, Leitfähigkeits-, Redox- bzw. Sauerstoffmessung mit bestimmt, da bei diesen Messungen die Temperatur über einen integrierten Messfühler/ Sensor automatisch mit ermittelt wurde.

3.1.3 pH-Wert

Der pH-Wert wurde elektrochemisch über die Messung von Potentialdifferenzen gemessen. Die Messung des pH-Wertes erfolgte mit dem pH-Meter pH 320 in Verbindung mit der pH-Einstabmesskette SENTIX 41 der Firma WTW (Wissenschaftlich-Technische-Werkstätten GmbH, Weilheim). Die Kalibrierung erfolgte mit Kalibrierlösungen (technische Pufferlösungen) von pH 4,01 und pH 7,00.



3.1.4 Elektrische Leitfähigkeit

Für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurden die Messgeräte LF 320 bzw. Multiline P4 mit der Standard-Leitfähigkeitsmesszelle TetraCon 325 von WTW und das Gerät LF 39 mit der Messzelle LTC 1/21 der SENSORTECHNIK MEINSBERG GmbH verwendet.

3.1.5 Sauerstoffgehalt /-sättigung

Der Sauerstoffgehalt bzw. die -sättigung wurden vor Ort mit dem Multiline P4 bzw. dem Oximeter Oxi 320 in Verbindung mit dem Sauerstoffsensor CelloX 325 gemessen. Die Kalibrierung erfolgte unter Verwendung des Luftkalibriergefäßes OxiCal-SL. Eine Gruppe führte ihre Messungen mit Geräten der Firma WTW durch: OXI 92 mit der Elektrode E090 und dem Kalibriergefäß OxiCal S.

3.1.6 Redoxpotential

Für die Messung des Redoxpotential fand dasselbe Messgerät (pH 320) Anwendung, wie zur pH-Wert-Bestimmung. Dabei wurde zusätzlich die Redox-Einstabmesskette SenTix ORP von WTW verwendet. Diese Einstabmesskette besteht aus einer dünnen Platinschicht und besitzt als Bezugelektrode eine Ag/AgCl-Elektrode. Um den E_H -Wert zu erhalten, musste die ermittelte Spannungsdifferenz zwischen dem Platin und der Ag/AgCl-Elektrode noch um die Potentialdifferenz (Tabelle 3-1) zwischen der Ag/AgCl-Elektrode und der Normalwasserstoffelektrode erhöht werden.

Tabelle 3-1: Spannung der Ag/AgCl-Elektrode gegen die Normalwasserstoffelektrode

Temperatur	Spannungsdifferenz Ag/AgCl-Elektrode	
[°C]	gegen Normalwasserstoffelektrode [mV]	
5		+ 221
10		+ 217
15		+ 214
20		+ 210
25		+ 207

3.1.7 Gesamthärte/Carbonathärte

Die Gesamthärte und die Carbonathärte wurden mit Testkits (Aquamerck 8039 und Aquamerck 8048) der Firma MERCK bestimmt.

Die Gesamthärte wird durch den Gehalt an Erdalkalien, d.h. CaO und MgO, charakterisiert. Zur Bestimmung der Gesamthärte wurde das Prinzip einer komplexometrischen Titration mit Triplex III (Ethylendinitrilotetraessigsäure Dinatriumsalz) gegen einen Mischindikator verwendet. Dem Probenwasser wird eine Indikatorlösung zugesetzt, wodurch sich der Indikatorcomplex an die Ca- und Mg- Ionen bindet und die Lösung rot färbt. Nach der tropfenweisen Zugabe einer bestimmten Menge an Titrierlösung unter Schwenkung des Probengefäßes schlägt die Lösung nach grün um. Ursache ist die Bildung einer Komplexbindung zwischen den Ca- und Mg-Ionen und dem Triplex III und damit die Freisetzung des Indikators. Auf der Titrierpipette wird anhand des Verbrauchs an Titrierlösung die Gesamthärte in mmol/L bzw. °dH abgelesen.

Die Carbonathärte wird i.d.R. ausschließlich durch den Gehalt an Hydrogencarbonationen bestimmt, da das Auftreten der Kohlenstoffspezies pH-abhängig ist und die



Hydrogencarbonationen bei Wässern zwischen einem pH-Wert von 6 und 10 dominieren. Die Bestimmung der Carbonathärte erfolgte durch Titration mit Salzsäure gegen einen Mischindikator. Die Vorgehensweise ist analog der Bestimmung der Gesamthärte. Der Indikatorumschlag erfolgt von blau nach rot.

3.1.8 Säure- und Basenkapazität (m- und p-Wert)

Für die Bestimmung von m- und p-Wert vor Ort wurden ebenfalls Testkits von MERCK eingesetzt. Dabei wurde für die Alkalität (Säurekapazität) der Aquamerck 11109, für die Acidität (Basenkapazität) der Aquamerck 11108 genutzt. Die Bestimmung der Kapazitäten erfolgte durch Titration mit 0,05 n HCl (Alkalität) bzw. 0,05 n NaOH (Acidität) gegen die Indikatoren Phenolphthalein (Umschlag bei pH 8,2 → p-Wert) und einen Mischindikator (Umschlag bei pH 4,3 → m-Wert). Zu der Probe wurde je nach Ausgangs-pH-Wert eine Indikatorlösung P oder M hinzugegeben und mit der entsprechenden Titrierlösung bis zum gewünschten Farbumschlag titriert (Tabelle 3-2). An der Titrierpipette wurden die Werte für m- und p-Wert in mmol/L abgelesen. Bei der Titration mit NaOH sind m- und p-Wert negativ.

Tabelle 3-2: Titrationsmöglichkeiten zur Bestimmung von m- und p-Wert

Ausgangs-pH-Wert	Indikator	Titration mit	Farbumschlag	pH-Wert	m - und p-Wert
< 4,3	Mischindikator	NaOH	orangerot über grau nach blau	4,3	neg. m-Wert
	Phenolphthalein	NaOH	farblos nach rosa	8,2	neg. p-Wert
4,3 bis 8,2	Mischindikator	HCl	blau über grau nach orangerot	4,3	pos. m-Wert
	Phenolphthalein	NaOH	farblos nach rosa	8,2	neg. p-Wert
> 8,2	Phenolphthalein	HCl	rot nach farblos	8,2	pos. p-Wert
	Mischindikator	HCl	blau über grau nach orangerot	4,3	pos. m-Wert

3.1.9 Organoleptische Parameter

Soweit möglich und gesundheitlich unbedenklich, wurde bei der vor-Ort-Bestimmung das Wasser auf die relativ subjektiven Parameter Geruch, Geschmack, Färbung und Trübung untersucht.

3.1.10 Photometrische Bestimmung von Fe(II) und Fe(gesamt)

Aufgrund von gerätetechnischen Problemen konnten Fe(II) und Fe(gesamt) vor Ort nicht photometrisch bestimmt werden.

3.1.11 Nitratschnelltest

Von einer Gruppe wurde zur groben Abschätzung des Nitratgehaltes der Nitratschnelltest Merckoquant 1.10020 mit dem Nitrachek- Photometer der Firma MERCK verwendet.

3.1.12 Einmessung der Probenahmepunkte

Zur Einmessung der Probenahmepunkte, Messpunkte mit Doppelringinfiltrometer u.ä. wurde das GPS-Gerät GPS 12 (12 Kanal-Empfänger Gerät) der Firma GARMIN genutzt. Die Einmessung der Punkte erfolgte hinsichtlich der Koordinaten bezüglich nördlicher Breite und östlicher Länge.

3.1.13 Probenahme

Die Wasserproben wurden in 500 mL Polyethylenflaschen abgefüllt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Flaschen vorher mit dem Probenwasser ausgespült und anschließend randvoll (d.h. „luftfrei“) befüllt wurden.

3.2 Laboranalytik

3.2.1 Filtration

Die entnommenen Wasserproben wurden vor der Analyse im Labor mittels einer Vakuumpumpe filtriert. Als Filter wurden Cellulose-Acetat-Filter von 0,45 µm verwendet, wobei bei stärker verschmutzten Proben vorher ein 8 µm Filter zum Einsatz kam. Die Proben, die nicht am Tag der Probenahme analysiert werden konnten, wurden bis zur Analyse im Kühlschrank aufbewahrt.

3.2.2 Photometrie

Die Wasserproben wurden hinsichtlich Nitrat, Nitrit, Ammonium, Sulfat und Phosphat mit dem HACH-Spektrophotometer DR2000 untersucht. Die Bestimmung dieser Parameter erfolgte dabei nach den Arbeitsvorschriften zum Photometer.



Alle Methoden basieren darauf, dass nach Zugabe von bestimmten Reagenzien (Farb-) Komplexe gebildet werden. Je stärker die Komplexbildung ist, was i.d.R. eine intensivere Färbung der Probe nach sich zieht, umso höher ist der Gehalt des zu untersuchenden Stoffes. Dies verursacht eine Schwächung des Lichtes der entsprechenden Wellenlänge, welche durch die Probe gesendet wird.

Tabelle 3-3: Photometrische Methoden

Ion/Stoff	Methode	Wellenlänge [nm]	Messbereich [mg/L]	Reagenzien	Multiplikations- faktor
NO_3^-	Cadmium-Reduktion	500	0 - 30	NitraVer5	4,4
NO_2^-	Diazotierung	507	0 - 0,3	NitriVer3	3,3
NH_4^+	Nessler	425	0 - 2,5	Mineral-Stabilisierer Polyvinylalkohol-Reagenz Nessler-Reagenz	1,29
SO_4^{2-}	SulfaVer4	450/570	0 - 65	SulfaVer4	
PO_4^{3-}	Ascorbinsäure	890	0 - 2,5	PhosVer3	

Die Messung der Konzentration eines Stoffes erfolgte gegen den Blindwert einer Probe. Dazu wurde eine Küvette mit Probe gefüllt (ohne Zugabe der Chemikalien), und die so erhaltene Konzentration als Nullpunkt vom Gerät registriert. Ausnahme bildete hier die Bestimmung von NH_4^+ , da als Blindwert destilliertes Wasser nach Zugabe der Reagenzien (

Tabelle 3-3) verlangt war.

Der Probe in einer zweiten Küvette wurden die Reagenzien, i.d.R. in Form von Powder Pillows (Ausnahme: NH_3 und NH_4^+) zugegeben und die entsprechenden Reaktionszeiten abgewartet. Danach wurde die Konzentration des Stoffes photometrisch bestimmt. Bei einigen Stoffen mussten die Ergebnisse noch mit einem Faktor entsprechend der Anleitung multipliziert werden.

3.2.3 Ionenchromatographie

Die Analysemethode der Chromatographie umfasst physikalisch-chemische Trennverfahren. Deren Prinzip beruht auf der Wechselwirkung der zu trennenden Komponenten zwischen zwei nicht mischbaren Phasen.

Die analytische Probe befindet sich dabei in einer mobilen Phase, welche sich über eine stationäre Phase bewegt. Bei der Bewegung über diese Phase kommt es zu Wechselwirkungen mit deren Oberfläche, wobei das Analysengemisch in seine einzelnen Komponenten zerlegt und anschließend detektiert wird.

Es existieren verschiedene Chromatographiearten, deren Einteilung sich nach dem Aggregatzustand der beiden Phasen richtet. Eine grobe Unterteilung kann dabei in die Gas- und Flüssigkeitschromatographie vorgenommen werden.

Während dieses Praktikums wurde der Ionenchromatograph IC 2001 der Fa. Eppendorf genutzt, um die Konzentration der Kationen Lithium, Kalium, Natrium sowie Ammonium zu



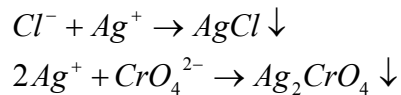
bestimmen. Dabei handelt es sich um ein tragbares Gerät, welches sowohl im Labor als auch im Gelände einsetzbar ist und mit Hilfe der Einsäulentechnik arbeitet. Die bestimmende Wechselwirkung dieses Trennverfahrens ist der Ionenaustausch, wobei einzelnen Ionen durch ihre unterschiedlichen Retentionszeiten getrennt werden. Dieser Prozess findet in der Trennsäule statt. Nach der Trennung des Analyten wird die Konzentration der Ionen mit Hilfe des Leitfähigkeitdetektors bestimmt. Damit sich die Leitfähigkeitsänderung deutlich von der Grundleitfähigkeit des Eluenten unterscheidet, findet bei dem Ionenchromatograph IC 2001 eine elektronische Unterdrückung des Untergrundsignals statt.

3.2.4 Titrimetrische Verfahren

3.2.4.1 Chlorid - Bestimmung (nach MOHR)

Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein Fällungsverfahren.

20 mL Probelösung werden mit destilliertem Wasser auf 100 mL verdünnt, mit 2 Tropfen K_2CrO_4 als Indikator versetzt (\rightarrow gelb-grüne Färbung) und mit 0,1 M $AgNO_3$ titriert. Ist aus der Lösung Chlorid durch Ausfällung als Silberchlorid entfernt, so bildet Ag^+ mit CrO_4^{2-} einen rotbraunen Niederschlag. Der Niederschlag sollte ca. 1 min lang bestehen bleiben.



Berechnung:

1 mL 0,1 mol/L AgNO₃ = 0,1 mmol Cl⁻ bzw. 3,5453 mg Cl⁻



3.2.4.2 Calcium- und Magnesium- Bestimmung

Die Bestimmung von Ca²⁺ und Mg²⁺ erfolgt über Komplexbildungstitrations. Das Prinzip beruht auf der Zugabe von metallspezifischen Indikatoren, die auf eine Änderung der Metallionenkonzentration ansprechen. Diese Indikatoren bilden mit den Metallionen Chelatkomplexe, die anders gefärbt sind als die freien Indikatoren. Der Farbumschlag erfolgt durch Zerfallen des Me-Indikatorkomplexes und das Auftreten der Farbe des freien Indikators.

Bei der Titration mit EDTA kommt es zur Bildung von Hydroniumionen. Da die Komplexstabilität bei abnehmendem pH-Wert sinkt, muss in einem alkalisch gepufferten Milieu gearbeitet werden.

Ca²⁺: Titration mit Calconcarbonsäure nach MERCK-Vorschriften

25 mL Probe werden mit dest. Wasser auf 100 mL aufgefüllt und mit 2,5 mL KOH (10 g in 100 mL H₂O gelöst) versetzt. Als Indikator wird eine kleine Spatelspitze Calconcarbonsäure (1g vermischt mit 100 g NaCl) zugegeben, was eine Rotfärbung der Lösung zur Folge hat. Anschließend wird die Lösung bis zum Farbumschlag nach blau mit 0,1 M EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure) titriert

Berechnung:

$$Ca^{2+} [mmol/l] = \frac{\text{Verbrauch EDTA} [ml] \cdot 0,1 \text{ mol/l} \cdot 1000 \text{ ml/l}}{\text{Probe} [ml]}$$

Gleichung 3-1

$$Ca^{2+} [mg/l] = Ca^{2+} [mmol/l] \cdot 40,08 \text{ g/mol}$$

Mg²⁺: Titration mit Eriochromschwarz T [PRIBIL: Komplexometrie]

25 mL Probe werden mit dest. H₂O auf 100mL aufgefüllt und mit 5 mL NH₄OH/ NH₄Cl-Puffer und einer kleinen Spatelspitze Eriochromschwarz T als Indikator versetzt. Die Lösung wird zur Verkürzung der Reaktionszeit auf ca. 50 °C erhitzt und anschließend ebenfalls mit

0,1 M EDTA-Lösung bis zu einem Farbumschlag zu blau titriert. Die Differenz der verbrauchten EDTA-Lösung bei der $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ - und der Ca^{2+} - Bestimmung wird zur Berechnung des Mg- Gehaltes herangezogen.

Berechnung:

Verbrauch (Mg) = Verbrauch (Ca + Mg) – Verbrauch (Ca)

$$\text{Mg}^{2+} [\text{mmol/l}] = \frac{\text{Verbrauch EDTA} [\text{ml}] \cdot 0,1 \text{ mol/l} \cdot 1000 \text{ ml/l}}{\text{Probe} [\text{ml}]} \quad \text{Gleichung 3-2}$$

$$\text{Mg}^{2+} [\text{mg/l}] = \text{Mg}^{2+} [\text{mmol/l}] \cdot 24,31 \text{ g/mol}$$

3.3 Durchflussmessung

3.3.1 Dreiecksmesswehr

Zur Bestimmung des Durchflusses wurden Messwehre in das Profil des Fließgewässers eingebaut. Zur Anwendung kamen Dreieckswehre, die für kleine und mittlere Durchflüsse geeignet sind. Durch den abgedichteten Einbau wurde das Wasser gestaut und nach entsprechendem Zufluss das Wehr überströmt, wobei bei den genutzten



Dreiecksmesswehren auf einen vollkommenen Überfall zu achten ist. Die Überlaufberechnung (nach THOMSON) erfolgt mittels der Gleichung:

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cdot h^{5/2} \quad \text{Gleichung 3-3}$$

Q - Durchfluss [m^3/s]

μ - Überfallbeiwert (wenn $\alpha = 90^\circ$, dann ist $\mu = 0,578$)

g - Erdbeschleunigung [m/s^2]

α - Ausschnittwinkel

h - Überfallhöhe [m]

3.3.2 Verdünnungsmethode

Dieses Verfahren zur Bestimmung des Durchflusses beruht auf der Leitfähigkeitsänderung durch die Zugabe eines Salztracers, im vorliegenden Fall Natriumchlorid. Es ist vor allem für Fließgewässer mit unregelmäßigem Durchflussquerschnitt, geringer Wassertiefe, hoher Turbulenz und starker Geschiebeführung geeignet. Weitere Vorteile bestehen darin, dass der Gerinnequerschnitt und die Entfernung zwischen Injektions- und Messpunkt nicht gemessen werden muss. Bei dieser Methode ist es wichtig darauf zu achten, dass sich der Tracer vollkommen mit dem fließenden Wasser durchmischt, dementsprechend lang sollte die Messstrecke gewählt werden. Probleme können auftreten, wenn Tracerverluste durch Adsorption und Untergrundinfiltration eine Rolle spielen.

Bei der Durchführung wurde eine Momentaninjektion in das Fließgewässer eingebracht. Dabei wurde eine bestimmte Menge Salz abgewogen und oberhalb der Messstelle als Bachwasser-Salzlösung zugegeben (als Faustregel gilt 1 kg Salz je 100 L/s Abfluss). Der Beginn der Messung der Leitfähigkeit ist zeitgleich der Zugabe des Tracers zu setzen und danach im 5 s-Takt zu messen, bis der Grundwert des Gewässers wieder erreicht wird.

Für die Berechnung werden alle Messwerte, die über dem Grundwert liegen, aufaddiert, mit dem Messtakt multipliziert und um den Grundwert bereinigt.

$$\Sigma LF(b) = \Sigma LF \cdot \text{Messtakt} - (\text{Anzahl Messungen über Grundwert} \cdot \text{Messtakt} \cdot \text{Grundwert})$$

Gleichung 3-4

$$Q = \frac{\text{Masse des Salzes}}{\Sigma LF(b) \cdot F}$$

Gleichung 3-5

Q - Durchfluss [L/s]

Masse des Salzes [mg]

F - Faktor [mg*s/L]

Der Faktor F wird über die Leitfähigkeit einer Lösung von 1 g Salz in 1 L Bachwasser ermittelt. Die Leitfähigkeitserhöhung (Differenz zum Grundwert) entspricht somit 1000 mg Salz. Der Faktor ergibt sich folgendermaßen:

$$F = 1 / \text{Leitfähigkeitserhöhung}$$

Gleichung 3-6

Falls die Messstrecke bekannt ist, kann zusätzlich die Fließgeschwindigkeit wie folgt ermittelt werden:

$$v = \Delta s / \Delta t$$

$$\Delta t = t_{50\%} - t_0$$

Gleichung 3-7

Gleichung 3-8

v - Fließgeschwindigkeit [m/s]

Δs - Messstrecke [m]

Δt - Zeit zwischen Injektion und Registrierung [s]

$t_{50\%}$ - Zeitpunkt, zu dem 50 % des Tracers am Messpunkt angekommen ist [s]

t_0 - Zeitpunkt der Injektion [s] (hier: 0 s)

3.3.3 Flügelmessung

Aufgrund der geringen Durchflusswerte im Untersuchungszeitraum konnten nur im Untersuchungsgebiet II Durchflussmessungen mit dem hydrometrischen Messflügel durchgeführt werden. Dazu wurde der Fließquerschnitt in mehrere vertikale Lamellen eingeteilt und die Durchflussfläche sowie die Fließgeschwindigkeit einer jeden Lamelle ermittelt. Die Flügel-schraubenumdrehungen (Impuls) n, die am Messflügel ausgelöst wurden, wurden mit Hilfe eines Zählgerätes erfasst und daraus über die Flügelgleichung die punktuelle Fließgeschwindigkeit v berechnet.

Bei der Einpunktmessung fand die Messung in der halben Gewässertiefe statt, bei der Zweipunktmessung in 1/3 und 2/3 der Gewässertiefe. Deren Fließgeschwindigkeiten wurden gemittelt.

$$v = v_0 + b * n$$

Gleichung 3-9

v = Fließgeschwindigkeit [m/s]

v_0 = Anfangsgeschwindigkeit [m/s]

b = Flügelkonstante (Eichangabe des Herstellers)

n = Impulsrate [Umdrehungen*s⁻¹]

Parameter des verwendeten Messflügels:

Schaufelnummer: 1-46371

Schaufeldurchmesser: 44 mm

Steigung: 0.05 m

Flügelgleichungen:

für $n < 2,22 \text{ s}^{-1}$ $v = 0,0589 * n + 0,017$

für $2,22 \text{ s}^{-1} < n < 6,96 \text{ s}^{-1}$ $v = 0,0562 + 0,023$

für $6,96 \text{ s}^{-1} < n < 17,86 \text{ s}^{-1}$ $v = 0,0539 + 0,039$

Die Lamellendurchflussfläche A_i berechnet sich aus der mittleren Lamellentiefe $t_{m,i}$ (Gewässertiefe in der Mitte der Lamelle) und der Lamellenbreite b_i .

$$A_i = t_{m,i} * b_i$$

Gleichung 3-10

Der Gesamtdurchfluss Q ist die Summe der Lamellendurchflüsse Q_i über die gesamte Gewässerbreite.

$$Q_i = v_{m,i} * A_i$$

Gleichung 3-11

3.4 Pumpversuch

Von jeder Gruppe wurde ein Pumpversuch durchgeführt, wobei dabei sowohl die Absenkung als auch der Wiederanstieg gemessen wurde. Ziel war, die hydraulische Durchlässigkeit des Untergrundes in Form der Transmissivität bzw. des kf-Wertes (Durchlässigkeitsbeiwert) zu bestimmen. Darüber hinaus wurde das geförderte Grundwasser hinsichtlich der Vor-Ort-



Parameter und einiger Wasserinhaltsstoffe im Labor analysiert.

Da die Bedingungen für den Pumpversuch verschieden waren, wurden die Pumpversuche unterschiedlich ausgewertet. Nähere Angaben sind den entsprechenden Ausführungen der einzelnen Gruppen zu entnehmen.

3.5 Bodenkundliche Untersuchungen

3.5.1 Doppelringinfiltrometer

Das Ziel der Durchführung eines Doppelringinfiltrometersversuches ist die Bestimmung bzw. die Abschätzung des kf-Wertes unter in-situ Bedingungen. Für den Infiltrationsversuch wurde das Gerät der TU Bergakademie Freiberg verwendet. Es setzt sich aus zwei Stahlringen zusammen, die ca. 20 cm in den Boden getrieben werden. Der innere Ring besitzt einen Durchmesser von 19,5 cm, der äußere Ring hat einen Durchmesser von 41,0 cm. Auf den inneren Ring wurde ein 1 L – Zylinder, der mit einer Auslassvorrichtung versehen ist, aufgesetzt.

Maßgebend für die Auswertung der Infiltrometersversuche sind die Wassermengen, die in einer bestimmten Zeit aus dem inneren Ring in den Boden infiltrieren. Die Funktion des äußeren Infiltrationsringes besteht lediglich darin, eine Befeuchtung des Untergrundes zu ermöglichen und eine seitliche Ausbreitung des Sickerstroms aus dem inneren Ring zu unterbinden. Die Infiltrationsstromlinien aus dem inneren Ring können dann als parallel angenommen werden.

Bei der Durchführung der Infiltrationsversuche ist zu beachten, dass der Wasserspiegel in den



beiden Ringen konstant gehalten wird. Die Überstauhöhe in den Ringen sollte ungefähr bei 1 bis 2 cm liegen, um keine k_f -Erhöhung infolge eines Überstaudrucks zu erhalten.

Vor der eigentlichen Messung muss eine Aufsättigung der obersten Bodenschichten erfolgen. Die dafür benötigten Wassermengen können stark variieren und sind abhängig vom Anfangswassergehalt des Bodens. Da im gesamten Untersuchungsgebiet eine längere Trockenperiode herrschte, waren zur Aufsättigung zum Teil große Wassermengen nötig.

3.5.2 Bestimmung des mineralischen Stickstoffes

Anhand der Landnutzung wurden repräsentative Bodenproben für die Untersuchung ausgewählt. Dabei wurden die Proben aus dem Ah-Horizont bis in max. 20 cm Tiefe entnommen. Die Proben wurden auf die Feinbodenart, den Wassergehalt und den mineralischen Stickstoff (N_{\min}) untersucht.

Die Feinbodenart wurde nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4, 1994) mittels Fingerprobe bestimmt.

Zur Ermittlung des Wassergehaltes wurden je 100 g der feldfeuchten Probe über Nacht bei 105°C im Trockenschrank getrocknet, wodurch absolut trockene (atro) Bodenproben erhalten wurden. Der Wasserverlust wurde durch Wiegen ermittelt:

$$\text{Wassergehalt}[g] = \text{feldfeucht}[g] - \text{atro}[g]$$

Gleichung 3-12

Bestimmung des mineralischen Stickstoffgehaltes N_{\min}

N_{\min} ist der mineralische Stickstoff, der z. B. an Tonpartikel gebunden ist. Dazu zählen die Ionen Nitrat und Ammonium. Zur Ermittlung des N_{\min} -Gehaltes wurden 5 g atro-Bodenprobe

mit 150 mL KCl-Lösung versetzt und im Schüttler THYS 2 von VEB MLW LABORTECHNIK Ilmenau ca. 4 h geschüttelt. Danach konnten die aufbereiteten Bodenproben filtriert und der Gehalt an Nitrat und Ammonium photometrisch mit dem HACH-Spectrophotometer DR2000 gemessen werden (s.2.3.2). Die ermittelten Werte wurden nach folgender Gleichung in mg N/kg Boden umgerechnet:

$$N_{\min} = \frac{c \cdot V}{\text{Probenmenge}} \cdot 1000$$

Gleichung 3-13

N_{\min} - mineralisch gebundener Stickstoff [mg N/kg Boden]

c - Summe der Konzentrationen von NO_3^- und NH_4^+ [mg/L]

V - Eluent (hier: KCl; 0,15 L)

Probenmenge (hier: 5 g)

4 UNTERSUCHUNGSGEBIET I

Kurzfassung

Während des hydrogeologischen Geländepraktikums der TU Bergakademie Freiberg im August 2003 wurde das Gebiet nordöstlich der Ortschaft Zubrnice (ČR) hydrogeologisch untersucht. Das Gebiet entspricht dem 3,5 km² großen oberirdischen Einzugsgebiet des Baches Zubrnicky, welcher das Hauptfließgewässer im Gebiet darstellt und im Südwesten in den Lucní-Bach mündet. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Morphologie, die Geologie und Landnutzung sowie auf eine hydro-(geo-)logische Kartierung. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf hydrogeologische und hydrologische Fragestellungen gelegt.

Es wurden geologische und topographische Karten ausgewertet und die Ergebnisse durch eine Vielzahl von Geländebegehungen verfeinert. Mit dem GIS-Programm TNT mips wurde im Anschluss daran eine aktuelle Landnutzungskarte erstellt. Durch die Entnahme von Wasserproben und die Bestimmung der Vor-Ort-Parameter Leitfähigkeit, Redoxpotential, pH-Wert, E_H-Wert, Sauerstoffgehalt, Luftdruck, p- und m-Wert sowie Carbonat- und Gesamthärte sollte die Wasserbeschaffenheit des Baches Zubrnicky und seiner zwei Hauptseitenarme charakterisiert werden. Dabei sollten eventuelle anthropogene Auswirkungen sowie Einflüsse der diesjährigen langen Trockenperiode auf die Wasserqualität herausgestellt werden. Dazu wurden weiterhin im Labor mit Hilfe der Photometrie, der Ionenchromatographie sowie der Titration die Gehalte von Sulfat, Nitrat, Nitrit, Ammonium und Phosphat, Lithium, Natrium und Kalium sowie Calcium, Magnesium und Chlorid bestimmt.

Darüber hinaus war es ein Ziel, die Trockenperiode anhand von Durchflussmessungen mittels Messwehr und Verdünnungsmethode unterstreichen zu können. Infiltrationsversuche dienten der Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeiten der oberen Bodenschicht. Zur Charakterisierung der hydraulischen Durchlässigkeit des Sandsteingrundwasserleiters wurde ein Pumpversuch durchgeführt. PHREEQC-Modellierungen runden die Untersuchungen bezüglich der Wasserbeschaffenheit ab. Die Gefahr einer Bodenerosion und damit der Eintrag von Schadstoffen in die Gewässer konnte durch Verwendung des Modells EROSION 2D abgeschätzt werden.

4.1 Einleitung / Fragestellung

Das Ziel dieser hydrogeologischen und –geochemischen Untersuchungen war es, die Beschaffenheit der Gewässer des Arbeitsgebietes I, die Quellen der Inhaltstoffe sowie die Einflüsse auf die Wasserqualität zu bestimmen. Von besonderem Interesse war, wie sich die seit Wochen anhaltende Trockenheit auf die Wasserchemie, die Durchflüsse und den Boden, hinsichtlich Infiltration und mineralischen Stickstoffgehalt, auswirkt.

Als weiterführende Untersuchungen wurde mittels PhreeqC eine Mischwasseranalyse aus anthropogen unbeeinflussten Bachwasser des Zubrnicky Baches mit einem zufließendem Drainagerohr erstellt, sowie eine Erosionsmodellierung mit dem Programm EROSION 2D zur Abschätzung der Gefährdung des Gewässers beispielhaft für ein Starkniederschlagsereignis durch Sediment- und damit einhergehende Stickstoffeintrag durchgeführt

4.1.1 Lage

Das Arbeitsgebiet I befindet sich im Böhmisches Mittelgebirge, etwa 12 km östlich der Ortslage Ustí nad Labem. Es erstreckt sich auf einer Fläche von etwa 3,6 km² direkt nordöstlich der Ortslage Zubrnice und umfasst dabei den nördlichen Bereich der Ortsschaft.

Die Grenzen des Arbeitsgebietes entsprechen dem oberirdischen Einzugsgebiet des Baches Zubrnicky, dieser entwässert im Süden des Arbeitsgebietes in den Bachlauf der Lucni. Dementsprechend folgt der Verlauf der westlichen Grenze der Topografie (senkrecht den Höhenlinien) beginnend am Zusammenfluss der Bachläufe bis zu einer Hangkante etwa 200 m südlich der Ortslage Buková Hora in nordöstlicher Richtung. Dieser Höhenzug bildet in NW-SE-Orientierung die nördliche Grenzlinie des Arbeitsgebietes mit der höchsten Erhebung des Matrelik mit 667,9 m ü. NN des Gebietes. Die südliche Abgrenzung verläuft zunächst in südsüdöstlicher Richtung zu einer relativ markanten Erhebung mit 652 m ü. NN rund 1,3 km östlich der Ortschaft Zubrnice, im weiteren Verlauf bildet die Gebietsgrenze eine nahezu Ost-West-orientierte Verbindung der Erhebung mit der Ortslage.

Die Morphologie des Arbeitsgebietes weist ein relativ belebtes Relief auf, wobei über das gesamte Gebiet gesehen ein deutliches Gefälle von rund 660 m ü. NN im Nordosten bis auf etwa 300 m im Südwesten zu erkennen ist. Gestört wird dieses lediglich durch die stark eingeschnittenen Bachläufe des Baches Zubrnicky sowie seiner Zuläufe.

4.1.2 Geologie

Entsprechend der geologischen Karte (GEOLOGICKÀ MAPA CR, Maßstab 1:50.000) sind im Untersuchungsgebiet I Sandstein, Basalt und Deluvium vorzufinden. Der Sandstein, ein Ausläufer des Nordböhmisches Kreidebeckens, steht direkt am Rand der Ortschaft Zubrnice an. Im Untersuchungsgebiet finden sich jedoch überwiegend Basalte und Tuffe, welche während des tertiären Vulkanismus entstanden. Die Erhebungen zwischen den Bächen bestehen vor allem aus olivinhaltigen, alkalischen Basalten. Der Matrelik, ein Höhenzug im Osten des Untersuchungsgebiets, besteht aus Trachybasalt. Autometamorphe Basalte und alkalische Basalte ohne Olivin treten vereinzelt im Osten und Süden des Gebiets als Höhenrücken auf. Im größeren Umfeld der Quellen und in den Bachtälern sind quartäres Deluvium bzw. klastische Sedimente mit blockigen Vulkaniten vorzufinden. Zwischen den nördlichen bzw. östlichen Höhenrücken und dem Deluvium befinden sich pyroklastisch basaltische Gesteine.

4.1.3 Hydrogeologie / Hydrologie

Im Kartierungsgebiet finden sich zwei unterschiedliche Grundwasserleiter, zum einen kreidezeitliche Sandsteine, welche jedoch nur in geklüfteten Bereichen lokal als double-porosity-Aquifer fungieren, zum anderen Basalte bzw. Basaltdecken, die aufgrund ihrer teilweise starken Klüftung als gute Grundwasserleiter agieren. In die Basalte eingeschaltete Tuffitlagen stellen dabei im Allgemeinen Grundwasserstauer dar, aber auch tieferliegende und somit ungeklüftete Basalte können Grundwasserstauer darstellen.

Die Hydrologie des Untersuchungsgebietes wird geprägt durch den nordöstlich-südwestlich-orientierten Bachlauf des Zubrnicky, dem größten Fließgewässer des Kartierungsgebietes. Dieser mündet nach einer Fließstrecke von insgesamt 2,3 km in die Lucní. Gespeist wird der Zubrnicky durch zahlreiche Quellen und Seitenarme, wobei eine genaue Zuordnung der Quellen zu Schicht- oder Stauquellen nicht möglich war. Anzumerken ist jedoch, dass ein Großteil der Quellaustritte eher diffus aus Feuchtstellen im Boden erfolgt und nur wenige Quellen einen deutlichen Austrittspunkt zeigen. Zudem treten laut der geologischen Karte (GEOLOGICKÀ MAPA CR, Maßstab 1:50.000) nahezu alle zurzeit im Untersuchungsgebiet vorhandenen Quellen im Bereich des Deliviums aus, was eine Einordnung der Quellen als Schichtquellen zwischen den gut leitenden basaltischen Einheiten der Kreide und eher stauenden Tuffen und Tuffiten nahe legt. Der Bachlauf des Zubrnicky sowie seiner Seitenarme existiert v.a. im Bereich nördlich der Ortschaft Zubrnice noch in nahezu unverändertem, natürlichem Zustand.

Lediglich im Bereich der Ortschaft wird der Zubrnicky in einem betonierten Kanal geführt, in diesem Fliessabschnitt erfolgen jedoch zahlreiche Einleitungen von Brauch- und eventuell Abwässern, was eine anthropogene Beeinträchtigung der Wasserqualität vermuten lässt. Ebenso kommt es im Bereich der Ortschaft zu vereinzelt Wasserentnahmen für Bewässerungszwecke.

Außer den Bachläufen findet sich etwa 300 m nördlich der Ortslage Zubrnice eine im Jahr 1905 erbaute Hochbehälter, welcher neben einem zweiten Hochbehälter im Kartiergebiet 3 vermutlich die Wasserversorgung des Ortes sicherstellt, da laut Auskunft durch Herrn Röttig mit Errichtung dieser Bauten die zuvor genutzten Hausbrunnen stillgelegt wurden. Einzig ein Brunnen auf dem Privatgrundstück des Herrn Röttig befindet sich in Betrieb und wird zu Brauchwasserzwecken genutzt. Dieser Brunnen wurde auch für die Durchführung des Pumpversuches genutzt. Es kann jedoch nicht gesichert gesagt werden, dass neben diesem Brunnen kein weiterer nutzbarer Hausbrunnen mehr existiert.

Im Gebiet östlich von Na Samote befindet sich am oberen östlichen Zulauf des Zubrnicky ein Regenwasserrückhaltebecken, welches wahrscheinlich als Hochwasserschutz bei Starkregenereignissen dient. Neben diesem Becken existieren im Kartiergebiet noch einzelne Sammelschächte.

4.1.4 Landnutzung

Das Gebiet Böhmen-Mähren und somit auch die Umgebung von Zubrnice waren vor dem 2. Weltkrieg Deutschland zugehörig. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die Flächen in der Umgebung von Zubrnice überwiegend zum Anbau von Obst in Form von Streuobstwiesen sowie des Weiteren als Weideland und Waldflächen genutzt. Nach der Aussiedlung der deutschen Bevölkerung änderte sich die Nutzung der Streuobstwiesen hin zu Mahdwiesen und Weiden, so dass sich heute eine Verteilung der Nutzungseinheiten (Karte 7-1) mit 26 % Laubwald, 17 % Mischwald, 11 % Nadelwald, 32 % Wiese, 11 % Weide und 3 % Siedlung ergibt (Abweichungen zu 100 % ergeben sich aus Rundungen). Hierbei ist anzumerken, dass als Siedlungsfläche nur das bebaute Gebiet des Ortes Zubrnice selbst zählt. Wiesen befinden sich v. a. in den Randbereichen des Untersuchungsgebietes. Im Kern des Gebietes sind hauptsächlich Misch- und Nadelwald vorzufinden. Den Übergang zwischen diesen Wäldern zu den Wiesen und Weiden bildet Laubwald. Streuobstwiesen sind nur noch vereinzelt, überwiegend in Privatgärten, anzutreffen.

Eine genaue Darstellung der Landnutzung des Untersuchungsgebietes findet sich im Anhang der Arbeitsgruppe I.

4.2 Hydrogeochemie

4.2.1 Probenahme

Für die Untersuchungen wurden der Bachverlauf des Zubrnicky und seine Zuflüsse systematisch beprobt. Die Entnahmestellen wurden auf signifikante Punkte wie z. B. Quellen, Zusammenflüsse oder Einleitungsschnittstellen festgelegt. (siehe Karte 7-2 „Lage der Messpunkte“). Des Weiteren wurde ein Rückhaltebecken beprobt, welches über einen Zufluss in den Zubrnicky mündet. Außerdem wurden zwei Grundwasserproben während des Pumpversuches entnommen sowie das Pumpwasser kontinuierlich vor Ort analysiert. An jedem Punkt wurden die vor- Ort- Parameter bestimmt und eine 500 ml – Wasserprobe in eine Plastikflasche für die spätere Laboruntersuchung luftdicht abgefüllt.

Eine Kurzbeschreibung der Probennahmestellen findet man in Tabelle 7-1.

4.2.2 Vor-Ort-Analytik

Die Vor-Ort-Analyse ergab keine größeren Unterschiede der Werte bei den Bachproben. Dass beide Quellproben aus demselben Aquifer stammen, erkennt man deutlich an den pH-Werten und den Austrittstemperaturen. Da an den Probenahmetagen eine stabile Wetterlage vorherrschte, sind die gemessenen Luftdrücke vergleichbar und ergaben, dass die Quellen eine gleiche Austrittshöhe haben. Die pH-Werte des Brunnenwassers weichen mit einer Differenz von ca. 1,5 pH- Einheiten signifikant von denen der Bachproben ab, da das Grundwasser im Gegensatz zu den Oberflächengewässern aus dem Sandsteinaquifer stammt. Die Ergebnisse der in- situ- Beprobung sind in Tabelle 7-2 zusammengefasst.

4.2.3 Laboranalytik

Die Ergebnisse der Laboranalysen sind in Tabelle 7-3 aufgelistet. Zusätzlich wurde eine Ionenbilanz erstellt, deren Ergebnisse in einem Piper-Diagramm (Abbildung 4-3) graphisch dargestellt sind.

In Tabelle 7-3 erkennt man, dass durch die lange Trockenzeit kaum Alkali- und Erdalkaliionen aus den Böden in die untersuchten Gewässer ausgewaschen werden konnten. Dies wurde zusätzlich durch die starke Adsorption der Ionen an die vorherrschenden tonreichen Böden erschwert. Die vorhandenen Gehalte an Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , K^+ , Na^+ sind wahrscheinlich geogene Hintergrundwerte aus dem anstehenden Basaltgestein. Die Abnahme der Werte entlang des nördlichen Bacharms (P1 bis P5) unterstützen mit ihrem offensichtlichen Verdünnungseffekt diese Annahme.

Die Gehalte liegen alle weit unter den von der TVO vorgegebenen Grenzwerten. Da es sich jedoch bei den vorliegenden Proben um Wasser aus Grund- und Oberflächengewässern und nicht um Trinkwasser handelt, könnten die Grenzwertkonzentrationen erhöht werden. Die Werte aus dem Bericht des letzten Jahres weisen ähnliche Konzentrationen auf, da das Gebiet im August 2002 nicht von den Starkregenereignissen erfasst wurde, so dass es zu keiner erhöhten Auswaschung der erwähnten Ionen kam.

Ebenso liegen die Phosphat- und Sulfatgehalte im unbedenklichen Bereich. Lediglich im Siedlungsbereich (P11) konnte ein leicht erhöhter Phosphatgehalt festgestellt werden. Vermutlich sollten die Werte durch zahlreiche Einleitungen aus dem Ort weitaus höher ausfallen. Der Bach ist jedoch an den Ufern sehr stark mit Brennnesseln gesäumt und teilweise komplett überwuchert, was auf eine starke Phosphataufnahme in die Pflanzen und somit eine Reduzierung der Konzentration im Wasser schließen lässt.

Die Stickstoffgehalte weisen über den Bachverlauf recht ähnliche Werte auf. Lediglich im Siedlungsbereich (P11) und nach der verrohrten Einleitung (P10) (vermutlich Abwasser) sind erhöhte Nitritkonzentrationen bestimmt worden. Eine große Ausnahme in der Verteilung der N- Spezies bildet das Rückhaltebecken (P7). Da das aufgestaute Wasser im Becken zurzeit nicht mit Frischwasser gespeist wird und ein Gasaustausch durch einen geschlossenen Algenteppich verhindert wird, haben sich stark anaerobe Verhältnisse eingestellt. Denitrifikationsprozesse (z. B. durch *Thiobacillus denitrificans*) führen zum Abbau des Nitrats und zu einer Erhöhung des Ammoniumgehaltes.

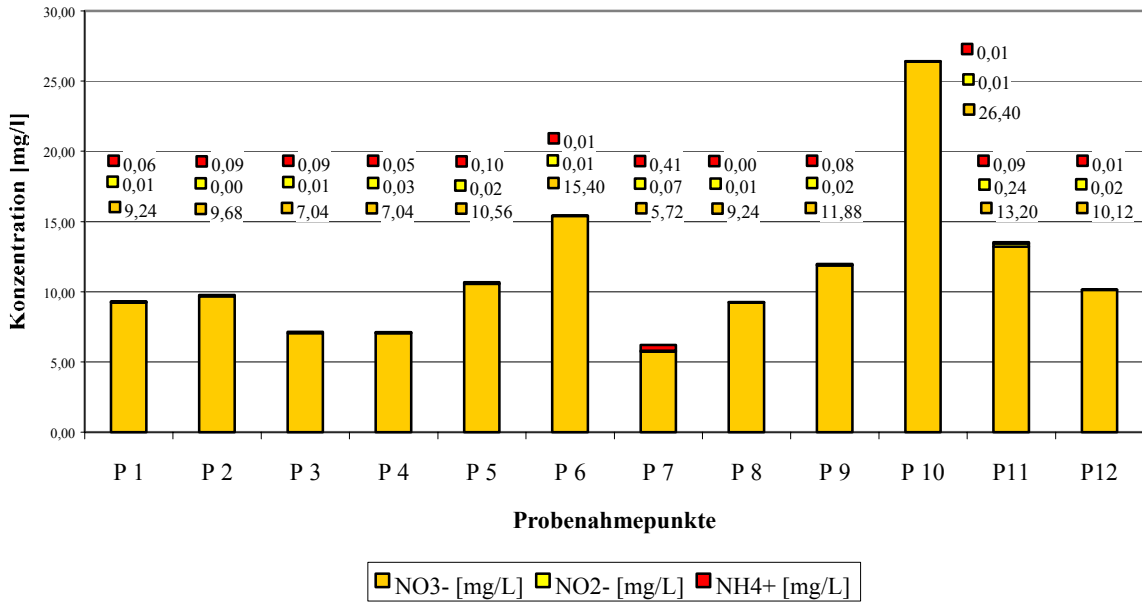


Abbildung 4-1: Verteilung der Stickstoffspezies NO_2^- , NO_3^- und NH_4^+

Um Wasseranalysen zu charakterisieren ist es möglich, diese bzw. deren Zusammensetzung in Kationen- und Anionen-Dreiecksdiagrammen darzustellen. Dazu wurde in diesem Bericht auf die Darstellung mittels Piper-Diagrammen zurückgegriffen. Zusätzlich wurden dem JORDAN „Einführung in die Hydrogeologie“ Gefährdungsbereiche entnommen, die eigentlich für Grundwasser aus Festgesteinsaquiferen ermittelt wurden, jedoch eine ungefähre Vorstellung über die anthropogene Belastung des Wassers geben.

Als Grundlage für die Darstellung der Probenahmepunkte in diesem Diagramm dient die errechnete Ionenbilanz in Tabelle 7-4. Dabei ist jedoch zu beachten, dass aufgrund der fehlenden Bestimmung von Eisen (II) und Eisen (III) sowie Mangan der berechnete Fehler für die Proben zwischen minimal -3 und maximal 32 Prozent liegt. Der durchschnittliche Fehler liegt bei rund 10 Prozent. Einzelne Analysenfehler können sich jedoch gegenseitig kompensieren, so dass auf die Fehlerangabe relativ ist. So kann z. B. die Bilanz trotz fehlerhafter Werte ausgeglichen erscheinen.

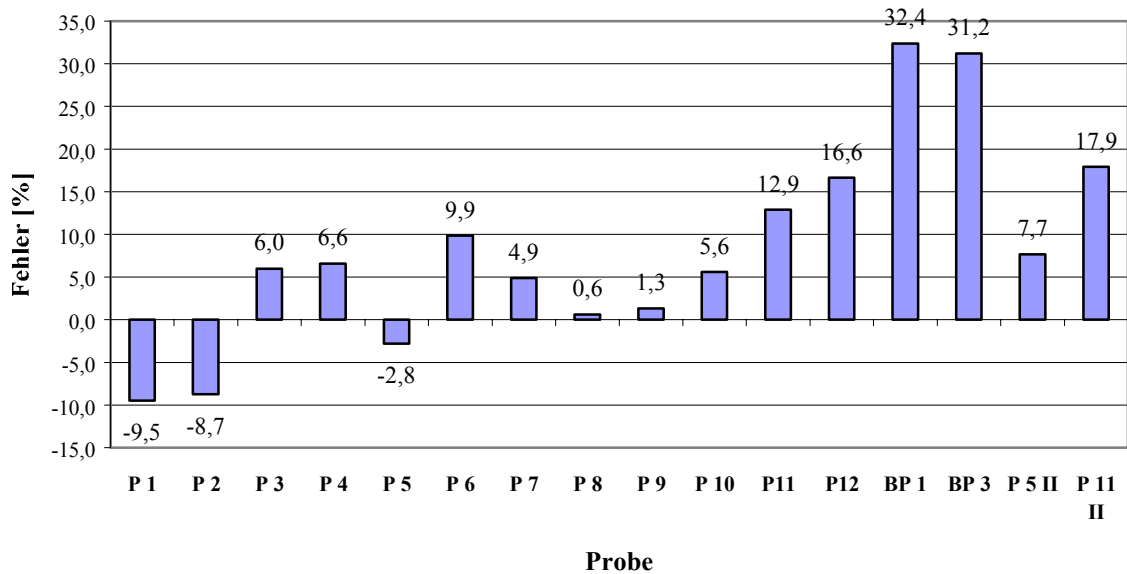


Abbildung 4-2: Fehler der Ionenbilanz für die Wasseranalysen der Proben P 1 bis P 12 sowie der Brunnenproben BP 1 und BP 3 und der Zweitanalysen P 5 II und P 11 II

Aus dem Anionendiagramm ist erkennbar, dass die Bach- (bzw. Teich-) Proben sehr ähnliche Anionengehalte aufweisen. Ebenso liegen die Brunnenproben dicht beieinander. Sie weisen jedoch einen höheren Anteil an HCO_3^- - Ionen und einen geringeren Cl^- - Ionen- Anteil als die Bachproben auf. Das Leitungswasser schließt sich der Gruppe der Brunnenproben an, was darauf schließen lässt, dass der nördliche Hochbehälter, durch den der Ort teilweise gespeist wird, auf Versorgung durch Grundwasser zurückgreift.

Im Kationendiagramm sind die Proben über einen etwas größeren Bereich verteilt, was jedoch im Bereich einer Messunsicherheit von 10% erklärt werden kann. Die Brunnenproben weisen einen geringeren Calciumgehalt auf. Das Brunnenwasser stammt aus einem Sandsteinaquifer, welcher einen geringeren Calciumgehalt als basaltisches Gestein aufweist, welches wahrscheinlich Einfluss auf die oberirdischen Gewässer hat.

In dem rautenförmigen oberen Teil des Piper-Diagramms fallen die Brunnenproben in den Bereich des jungen, bedeckten Grundwassertyps, was durch das Bohrprofil des Brunnens auf dem Grundstück von Herrn Röttig bestätigt wird. Als deckende und gleichzeitig stauende Schicht dient dabei die tonige Lehmschicht in ein bis zwei Meter Tiefe.

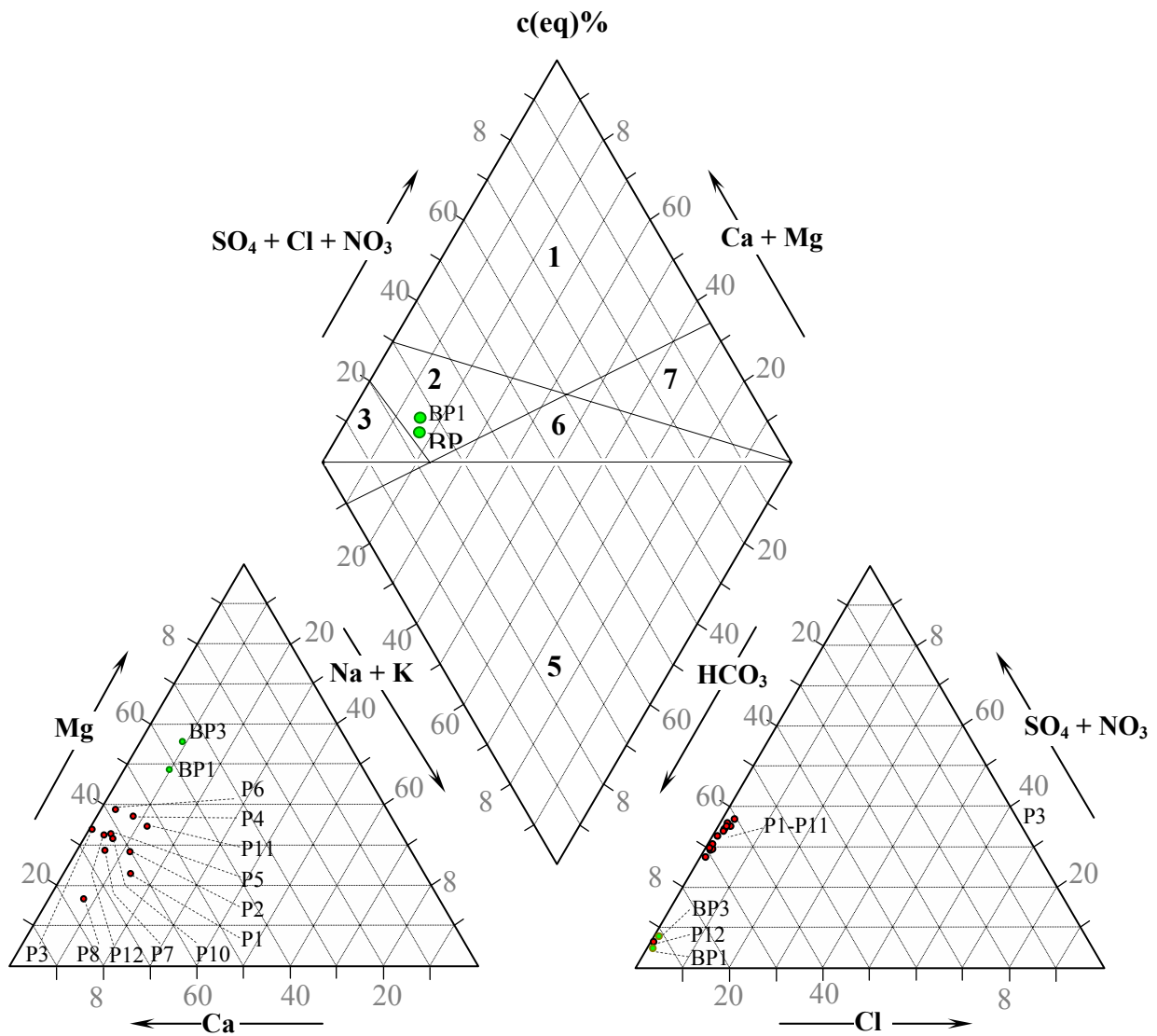


Abbildung 4-3: Typisierung von Wässern im Festgesteinsbereich

Erklärung:

1 = junges, unbedecktes Grundwasser

2 = junges, bedecktes Grundwasser

3 = älteres, bedecktes Grundwasser

4 = Übergangstyp


5 = sehr altes, geogen beeinflusstes Grundwasser

6 = Übergangstyp

7 = durch Salzgesteine beeinflusstes Grundwasser

 sehr stark bis stark – anthropogen beeinflusste Bereiche

 stark bis schwach – anthropogen beeinflusste Bereiche

 schwach bis nicht – anthropogen beeinflusste Bereiche

 Übergangsbereiche

Bezüglich der anthropogenen Belastung liegen die Brunnenproben laut der Einordnung aus JORDAN „Einführung in die Hydrogeologie“ in sehr stark bis stark- anthropogenen beeinflussten Bereich. Diese Aussage ist jedoch anzuzweifeln, da die Einteilung auf Erfahrungswerten und nicht auf festgelegten Grenzwerten beruht. Weiterhin ist nicht bekannt, ob der geogene Hintergrundwert mit in diese Betrachtung einbezogen wurde.

4.2.4 Fehlerdiskussion:

Die Probenahme des Bachwassers fand an zwei aufeinander folgenden Tagen statt, um die Proben unter möglichst ähnlichen Witterungsbedingungen gewinnen zu können. Die Analysen wurden noch am selben Tag durchgeführt, um Verfälschungen der Werte durch zu lange Lagerungszeit zu vermeiden.

Von den Probenahmestellen P 5 und P 11 wurden am 14. 08. 2003 erneut Proben genommen. Die daraus ermittelten Werte bestätigen die Ergebnisse der ersten Analyse. Da es sich jedoch pro Parameter nur um 2 Messwerte handelt, erschien eine Mittelwertbildung mit Standardabweichung als nicht sinnvoll.

Alle Werte unterliegen einer Ungenauigkeit von ca. 10 %. Diese können sich aus fehlerhaften Messgeräten (z. B. schwankende Digitalanzeigen, ungenaue Pipetten, ...), Analysenfehlern, dem Schätzen von Messwerten, falscher Probenlagerung oder auch durch fehlerhafte Berechnung zusammensetzen. Kleinere Ausreißer fallen damit in diesen Unsicherheitsbereich und werden nicht als Störung der Plausibilität der Probenreihen angesehen.

4.3 Durchflussmessung

Zur Ermittlung des Durchflusses des Baches Zubrnicky und dessen Zuflusses wurden Messwehre und Salztracer verwendet. Mittels des Tracers konnte die Fließgeschwindigkeit errechnet werden. Eine Flügelmessung war aufgrund des unregelmäßigen Gerinnequerschnitts und des zu geringen Wasserstandes nicht möglich.

Für die Berechnung des Durchflusses mittels Verdünnungsmethode wurden die Gleichungen 4 bis 8 verwendet. Um den Faktor F auszurechnen wurde für einen genaueren Leitfähigkeitswert 10 g Salz in 10 L Bachwasser gelöst. Dies wurde an der Messstelle 1 durchgeführt und der sich ergebende Leitfähigkeitswert für die Messstellen 2, 3 und 4 mit verwendet. Mittels der Verdünnungsmethode wurde die Fließgeschwindigkeit nach Gleichung 3-7 errechnet. Um den Durchfluss mittels des Messwehres zu errechnen wurde die Gleichung 3-3 angewendet.

In Tabelle 4-1 sind die Ergebnisse der Tracer- und Messwehrmessungen dargestellt.

Tabelle 4-1: Tracer- und Messwehrdaten und deren Durchflussergebnisse

Tracer	Messstelle 1	Messstelle 2	Messstelle 3	Messstelle 4
Datum; Uhrzeit	13.08.03; 9:00	13.08.03; 10:15	13.08.03; 11:30	13.08.03; 17:45
Messort	80 m südl. der Bachzusammenflüsse	nördl. Arm 50 m vor Bachzusammenflüsse	östl. Arm 50 m vor Bachzusammenflüsse	30 m vor Einmündung in Lucni Bach
Salzzugabe	40 g/l	40 g/l	40 g/l	40 g/l
Messstrecke	30 m	30 m	30 m	20 m
Messtakt	5 s	5 s	5 s	5 s
Grundwert	376 $\mu\text{S}/\text{cm}$	392 $\mu\text{S}/\text{cm}$	372 $\mu\text{S}/\text{cm}$	503 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Faktor F	0,5903	0,5959	0,5889	0,6382
Σ LF	73995	150066	176792	186725
Anzahl der Messwerte über dem Grundwert	185	345	452	338
Σ LF (b)	22175	74130	43240	83555
Durchfluss Q	3,1 L/s	0,9 L/s	1,6 L/s	0,8 L/s
Fließgeschwindigkeit	0,11 m/s	0,1 m/s	0,08 m/s	0,04 m/s
Messwehr	1	2	3	4
Überfallhöhe	6,5 cm	4 cm	5 cm	4,5 cm
Durchfluss Q	1,5 l/s	0,4 l/s	0,8 l/s	0,6 l/s

Die

Abbildung 4-4 zeigt den zeitlichen Verlauf der Tracermessungen.

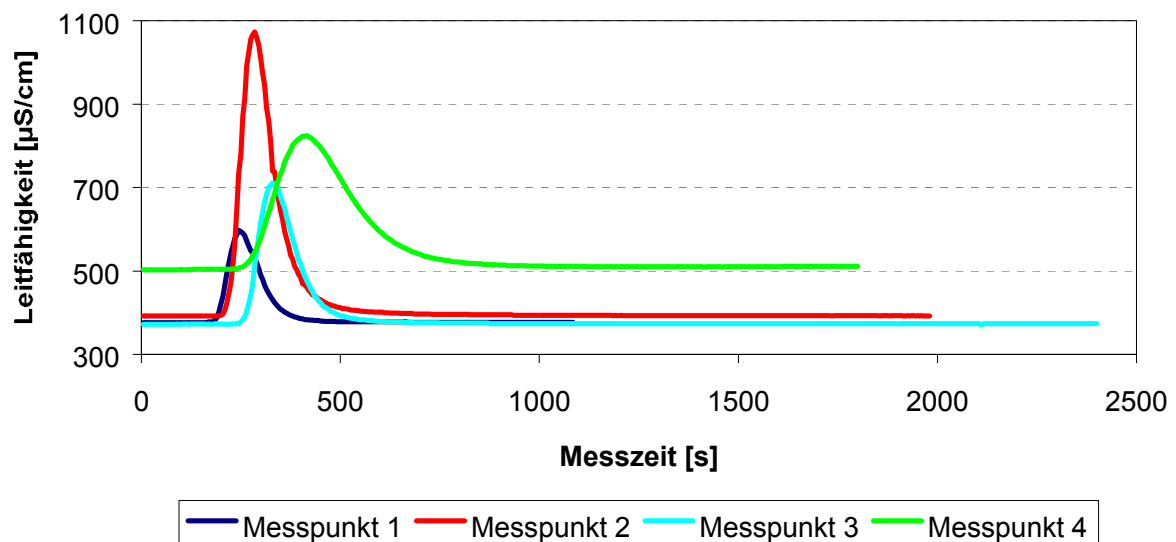


Abbildung 4-4: Tracermessungen an 4 Messpunkten: *Messpunkt 1* – 80 m südlich des Zusammenflusses Bach Zubrnicky mit nördlichem Zufluss, *Messpunkt 2* – an nördlichem Zufluss 50 m vor den Bachzusammenflüssen, *Messpunkt 3* – an östlichem Zufluss 50 m vor den Bachzusammenflüssen, *Messpunkt 4* – in Bach Zubrnicky 30 m vor der Einmündung in den Lucní-Bach

Die Messpunkte 1 bis 3, die nördlich des Ortes Zubrnice liegen (Karte 1), haben einen ähnlichen Leitfähigkeitsgrundwert von ca. 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dieser liegt unterhalb des Ortes vor der Einmündung in den Lucni Bach um ca. 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ höher bei 503 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Messungen oberhalb des Ortes weisen einen schmalen und im Falle der Messung 2 einen sehr hohen Peak auf. Der unterhalb des Ortes erhaltene Kurvenverlauf zeigt einen breiteren Peak. Alle Tracermessungen lieferten eine Kurve mit einem klaren Peak.

Die sich ergebenden Durchflüsse liegen für die Verdünnungsmethode für die beiden zusammenfließenden Armen bei 0,9 und 1,8 L/s. Nach dem Zusammenfluss oberhalb des Ortes Zubrnice beträgt der Durchfluss 3,1 L/s und unterhalb des Ortes 0,8 L/s. Das Messwehr liefert für die zusammenfließenden Arme 0,4 und 0,8 L/s, oberhalb von Zubrnice 1,5 L/s und unterhalb 0,6 L/s. Wie aus Tabelle 4-1 zu erkennen ist, liegen die Werte der Verdünnungsmethode um 0,2 bis 1,6 L/s höher. Gründe hierfür sind in der Fehlerdiskussion zu finden.

Nach dem Zusammenfluss oberhalb des Ortes liegen die Durchflüsse der zwei Methoden um 0,6 bzw. 0,3 L/s höher als die Addition der zusammenfließenden Arme ergeben würde, so dass, abgesehen von eventuell auftretenden Fehlern, anzunehmen ist, dass Grundwasser entlang des Baches austritt und eventuell Rohre in den Bach entwässern. Der niedrige Durchfluss nach dem Ort ist trotz vereinzelter Einleitungen durch Entnahme des Wassers durch die Anwohner zu erklären.

Die Fehlermöglichkeiten liegen bei der Durchführung der Verfahren, den Gerätefehlern, Ablese- und Abmessungsungenauigkeiten. Im Falle der Verdünnungsmethode sind die Fehler zurückzuführen auf nicht vollständige Vermischung, Adsorption des Tracer an z. B. Tonpartikel, der Abmessung der Ausgangssalzkonzentration und vorzeitiges Abbrechen bevor der Grundwert wieder erreicht worden ist. Die Fehlerpotenziale bei der Messwehrmethode liegen beim Einbau und der Messung der Überfallhöhe.

Die realen Durchflüsse liegen vermutlich zwischen den Ergebnissen der zwei Methoden, wobei sich vermuten lässt, dass aufgrund der genannten Fehlermöglichkeiten, die Durchflusswerte des Messwehres den realen Werten näher kommen.

Der Mittelwert der Fließgeschwindigkeit für die gemessenen Stellen liegt bei 0,08 m/s. Da es sich bei dem Zubrnicky um einen Mittelgebirgsbach handelt, dessen Längsprofil und das seiner Zuflüsse sehr unregelmäßig sind, kann dieser Mittelwert nur für den unteren Teil (etwa ab Beginn der Bachzusammenflüsse) des Baches als repräsentativ angesehen werden.

4.4 Pumpversuch

Der Pumpversuch der Arbeitsgruppe I fand auf dem Grundstück von Herrn Peter Röttig statt. Der im Februar 2002 gebohrte Brunnen dient neben der Brauchwasserbereitstellung auch der Energiegewinnung mittels Wärmepumpe. Der unvollkommene Brunnen wurde in kretazischen Sandstein abgeteuft, das zugehörige Bohrprofil findet sich in Abbildung 4-5.

Der Pumpversuch bzw. die Pumpzeit lief von Montag, 11.08.2003, 10:25 Uhr, bis Freitag, 15.08.2003, 7:30 Uhr, wobei 24 Stunden mit einer konstanten Förderrate betrug 1 L/s. Der Ruhewasserspiegel des ungespannten Grundwassers vor Pumpbeginn betrug 17,78 m u. POK, bei Pumpstopp lag der Grundwasserspiegel bei 18,725 m u. POK, was einer Absenkung von 94,5 cm entspricht. Der Wiederanstieg des Grundwassers wurde aus Zeitgründen nur bis zu einer Höhe von 17,875 m u. POK beobachtet und somit blieb bezüglich des Ruhewasserspiegels eine Restabsenkung von 9,5 cm (Abbildung 4-7).

	Geologie und Brunnenverfilterung	Lithologie	Höhe [müNN]	Mächtigkeit [m]	Stratigraphie
		Mutterboden			Quartär
		Toniger Lehm (Löß)	318,20	1,50	
		Schuttdecke, Geröll	312,00	6,20	Kreide - Coniak
10 m		Hell- bis mittelgrauer Sandstein	305,00	7,00	
20 m		Hell- bis mittelgrauer Sandstein (wassergesättigt)	295,00	10,00	
30 m		Tonhaltiger Sand- stein, mittelgrau	285,00	10,00	
40 m		Hell- bis mittelgrauer Sandstein	269,00	16,00	
50 m		Grauer Sandstein	265,00	4,00	

Abbildung 4-5: Bohrprofil Brunnen auf Privatgrundstück Röttig, Zubrnice, erstellt 2002, verändert (Quelle: ZUBRNICE-Peter Röttig, 2002)

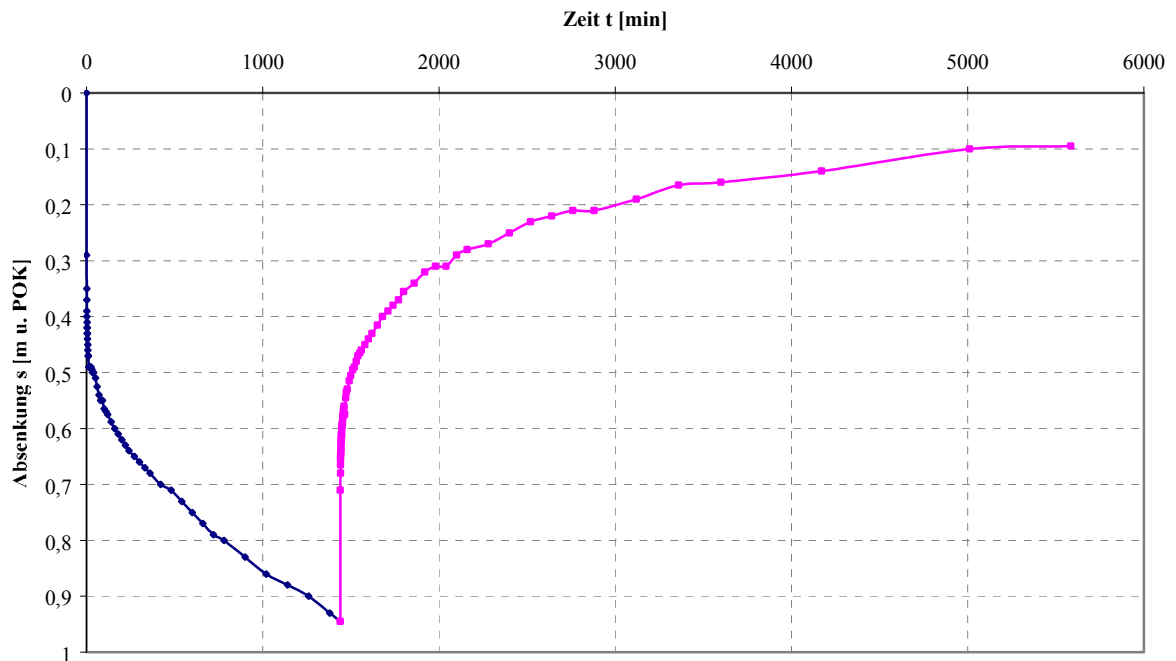


Abbildung 4-6: Grafische Darstellung des Pumpversuchs (blau = Absenkung, lila = Wiederanstieg)

Bei der Auswertung wurde auf das Auswertungsverfahren nach COOPER & JACOB zurückgegriffen, welches wiederum auf dem Verfahren nach THEIS beruht. Interessant für die Auswertung hinsichtlich des k_f -Wertes war dabei nur der Wiederanstieg, da ein Grundwasserbeobachtungsrohr bei dem Pumpversuch nicht zur Verfügung stand. Damit konnte auch nur die „Minimalvariante“ einer Pumpversuchsauswertung vollzogen werden, d.h. der Wiederanstieg im Brunnen, da für eine genauere Betrachtung mindestens eine zusätzliche Grundwassermessstelle mit einbezogen werden sollte.

Herangehensweise war zunächst, die Wiederanstiegskurve semilogarithmisch aufzutragen, um daraus $\Delta s'$ einer logarithmischen Dekade zu ermitteln. Dabei wird s' (Restabsenkung) über den Quotient aus t/t' (t – Zeit seit Pumpbeginn, t' – Zeit seit Pumpstopp) aufgetragen und eine Regressionsgerade in die Kurve gelegt. Aus dieser kann dann $\Delta s'$ für eine Dekade abgelesen werden.

Die Transmissivität T ergibt sich nach diesem Auswerteverfahren aus

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta s'} \quad \text{Gleichung 4-1}$$

T - Transmissivität [m^2/s]

Q - Förderrate während der Absenkung [m³/s]

Δs' - Änderung der Restabsenkung für eine Dekade [m]

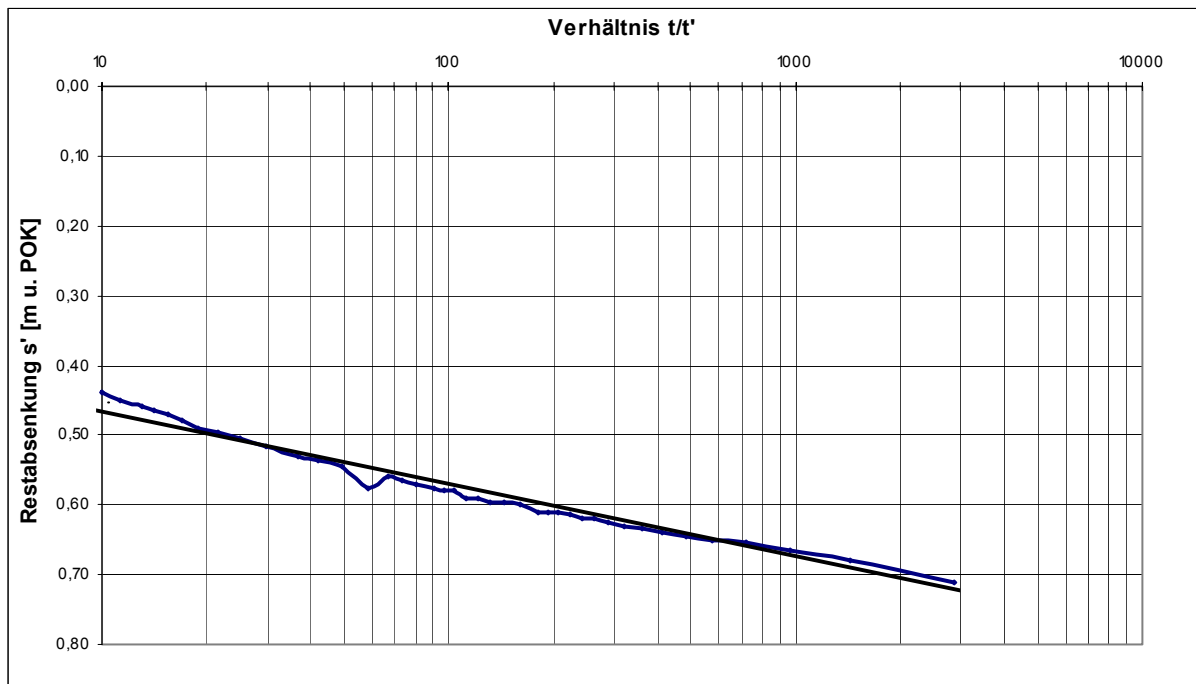


Abbildung 4-7: Restabsenkung s' gegen das Verhältnis t/t' (blaue Kurve), gemittelt durch Trendlinie (schwarz)

Aus der Transmissivität T erhält man den k_f-Wert (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit).

$$k_f = \frac{T}{M} \quad \text{Gleichung 4-2}$$

M – grundwassererfüllte Mächtigkeit [m]

Für die logarithmische Dekade 10 bis 100 für das Verhältnis t/t' ergeben sich Restabsenkungen s' von 0,58 m bzw. 0,48 m und damit eine Änderung Δs' von 0,1 m. Bei einer Förderrate von 0,001 m³/s ergibt sich für die Transmissivität T ein Wert von

$$T = 0,183 \cdot 0,001 \text{ m}^3/\text{s} / 0,1 \text{ m} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

und damit bei einer angenommenen grundwassererfüllten Mächtigkeit von 37,22 m ein k_f-Wert von

$$k_f = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} / 37,22 \text{ m} = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Die Annahme der Mächtigkeit M ist nur eine Vereinfachung, da der Sandstein als vorhandener Grundwasserleiter lediglich angebohrt wurde, seine Mächtigkeit jedoch nicht bekannt ist. Da diese Vorgehensweise auch bei dem vorliegenden Bericht (ZUBRNICE-Peter Röttig; Hydrogeologický průzkum pro zajištění podzemní vody jako zdroje geotermální energie (2002)) angewandt wurde, ist eine Vergleichbarkeit der Daten gegeben.

Unter der Annahme eines stationären Strömungszustand (Vereinfachung, da dieser nach Ende der Pumpzeit nicht erreicht worden ist), ergibt sich die Reichweite des Absenktrichters R nach SICHARDT mit

$$R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k_f} \qquad \text{Gleichung 4-3}$$

R - Reichweite des Absenktrichters [m]

s - Absenkung des Brunnenwasserspiegels [m]

k_f - Durchlässigkeitsbeiwert (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) [m/s]

$$R = 3000 \cdot 0,945 \text{ m} \cdot (4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s})^{1/2} = \mathbf{19,8 \text{ m}}$$

Verglichen mit den Daten von einem Pumpversuch vom 11.03.2002 für den Brunnen (siehe Bericht, ($T = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $k_f = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) liegen die Ergebnisse des jetzigen Pumpversuches $T = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ und $k_f = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ nah an diesen Werten. Somit kann aus den Daten der Pumpversuchsauswertung der anstehende Sandstein laut Geologischem Jahrbuch (S. 61, HK 50 Vorschlag, 1997) als mäßig guter Grundwasserleiter eingeschätzt werden.

Eine anfangs in Erwägung gezogene Schutzzonenausweisung für den Nutzbrunnen des Herrn Röttig konnte letzten Endes nur in einer ersten Näherung durchgeführt werden. Grund dafür waren vor allem fehlende Daten von Grundwasserständen aus Beobachtungsrohren bzw. Hausbrunnen, die für eine annähernd genaue Beurteilung von Grundwasserfließrichtung und Gefälle nötig gewesen wären. Somit konnte eine Ausweisung der Schutzzonen nur dahingehend erfolgen, dass der Fassungsbereich (Schutzzone I) wie üblich (laut W101) ca. 10 m um den Brunnen herum gelegt wird und die engere Schutzzone (Schutzzone II) die mindestens geforderten 100 m vom Fassungsbereich entfernt in Fließrichtung des Grundwassers festzulegen ist.

Die weitere Schutzzone (Schutzzone III) wird vereinfacht dem oberirdischen Einzugsgebiet gleichgesetzt. All diese Vereinfachungen und Annahmen zusätzlich zu der Tatsache, dass es sich bei dem Brunnen um einen Brauchwasserbrunnen handelt, lassen den Sinn der Ausweisung von Trinkwasserschutzzonen fraglich erscheinen.

4.5 Bodenkundliche Untersuchungen

4.5.1 Infiltrometer

Im Rahmen der bodenkundlichen Untersuchungen wurden insgesamt 5 Infiltrometerversuche in drei unterschiedlichen Landnutzungseinheiten durchgeführt. Die Infiltrometerversuche auf der Wiese bzw. Weide wurden direkt westlich bzw. nördlich der Ortschaft Zubrnice durchgeführt. Der Infiltrometerversuch im Waldgebiet wurde im Bereich des Regenwasserrückhaltebeckens in Kern des Untersuchungsgebietes bei Probenahmepunkt P7 durchgeführt.

Die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Böden wiesen keine deutlichen Unterschiede voneinander auf, lediglich die Weidefläche zeigte eine höhere Lagerungsdichte. Die Humusgehalte aller Flächen schwanken nach KA 4 in einem Bereich von mittel bis stark humos ohne erkennbare Abhängigkeit von der Nutzungsart. Alle Böden wiesen braune bis dunkelbraune Farben auf, wobei der Wald eine deutlich intensivere Brauntönung (höherer Humusgehalt) zeigte. Mittels Fingerprobe (gemäß KA 4) wurden der Wald- und Wiesenböden als schwach schluffiger Ton (Tu2), die Weide als mitteltoniger Lehm (Lt3) eingestuft.

Vor Beginn der eigentlichen Messungen erfolgte eine Aufsättigung der zu untersuchenden Böden, wobei die hierfür notwendige Zeit in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und – durchlässigkeit stark schwankte. Nach Ermittlung der Infiltrationsdauer sowie der Infiltrationsmenge ist die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes der oberen Bodenschichten mit Hilfe der Gleichung 12 möglich.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Infiltrometerversuche im Untersuchungsgebiet I

Messpunkt	Länge	Breite	Beschreibung	Versuch Nr.	Infiltrationsmenge [L]	Zeit t [s]	k _f -Wert	
							Infiltrometer [m/s]	Gemäß KA 4 [m/s] ¹
IP 1	50°39'59,6''	14°13'14,7''	Weide	1	1	7200	4,63 * 10 ⁻⁶	1,16 * 10 ⁻⁶ (Ld = 3) ²
IP 2	50°39'15,1''	14°13'50,2''	Wald	1	1	580	5,76 * 10 ⁻⁵	1,74 * 10 ⁻⁶ (Ld = 2) ²
				2	1	625	5,33 * 10 ⁻⁵	
IP 3	50°38'59,6''	14°12'54,7''	Wiese	1	1	3290	1,01 * 10 ⁻⁵	1,16 * 10 ⁻⁶ (Ld = 2) ²
				2	1	3415	9,76 * 10 ⁻⁶	

¹ Bestimmt über Bodenart gemäß KA 4 (1994)

² Ld – Lagerungsdichte, mittlere Lagerungsdichte entspricht 3, geringe 2

Die ermittelten k_f-Werte befinden sich im Bereich der Schlecht- bzw. Geringleiter, wobei die Weide die geringste Durchlässigkeit aufweist. Dies ist vermutlich auf stärkere Befahrung mit landwirtschaftlichen Nutzfahrzeugen und die teilweise Beweidung (v. a. Rind) sowie auf sehr flache Feindurchwurzelung zurückzuführen. Hingegen findet man in den Wald- und Wiesenbereichen eine tiefer reichende Durchwurzelung sowie eine stärkere Bodenlebenaktivität (z.B. Regenwurm), was zu einer erhöhten Makroporenbildung führt.

Anzumerken ist, dass die durch Infiltrometerversuche ermittelten Werte generell höher als die mit Hilfe der KA 4 bestimmten Werte liegen, bei welchen die nicht vor Ort bestimmte Lagerungsdichte wahrscheinlich zu einer Fehleinschätzung des Durchlässigkeitsbeiwertes führte. Ebenso kann es durch die lange Trockenperiode der zurückliegenden Wochen in den stark tonigen Böden zur Bildung von Schrumpfrissen kommen. Wurde der Boden bei den Infiltrometerversuchen nicht vollständig wassergesättigt, so kann es zu einem schnelleren Versickern des Wassers in diesen Rissen kommen. Bei vollständiger Wassersättigung, wie z.B. auf der Waldfläche nach Aufgabe von ca. 40 L, verschließen sich die Poren durch Quellung der Tonminerale, so dass sich die im Feld und über KA 4 ermittelten Werte relativ gut aneinander annähern.

4.6 Bestimmung mineralischer Stickstoff

Ziel der Untersuchung ist, den verfügbaren Pflanzennährstoff Stickstoff (N_{\min}) für die Weiden- und Waldnutzung zu ermitteln. Dazu wird ein lösliches Salz (KCl) der Bodenprobe zugegeben um über die austauschbaren Ionen der festen Bodensubstanz die Nährstoffkonzentration zu ermitteln. Zu N_{\min} zählen die Nitrat- und Ammonium-Ionen, die beide von Pflanzen aufgenommen werden können. Die N-Zufuhr bei ungedüngten Böden erfolgt zu 50 % über die Mineralisierung organischer Substanz, dabei handelt es sich um „nachlieferbare Nährstoffe“ (zählen nicht zu N_{\min}).

Für die Bestimmung der Feinbodenart mittels Fingerprobe wurde die Bodenkundliche Kartieranleitung 1994 (KA 4) genutzt. Der Wassergehalt ergab sich nach Gleichung 3-12. Die Bestimmung des mineralischen Stickstoff N_{\min} wurde wie im Methodikteil erwähnt durchgeführt. Dabei wurden die Proben vor der photometrischen Messung 1:1 mit destilliertem Wasser verdünnt, um den Messbereich nicht zu überschreiten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-3 dargestellt.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchung

	Weide	Wald
Feinbodenart	Tu2 (schwach schluffiger Ton)	Ls2 (schwach sandiger Lehm)
Atro-Bodenmenge	13 g	23 g
Wassergehalt	13 %	23 %
Nitratbestimmung		
mittels Photometer	12,3	10,3
Verdünnungsfaktor (2)	24,6	20,5
Nitratgehalt [mg/kg]	738,6	612,1
Ammoniumbestimmung		
mittels Photometer	2,5	3,1
Verdünnungsfaktor (2)	4,9	6,2
Ammoniumgehalt [mg/kg]	147,6	185,8
N_{\min} [mg N/kg Boden]	886,2	797,9

Durch die Bestimmung der Feinbodenart dieser und der Böden des Infiltrationsversuchs konnte festgestellt werden, dass die Böden im Einzugsgebiet I sehr tonig bzw. lehmig sind. Aufgrund der hohen Ton- und Schluffgehalte von im Mittel über 75 % können diese Böden große Mengen an Stickstoff adsorbieren. Dieser Aspekt und zusätzlich die ausgeprägte Trockenheiten führen zu den diesen N_{\min} -Gehalten von ca. 800 bzw. 890 mg N/kg Boden im Wald und auf der Wiese. Aufgrund der Trockenheit kann es nicht zu Auswaschung der Ionen in den Untergrund kommen und sie reichern sich somit in den oberen Horizonten durch den Abbau organischer Substanz an. Weiterhin kann als allgemeine Inputquelle anthropogene Emissionen z. B. Kohleverbrennung genannt werden.

Der Unterschied von ca. 90 mg N/kg Boden des N_{\min} -Gehaltes der Weide zu dem des Waldes, ist mit der Nutzung der Weide als „Kuhweide“ zu erklären. Ein Vergleich der N_{\min} -Gehalte mit charakteristischen Gehalten für ton- und schluffreiche Böden konnte aufgrund fehlender Angaben nicht durchgeführt werden.

Die um 10 % verschiedenen Wassergehalte (Weide 13 %, Wald 23 %) sind mit einem einsetzenden Regenschauer während der Probenahme zu begründen.

4.7 Bodenerosionsmodellierung mit EROSION 2D

Aufgrund der Lage ergeben sich reliefbedingt erosionsgefährdete Hänge im Untersuchungsgebiet. Dies führte zu der Fragestellung, ob während eines Starkniederschlagsereignisses Oberboden in die Bäche hineingespült wird. Zur Beantwortung dieser Frage wurde das Erosionssimulationsmodell EROSION 2D verwendet. Das Programm eignet sich für die Berechnung des Sedimentaustrages an einem Schlag (Hang). Die Simulation wurde für einen Weidenhang nördlich des Zusammenflusses des Zubrnicky mit seinem nördlichen Seitenarm durchgeführt, da dieser direkt an den Bach heranreicht und somit vermutlich von ihm Bodenabtrag erwartet wird. Die Hanglänge beträgt 120 m mit einem Höhenunterschied von 30 m bei einem, laut topographischer Karte, gleichmäßigen Gefälle. Die Parameter entstammen teilweise aus dem Parameterkatalog zum Modell oder wurden den aktuellen Bedingungen mit einer Abschätzung angepasst. Als Feinbodenart diente die Bewertung der Weide aus dem Infiltrationsversuch mit Lt3 (mittel toniger Lehm). Das Starkniederschlagsereignis wurde mit einem Wiederkehrintervall T von 50 Jahren festgelegt, die Werte stammen aus einer mitgelieferten Datei des Modells, die für das Erzgebirge gilt. Bei diesem simulierten Ereignis fallen innerhalb einer Stunde 38 mm Niederschlag, was als Basis für die Modellierung genommen wurde. Die Eingabewerte für die Bodenparameter befinden sich in Tabelle 4-4.

Tabelle 4-4: Eingabeparameter für das Modell EROSION 2D

Distanz [m]	Dichte	Corg	AWG	EroW	Rauh	BG	Korr	fT	mT	gT	fU	mU	gU	fS	mS	gS
0 bis 120	1550	1,2	26	0,02	0,2	70	1	0	35	0	17	21	12	9	5	1

- Erklärung:
- Dichte [kg/m^3]
 - Corg – organischer Kohlenstoffgehalt [M%],
 - AWG – Anfangswassergehalt [Vol%],
 - EroW – Erosionwiderstand [N/m^2],
 - Rauh – Oberflächenrauigkeit [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$],
 - BG – Bedeckungsgrad [%],

- Korr – Korrekturfaktor,
- T,U,S – Feinbodenfraktionen [M%] im Fein- (f), Mittel- (m) und Grobbereich (g)

Das Ergebnis der Simulation beträgt 48 kg Bodenaustrag /ha. Nimmt man die ca. 890 mg N/kg Boden aus der N_{\min} -Berechnung für die Weide, werden ca. 43 g N/ha Boden pflanzenverfügbarer Stickstoff in den Bach eingetragen. Bei einem angenommen punktförmigen Stickstoffeintrag von 43 g an einer Stelle mit einem sich einstellenden Durchfluss von 20 l/s (Abschätzung) für das angesetzte Niederschlagsereignis ergibt sich eine Konzentration von 215 mg N/l. Rechnet man die bestimmten Stickstoffkonzentrationen der analysierten Wasserprobe des Probenahmepunktes 4 hinzu, ergibt sich eine Konzentration von 222 mg N/l nach dem Bodeneintrag (Voraussetzung, dass sich der gesamte Stickstoff im Wasser löst). Es muss hier zudem erwähnt werden, dass der Stickstoffeintrag nicht punktuell, sondern über den gesamten Hangfußbereich eingetragen wird. Folglich reduziert sich die Stickstoffkonzentration erheblich.

Diese Simulation soll einen Ansatz liefern über die Möglichkeiten die Zusammenwirkung verschiedener Ökosphären, in diesem Fall Hydro- und Pedosphäre, mittels Berechnungen darzustellen. Die für diese Modellierung größte Fehlerquelle stellen die prozentualen Anteile der einzelnen Kornfraktionen dar, da eine geringfügige Erhöhung des Tongehaltes auf z. B. 40 % den Bodenaustrag bei dem gleichen Niederschlagsereignis auf 0 kg/ha senkt. Eine Korngrößenanalyse würde genauere Werte der Kornfraktionen liefern. Weiterhin, in Bezug auf die Gesamtstickstoffkonzentration im nördlichen Zufluss, ist der angenommene Durchfluss durch eine entsprechende Modellierung (z.B. BOWAM-02) exakter festlegbar. Dazu müssten aber weitere meteorologische Daten außer dem Niederschlag vorhanden sein.

Aufgrund der zur Verfügung stehenden Ergebnisse wie tonig-lehmige Böden und die erosionsmindernde extensive Landnutzung, welche einen hohen Bedeckungsgrad und hohe Makroporenanteile (Sekundärporen durch erhöhte biologische Aktivität) zur Folge hat, kann für das Einzugsgebiet des Zubrnicky festgestellt werden, dass die Erosionsgefahr und somit der Sedimenteintrag für Niederschlagsereignisse mit niedrigem Wiederkehrintervall ($T < 20$ a) sehr gering bis nicht vorhanden ist. Somit werden die Bäche kaum durch sedimentbeladene Oberflächenabflüsse hinsichtlich des Bodeneintrages und den daraus resultierenden chemischen Veränderungen des Wassers belastet. Ausnahmen stellen extreme Starkregenereignisse ($T = 50$ a, wie Simulation) dar, bei denen das Wasser zunehmend belastet wird.

4.8 Chemische Modellierung

Die Analysen der Wasserproben von Messstelle 9 und der Rohreinleitung (Messstelle 10) etwas weiter bachabwärts des Baches Zubrnicky unterscheiden sich hinsichtlich einiger chemischer Parameter deutlich (z.B. Nitrat). Mit der Phreeqc-Modellierung sollte die chemische Zusammensetzung des Mischungswassers untersucht werden, wobei dabei die Wässer entsprechend der Durchflüsse „verschnitten“ wurden (34 % Rohreinleitung, 66 % Zubrnicky-Bach).

Dazu wurde ein PHREEQC-Programm mit den entsprechenden Ergebnissen der Analysen von Messstelle 9 und 10 und dem Mischungsverhältnis geschrieben. Ein Auszug des Ergebnisses der PHREEQC-Simulation ist in Tabelle 4-5 dargestellt. Die vom Programm ausgegebenen Werte wurden dabei von mol/L in mg/L umgerechnet.

Tabelle 4-5: Ergebnisse der Chemischen Modellierung mit Phreeqc, Datengrundlage sind Wasserproben der Probenahmepunkte P9, P10 und P4 sowie deren Mischwasser

	Mischwasser 1		Mischwasser 2		Mischwasser 2	Messpunkt 5
	Messpunkt 9	Messpunkt 10	Mischwasser 1	Messpunkt 4		
Mischung	66%	34%	63%	37%		
Temperatur [°C]	17,9	14,7	16,8	15,6	16,4	16,9
pH	8,4	7,6	8	8,3	8,1	8,4
E _H [mV]	368	800	789	375	785	408
Ca ²⁺ [mg/L]	54,51	52,91	53,99	52,91	53,59	51,3
Mg ²⁺ [mg/L]	16,53	27,23	20,16	21,39	20,61	16,53
K ⁺ [mg/L]	1	1,3	1,1	1	1,1	1
Na ⁺ [mg/L]	7,9	4,3	6,68	8	7,17	12
O ₂ [mg/L]	10,8	8,6	9,5	8,5	9,58	8,5
HCO ₃ ⁻ [mg/L]	79,3	85,4	81,74	103,7	85,6	91,5
SO ₄ ²⁻ [mg/L]	57	63	60,93	53	58	60
Cl ⁻ [mg/L]	1,49	1,17	1,38	1,17	1,3	1,06
NO ₃ ⁻ [mg/L]	11,88	26,4	17,04	7,04	13,4	10,56
NO ₂ ⁻ [mg/L]	0,02	0,01	0	0,03	0	0,02
PO ₄ ³⁻ [mg/L]	0,29	0,15	0,24	0,28	0,25	0,18
NH ₄ ⁺ [mg/L]	0,08	0,01	0	0,05	0	0,1

Das Mischwasser 1 wurde nun noch mit dem Wasser des nördlichen Seitenarmes des Zubrnicky (Messstelle 4) erneut vermischt, um die Werte mit den Ergebnissen von Messstelle 5 vergleichen zu können (Tabelle 4-5).

Aus den Daten der Tabelle 4-5 ist zu erkennen, dass das 1. Mischwasser eine chemische Zusammensetzung entsprechend den Anteilen der Wässer enthält und sich auch Parameter wie der pH-Wert sich in der Mitte befinden. Auffällig ist allerdings das immer noch hohe Redoxpotential bezüglich der Normalwasserstoff-Elektrode. Der hohe Nitratgehalt der Rohrleinleitung verringert sich entsprechend der Verdünnung, die geringen Gehalte der Ursprungswässer an Ammonium und Nitrit verschwinden ganz. Die Ionenstärke des Mischwassers 1 beträgt $6,1 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Der prozentuale Fehler der Ionenbilanz beträgt 24,8 %.

Das modellierte Mischwasser 2 aus Mischwasser 1 und Wasser vom nördlichen Zufluss weist ebenfalls wieder keine Auffälligkeiten bezüglich der chemischen Parameter im Vergleich zu den Ausgangswässern auf. Der Nitratgehalt wurde weiter reduziert, Ammonium und Nitrit fehlen erneut. Immer noch besonders hoch ist der E_H -Wert. Die Ionenstärke wurde erneut von PHREEQC $6,1 \cdot 10^{-3}$ mol/L simuliert, der Fehler der Ionenbilanz erhöhte sich leicht auf 25,2 %. Verglichen mit den Ergebnissen der Analysen von Messstelle 5 weisen die Parameter unter Berücksichtigung eines einzuplanenden Fehlers von 10 % für die Laborergebnisse ähnliche Werte auf. Eine gravierende Abweichung weist der E_H -Wert auf. Die Magnesium- und Nitrat- Werte sind beim Mischwasser gegenüber der Analyse vom Wasser des Probenahmepunktes 5 erhöht, Natrium und Hydrogencarbonat geringer.

4.9 Ausweisung der Schutzzonen

Die Ausweisung der Trinkwasserschutzzonen I bis III erfolgte für die Quellfassung (Hochbehälter) nahe dem Flusslauf des Zubrnicky, welche sich etwa 300 m nördlich der Ortschaft Zubrnice befindet. Der Brunnen auf dem Privatgrundstück des Herrn Röttig fand keinen Eingang in die folgenden Betrachtungen, da dieser lediglich für Brauchwasserzwecke geplant wurde und zurzeit genutzt wird.

4.9.1 Ausweisung der Trinkwasserschutzzone I

Gemäß W101, wie für Quellfassungen empfohlen, erfolgte die Ausweisung der Schutzzone I für den Hochbehälter in einem Radius von 20 m um die Fassung herum.

4.9.2 Ausweisung der Trinkwasserschutzzone II

Die Ausweisung der Schutzzone II konnte nicht gemäß der 50-Tage-Linie erfolgen, da die hierfür notwendigen Parameter des Grundwasserleiters nicht verfügbar waren. Darunter fallen die Förderrate des Hochbehälters, die Tiefe, aus der gefördert wird, bzw. die Tiefe des Ruhegrundwasserspiegels sowie die Kenngrößen des Grundwasserleiters selbst, wie Gefälle, Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient. Dem entsprechend war eine Berechnung der Entnahmebreite und -länge nicht möglich. Zudem musste eine Verbindung der oberflächlichen Gerinne mit dem Grundwasser angenommen werden, da vermutlich aus dem oberflächennahen Sandsteingrundwasserleiter gefördert wurde. Aus diesem Grund wurde die Schutzzone II dem Verlauf der oberflächlichen Gerinne angepasst und auf einen Gewässerrandstreifen von 50 m ausgedehnt.

4.9.3 Ausweisung der Trinkwasserschutzzone III

Da einzig der k_f -Wert des Grundwasserleiters aus dem auf dem Privatgrundstück Röttig durchgeführten Pumpversuch abschätzbar ist, das Gefälle des Grundwasserspiegels und somit die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers jedoch unbekannt sind, kann eine genaue Bemessung nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass sich die Ausdehnung des unterirdischen Einzugsgebietes mit dem oberirdischen Einzugsgebiet des Zubrnicky deckt, so dass die westliche, nördliche und östliche Grenze mit dem Untersuchungsgebietsgrenzen übereinstimmen. Die südliche Grenze ergibt sich durch einen höhenlinienparallelen Verlauf in Bezug zur Höhenlage des Hochbehälters. Hierbei sollte die Kulmination mit berücksichtigt werden, so dass die Höhenlage für die Grenze einige Meter unterhalb der des Hochbehälters liegen sollte.

4.10 Diskussion

Das oberirdische Einzugsgebiet des Zubrnicky wird überwiegend forstwirtschaftlich genutzt, d.h. mehr als 50% der Gebietsfläche sind bewaldet. Dabei konnte beobachtet werden, dass die in der topographischen Karte eingezeichneten Nadelwälder zusehends in Mischwälder umstrukturiert werden. Des Weiteren nimmt die Wiese- und Weidenutzung, in Form einer extensiven Landwirtschaft über 40% ein. Die Siedlungsfläche spielt nur eine untergeordnete Rolle. Von der früheren Nutzung in Form von Streuobstwiesen sind nur noch vereinzelte Relikte anzutreffen.

Von hydrogeologischer Bedeutung sind die geklüfteten tertiären Basalte sowie kretazischen Sandsteine, welche die Grundwasserleiter des Gebietes darstellen. Ungeklüftete Basalte sowie

die ebenfalls vom tertiären Vulkanismus herrührenden Tuffite bilden die Grundwasserstauer. Der geklüftete Sandstein ist ein „double porosity“ Aquifer, dessen k_f -Wert mit $5 \cdot 10^{-5}$ m/s durch einen Pumpversuch bestimmt wurde. Der Ruhewasserspiegel wurde während der Pumpversuchsdauer nicht wieder erreicht, was durch die lang anhaltende Trockenheit zu begründen ist. Das Bachsystem wird von überwiegend diffusen Stau- bzw. Schichtquellen gespeist, die zumeist im Bereich des Deluviums austreten.

Die ausgeprägte Trockenperiode des Sommerhalbjahres 2003 spiegelt sich auch in den Durchflussmessungen wieder. Aus dem Vergleich der ermittelten Durchflüsse mit den Jahren 1998, 2001 und 2002 lässt sich ableiten, dass die ausgeprägte Trockenperiode zu einer Senkung der Durchflüsse am Zubrnicky Bach und seinen Zuflüssen um 10 bis 50 % führt. Zusätzlich trägt auch die Wasserentnahme aus dem Bach innerhalb des Siedlungsgebietes für z. B. Gartenbewässerung zu dieser Verminderung des Durchflusses bei.

Die Ergebnisse der Wasseranalysen unterscheiden sich kaum von den Werten der letzten Jahre. Lediglich die Nitratwerte liegen etwas niedriger, was auf die fehlenden Niederschläge und die damit verhinderte Auswaschung aus den umgebenden Böden zurückzuführen ist. Der erwartete starke anthropogene Einfluss durch die Siedlung blieb aus. Wahrscheinlich verfügen fast alle Grundstücke über eine hauseigene Abwassersammelanlage. Die Abwässer, die dennoch in den Bach gelangen, werden relativ schnell verdünnt oder durch den starken Uferbewuchs gefiltert.

5 UNTERSUCHUNGSGEBIET II

Kurzfassung

Das zu untersuchende Teilgebiet II liegt östlich des Dorfes Zubrnice im Böhmischem Mittelgebirge in Tschechien. Das Gebiet erstreckt sich in einer Höhe von etwa 300 bis 600 m ü. NN über eine Fläche von rund 3 km² in einem Seitental der Elbe.

Das Untersuchungsgebiet wird weitestgehend extensiv landwirtschaftlich genutzt und ist von kleinen Wäldern und Heckenstreifen durchzogen. Es wird entwässert durch den Lucni- Bach und dessen Zuflüssen. Den bedeutendsten Zufluss stellt der Bach durch den Ort Kninice dar. Die Geologie wird durch anstehende tertiäre Vulkanite und Pyroklastika repräsentiert, sowie durch kretazische Sandsteine. An den Hängen sind weit aushaltende Hangschuttdecken des Quartärs (Delluvium) zu finden und in den Flussauen holozäne Auenlehme. Aus hydrogeologischer Sicht befinden sich in der Kreide zwei Porengrundwasserleiter (wenn geklüftet, dann mit doppelter Porosität) und in dem Vulkanit, welcher die Kreide diskordant durchschlägt, ein Kluftgrundwasserleiter. Zur hydrologischen und hydrogeochemischen Charakterisierung des Untersuchungsgebietes wurden die Oberflächengewässer an insgesamt sieben Punkten beprobt (z.T. doppelt) und sowohl vor Ort als auch im Feldlabor analysiert. Ziel dieser Beprobung war die chemische und physikalische Charakterisierung des Lucni-Baches und dessen Zuflüssen, besonders im Zusammenhang mit der anthropogenen Beeinflussung durch die beiden Ortschaften Zubrnice und Kninice, welche sich im Untersuchungsgebiet befinden. Für die Auswertung der chemischen Parameter wurde zusätzlich eine Modellierung mit dem Programm PhreeqC durchgeführt. In einem Brunnen im oberen kretazischen Grundwasserleiter wurde ein Pumpversuch durchgeführt. Dessen Zielsetzung war es, die Transmissivität und den Durchlässigkeitsbeiwert für die Ausweisung von Schutzzonen für die Trinkwasserversorgung der Ortschaft Zubrnice zu bestimmen. Zur Charakterisierung der Grundwässer wurden an zwei Brunnen, wovon einer der Pumpversuchsbrunnen war, Proben genommen. An diesem wurde die Eignung für die Trinkwasserversorgung untersucht. Ein wichtiger Aspekt der Hydrologie ist die vertikale Durchlässigkeit des Bodens, welche mit Hilfe von Infiltrationsversuchen in verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebietes bestimmt wurde. Der Boden wird als sehr stark durchlässig eingestuft, was Auswirkungen auf den Gebietswasserhaushalt hat.

5.1 Einleitung

Das Kartierungsgebiet II sollte während des zehntägigen Praktikums hydrogeologisch, hydrologisch und hydrogeochemisch charakterisiert werden. Grundlage zur Bearbeitung dieser Aufgabenstellung war die Kartierung des Untersuchungsgebietes und dessen graphische Darstellung unter Zuhilfenahme des GIS-Programmes TNTmips.

Schwerpunkt der Untersuchungen sollte zum einen die hydrogeochemische und zum anderen die wasserhaushaltliche Bilanzierung sein. Zudem wurde ein Pumpversuch durchgeführt, um die hydraulischen Verhältnisse des Gebietes zu erkunden, welche die Grundlage für eine Schutzzonenausweisung und ein Konzept für die Trinkwasserversorgung der Ortschaft Zubrnice bildeten. Die wasserchemischen Analysen und Modellierungen sollten mit dem Ziel durchgeführt werden, das Untersuchungsgebiet hinsichtlich anthropogener Beeinflussung – ggf. auch Beeinträchtigung - der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu kennzeichnen. Zusätzliche Bodenuntersuchungen mit Infiltrationsversuchen und mineralischer Stickstoff-Bestimmung sollten einen ergänzenden Aspekt in das Praktikum einbringen.

Spezielle Fragestellungen waren zudem der Vergleich von Grund- und Oberflächenwasser, die Beurteilung eines Dorfbrunnens hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten, die Modellierung der Mischungsverhältnisse zweier Fließgewässer sowie die Klassifizierung der beprobten Wässer.

5.2 Gebietsbeschreibung

5.2.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet II befindet sich östlich der Ortschaft Zubrnice auf einer Höhe von ca. 300 m ü. NN (Lucni-Bach) bis 600 m ü. NN (Ostteil des Gebietes) im Böhmisches Mittelgebirge. Die Fläche beträgt ca. 3,1 km² (Karte 7-4). Im Norden endet das Gebiet auf Höhe der oberirdischen Einzugsgebietsgrenze des Kninice-Baches, im Westen wird die Grenze ungefähr durch das Ortsende von Zubrnice am Lauf des Lucni-Baches markiert. Das Teilgebiet II wird von der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Überlandstraße 206 gequert, im Süden zweigen zwei Straßen nach Kninice ab. Charakteristisch für das Landschaftsbild des Untersuchungsgebietes sind die nach Nordosten und Südwesten hin aus der Talauflage ansteigenden Hänge. Die Hangflächen wurden früher ackerbaulich genutzt bzw. waren Obstanbauflächen. Heute unterliegen sie häufig der Sukzession oder aber werden als Mähwiesen unterhalten. Zwischen diesen Arealen befinden sich hangparallel Hecken bzw. Gehölzstreifen, die sich bei fehlender Pflege ausgebreitet haben.

5.2.2 Geologie

Im Untersuchungsgebiet sind Sedimente, Sedimentite und Vulkanite der Kreide, des Tertiärs und des Quartärs aufgeschlossen (Karte 7-6). Östlich der Ortschaft Zubrnice bis südlich zum Lucni-Bach sind oberkretazische Sandsteine anzutreffen. In den Hanglagen des Untersuchungsgebietes lassen sich Basalte (z. T. olivinreich), Tuffite und Pyroklastika aus dem Tertiär als Lesesteine finden. Auch südwestlich des Lucni-Baches sind am Hang die gleichen Pyroklastika vorhanden.

Der Lucni-Bach, welcher sich von Südosten nach Nordwesten durch das Untersuchungsgebiet zieht, hat sich an einer in Zusammenhang mit der alpidischen Orogenese entstandenen Störung ausgebildet. Am Hangfuß und im Bachbett ist der pleistozän entstandene Hangschutt (Diluvium) der tertiären und kretazischen Gesteine anzutreffen. Der Bach selbst ist zusätzlich noch mit holozänen, fluviatilen Schluffen und Sanden verfüllt.

Die wichtigsten anzutreffenden Gesteine sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

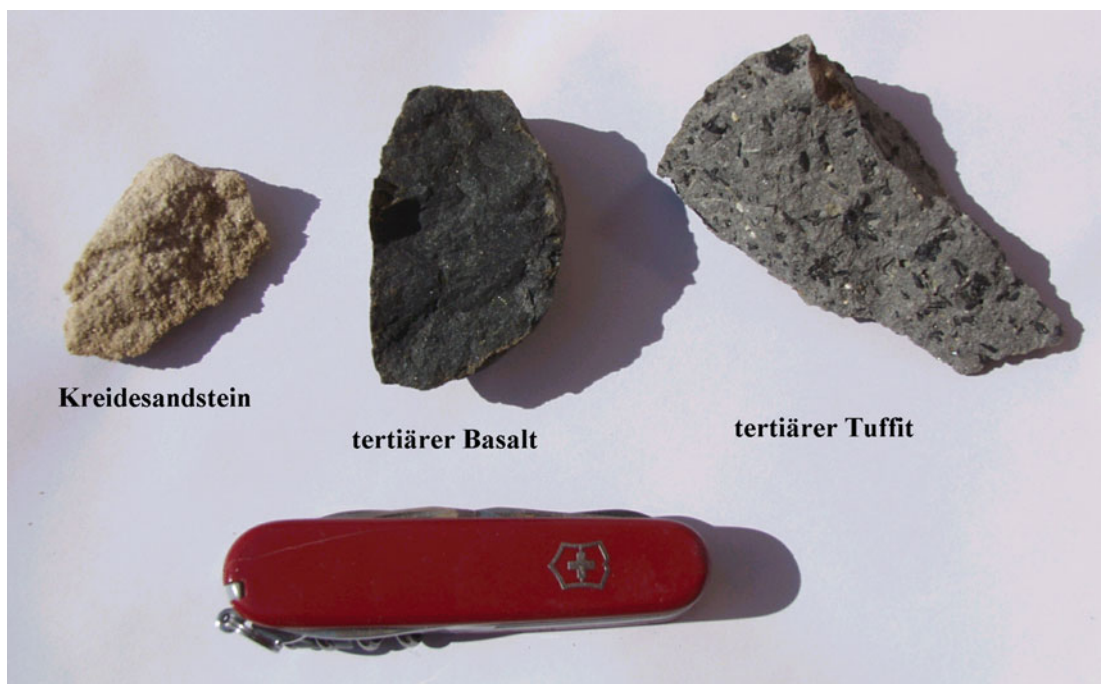


Abbildung 5-1: Gesteine des Untersuchungsgebietes II

5.2.3 Hydrogeologie und Hydrologie

Im Untersuchungsgebiet sind die Grundwasserleiter des Tertiärs und der Kreide von hydrogeologischer Relevanz. Entweder treten zwei Grundwasserleiter der Kreide (Mittelkreide und Oberkreide) oder ein Kluftgrundwasserleiter in einem tertiären Vulkanit auf, welcher diskordant die Kreide durchdringt. Dieser ist im südwestlichen Bereich des Teiluntersuchungsgebietes unterhalb der Ortschaft Kninice vorzufinden. Im Gebiet um Zubrnice treten die Grundwasserleiter der Kreide auf. Diese sind durch lokale Stauer voneinander getrennt. Die tertiäre Tuff- bzw. Tuffitdecke ist erodiert. Nordwestlich von Kninice sind ebenfalls die Kreide-Grundwasserleiter bedeutsam. Diese werden hier von einem tertiären Basalt-Stauer überdeckt.

Der Bach „Lucni“ durchfließt den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes von Südost nach Nordwest. Der größte Zufluss ist der Kninice-Bach, der von der Ortschaft Kninice kommend am Südrand des Untersuchungsgebietes dem Lucni-Bach zuströmt. Zudem wurden einige weitere kleinere Zuflüsse kartiert, die in den Lucni-Bach entwässern. Ihr Verlauf ist häufig nicht genau festzustellen. Stellenweise tritt an den Hängen beiderseits des Baches Wasser aus. Der Lucni-Bach ist in der Ortslage Zubrnice über größere Abschnitte gefasst. Außerhalb der Ortslagen ist sein Verlauf als naturnah und strukturreich zu bezeichnen. Das Ufersubstrat ist teilweise sandig, teilweise auch grobblockig. Schnellere Fließabschnitte wechseln mit ruhigen Bereichen und Stillwasserpools, tiefe Bereiche mit mehr als 50 cm Tiefe bestehen neben Bereichen mit weniger als 10 cm Wassertiefe. Daneben wurden Verwirbelungen, Kaskaden, Laufverengungen und –weitungen sowie Uferbänke bei der Vor-Ort-Begehung festgestellt. Makrophyten als strukturbereichernde Elemente waren fast über den gesamten Bachlauf vorzufinden. Die Ufervegetation besteht in der Baumschicht überwiegend aus Weißdorn, Holunder, Weiden, Eschen und Erlen. In der Krautschicht wurden in größeren Beständen Springkraut, Wachtelweizen und Brennnessel bestimmt. Letztere ist dominierend zusammen mit Feuchte anzeigenden Pestwurz in den Flussauen südlich der Ortschaft Zubrnice.

Am linken Bachufer in Fließrichtung befinden sich mehrere alte, in Natursteinen gefasste Gräben. Diese wurden früher zur Nutzung der Wasserkraft angelegt und möglicherweise auch zur Bewässerung der terrassierten Auen genutzt. Noch heute ist ein großes intaktes Wasserrad bei einem Gehöft am Naturlehrpfad vorzufinden. Ruinen in der Aue und im Wald zeugen von Siedlungstätigkeit vergangener Tage.

Hierzu zählen auch die kleinen Teiche nördlich der stillgelegten Eisenbahnschienen. Ebenfalls anthropogenen Ursprungs sind die aus Natursteinen und Holz angelegten Schwellen im Flusslauf süd-südöstlich von Zubrnice im Abstand von etwa 50 m. Der Wasserfluss in den kanalähnlichen Gräben wird mit Schiebewehren reguliert. Zum Zeitpunkt der Kartierung war das Grabensystem weitestgehend trocken gefallen, was in der anhaltenden Trockenperiode des Sommers 2003 begründet war.

Die Versorgung mit Brauchwasser wird in der Ortschaft Kninice zu einem großen Teil durch die Nutzung von Hausbrunnen abgedeckt. Dies ist in Zubrnice nicht der Fall.

5.2.4 Landnutzung

Den größten Anteil der Flächen im Untersuchungsgebiet, rund 64,8 Prozent (1,98 km²), sind Offenlandflächen (Karte 7-4). Dabei handelt es sich entweder um Weide- oder Mahdgrünland (extensiv bewirtschaftet) oder um ungenutzte Bracheflächen, die heute der Sukzession unterliegen. Wie in Kapitel 4.1.1 bereits erwähnt, sind die Offenlandflächen durch Hecken und Gehölzstreifen auf den Steilhängen gegliedert. Durchgehende Waldflächen befinden sich vorwiegend im äußersten Osten und Südosten des Untersuchungsgebietes sowie an der Westgrenze mit einem Flächenanteil von 28,8 Prozent (0,88 km²). Siedlungsflächen nehmen etwa 5,6 Prozent (0,17 km²) der Fläche ein. Die Ortschaften Zubrnice und Kninice sind die einzigen Siedlungen im Untersuchungsgebiet. Sie zeichnen sich durch eine lockere Bebauung (Bauerngärten und Obstgärten) und traditionelle Bauweisen aus. Aufgrund ihrer besonderen Ausprägung soll die Aue mit 0,8 Prozent Flächenanteil (0,03 km²) hier als eigenständige Nutzungsform aufgeführt werden.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Hydrogeochemie

5.3.1.1 Beschreibung der Probenahmepunkte

Im folgenden sollen die Probenahmestandorte näher beschrieben werden.

Probenahmepunkt 1

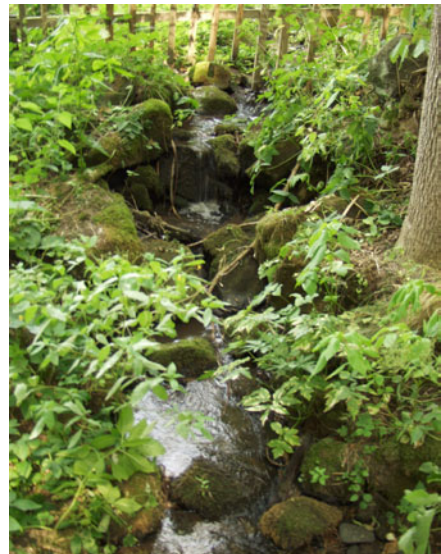
Name: Kninice-Bach
(Feuerlöschteich)
Koordinaten: N 50°38'37,6"
E 14°13'18,0"
Höhe über NN: 420 m



Der Probenahmepunkt 1 befindet sich an der ersten zugänglichen Stelle des Kninice-Baches in der Mitte des Ortes neben dem Feuerlöschteich. Wie man auf dem Bild oben erkennen kann, ist der Bach an dieser Stelle ausgebaut. Das verwendete Ausbaumaterial ist jedoch stark verwittert und mit Vegetation bedeckt.

Probenahmepunkt 2

Name: Kninice-Bach (vor Zulauf in den
Lucni-Bach)
Koordinaten: N 50°38'16,4"
E 14°13'47,7"
Höhe über NN: 360 m



Der Probenahmepunkt 2 befindet im Kninice-Bach, kurz vor der Mündung in den Lucni-Bach. Der Bach ist an dieser Stelle noch sehr naturbelassen. Das Wasser fließt über kleinere Gesteinsblöcke, die zum Teil vermoost sind. Der umliegende Pflanzenbewuchs entspricht der einer Waldrandvegetation und wird von den älteren Bäumen beschattet.

Probenahmepunkt 3

Name: Lucni-Bach (vor Zulauf
des Kninice-Baches)
Koordinaten: N 50°38'19,6"
E 14°13'49,0"
Höhe über NN: 360 m



Der Probenahmepunkt 3 befindet im Lucni-Bach, kurz vor der Mündung des Kninice-Baches. Der Bach ist an dieser Stelle noch sehr naturbelassen. Das Wasser fließt über kleinere Gesteinsblöcke, die zum Teil vermoost sind oder es staut sich in Wannern mit meist sandigem Untergrund. Der umliegende Pflanzenbewuchs entspricht der einer Waldrandvegetation und wird von den älteren Bäumen beschattet.

Probenahmepunkt 4

Name: Lucni-Bach (kurz nach
dem Zulauf des
Kninice-Baches)
Koordinaten: N 50°38'17,2"
E 14°13'44,6"
Höhe über NN: 360 m



Der Probenahmepunkt 4 befindet im Lucni-Bach, kurz nach der Mündung des Kninice-Baches. Die Struktur bleibt weiterhin naturbelassen. Das Wasser fließt wieder über die kleineren Gesteinsblöcke, ohne dass es zu Wannengebilden kommt. Der Bach verläuft mehr durch das Waldinnere, dementsprechend verändert sich die umliegende Vegetation. Es gibt kaum noch Unterwuchs und die Bäume beschatten diesen Abschnitt vollständig. Eine wichtige Zusatzinformation für diese Probenahmestelle: im Bachbett liegen alte verrostete Rad- oder Faßringe.

Probenahmepunkt 5

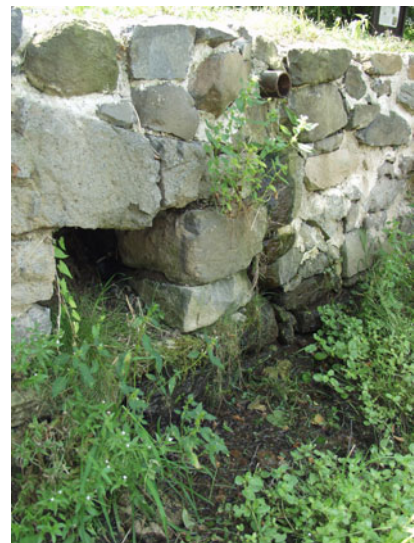
Name: T-Stück
Koordinaten: N 50°38'38,0"
E 14°13'20,9"
Höhe über NN: 305 m



Der Probenahmepunkt 5 befindet sich im T-Stück. Das T-Stück ist die Verbindung zwischen einem kleinen Zulauf, einem Ablauf in den Lucni-Bach und einem Ablauf in die „Kleinen Teiche“. Dieser Graben ist mit Natursteinen gemauert und mit Zement verfügt. Zum Zeitpunkt der Probenahme floss sehr wenig Wasser, so dass der Ablauf zu den „Kleinen Teichen“ trocken war und nur geringe Mengen in den Lucni-Bach flossen. Die Fließgeschwindigkeit wurde außerdem noch durch Pflanzenwuchs im Graben reduziert.

Probenahmepunkt 6

Name: Kleine Teiche
Koordinaten: N 50°38'40,9"
E 14°13'17,3"
Höhe über NN: 305 m



Der Probenahmepunkt 6 befindet sich in den „Kleinen Teichen“. Es ist ein unterirdischer Zulauf, der durch ein Eisenrohr in einen der „Kleinen Teiche“ entwässert. Dieser Teich ist, wie auch das T-Stück, mit Natursteinen gefasst aber nur teilweise zementiert. Der Wasserspiegel des Teiches ist niedrig, so dass sich auf dem Grund eine Vegetationsdecke ausgebreitet hat. Das Wasser des Teiches ist mit starker Algenbildung überprägt. Dem Zulauf selber kann nicht genau gefolgt werden, da dieser teilweise unterirdisch zu verlaufen scheint.

Probenahmepunkt 7

Name: Lucni-Bach (am Ende des
Untersuchungsgebietes)

Koordinaten: N 50°38'56,5"
E 14°13'53,9"

Höhe über NN: 280 m



Der Probenahmepunkt 7 ist im Lucni-Bach am Endpunkt des Untersuchungsgebietes 2. Die Gewässerstruktur wirkt relativ naturbelassen. Das Bachbett ist teilweise sehr steinig (mit abgerundeten und scharfkantigen Steinen) und teilweise haben sich tiefere Wannen ausgebildet, welche die Fließgeschwindigkeit mindern und Wasser aufstauen. Die Steine im Bachbett sind leicht vermoost. Die Ufervegetation ist, vor allem mit Brennnesseln als Stickstoffzeiger, sehr dicht.

Probenahmepunkt 8

Name: Brunnen (Pumpversuch)

Koordinaten: N 50°38'43,0"
E 14°13'18,2"

Höhe über NN: 292 m



Der Probenahmepunkt 8 ist ein Brunnen, welcher sich in der Aue des Lucni-Baches befindet. Er liegt ungefähr 30 m vom Bachlauf entfernt. Er ist mittels eines Eisenrohres und einer Filterstrecke (Zusammensetzung nicht bekannt) bis in ca. 100 m Tiefe ausgebaut. Das Rohr befindet sich in einem stark verrostetem Zustand. Der um den Brunnen vorhandene Untergrund ist anthropogen, durch Aufschüttungen (u.a. Bauschutt), beeinflusst. Die Vegetation besteht größtenteils aus Pestwurz (Feuchtezeiger) und wenigen Kletten und Disteln. Im Rahmen des Praktikums wurden hier zwei Pumpversuche durchgeführt.

Probenahmepunkt 9

Name: Brunnen (in Kninice)
Koordinaten: N 50°38'44,6"
E 14°13'13,6"
Höhe über NN: 450 m



Der Probenahmepunkt 9 ist ein Brunnen, welcher sich in der Ortschaft Kninice befindet. Er diente früher der Trinkwasserversorgung. Es ist ein Brunnen mit Handpumpe aus Eisen. Durch die aussetzende Nutzung und äußere Einflüsse ist dieser stark verrostet und daher nicht mehr einsetzbar. Der Probenahmepunkt liegt an einer Ortsstraße. Daher ist der Boden verdichtet und die Vegetation nur spärlich ausgeprägt.

5.3.1.2 Vor-Ort-Parameter

An den o.g. Probenahmeorten wurden die Vor-Ort-Parameter Temperatur, pH, Redoxpotential, Leitfähigkeit, p- und m-Wert, Gesamthärte, Karbonathärte sowie Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung gemessen (siehe Kapitel Methodik). Diese Parameter werden im folgenden näher erläutert. Die Probenahmepunkte repräsentieren den Verlauf des Lucni Baches sowie seiner Zuflüsse im Untersuchungsgebiet. Es wurden an den meisten Punkten zwei Proben genommen, die Termine sind Tabelle 7-14 und Tabelle 7-16 zu entnehmen.

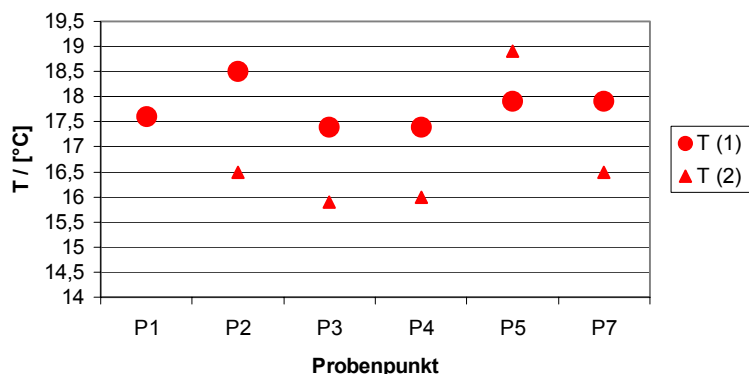


Abbildung 5-2: Temperatur im betrachteten Fließabschnitt

Über den betrachteten Fließabschnitt variieren die Temperaturen zwischen rund 16°C und 19°C (Abbildung 5-2). Es ist zu erkennen, dass die Temperaturen mit Ausnahme der Probe 5 (Zulauf Gehöft) bei der ersten Probenahme um etwa 1°C höher lagen als bei der zweiten Probenahme.

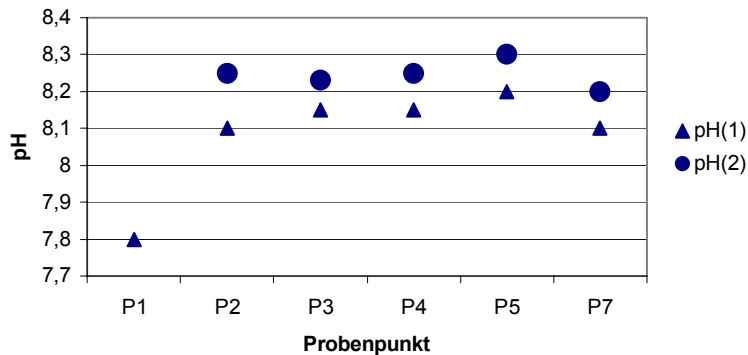


Abbildung 5-3: pH im betrachteten Fließabschnitt

Es sind keine auffälligen Unterschiede der pH-Werte zwischen den Probenahmepunkten zu beobachten (**Abbildung 5-3**). Sie liegen im Mittel um 8,2. Es handelt sich demnach um schwach basische Wässer. Bei der Probenahme am Punkt P1 (Kninice Bach am Feuerlöschteich) war eine geringe Abweichung (pH 7,8) zu messen. Niederschlagswasser hat im Mittel einen pH von 5,6 (MERKEL & PLANER-FRIEDRICH 2002). Durch die Trockenheit im Untersuchungszeitraum bedingt, findet keine pH-Erniedrigung durch äußere Einflüsse statt. Man könnte also vermuten, dass der hohe pH-Wert durch anthropogene Beeinflussung und das basaltische Gestein bedingt wird.

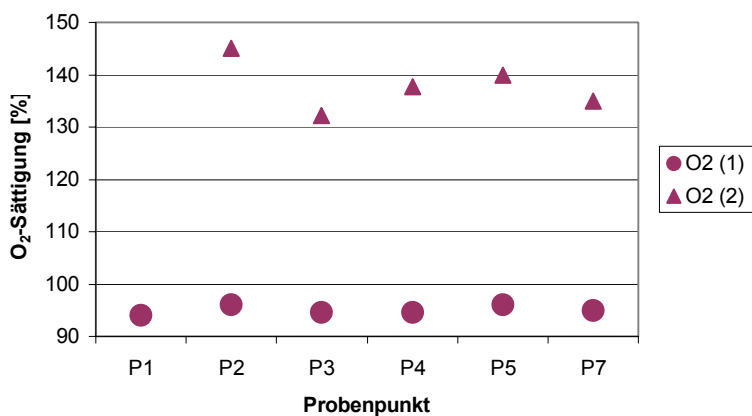


Abbildung 5-4: Sauerstoffsättigung im betrachteten Fließabschnitt

Die Sauerstoffsättigung ist jeweils während der beiden Probenahmetermine über den betrachteten Fließabschnitt annähernd konstant (Abbildung 5-4). Beim ersten Termin lag der Wert bei etwa 95%, so dass von einem annähernd gesättigten Zustand der Gewässer gesprochen werden kann. Bei der zweiten Probenahme (etwa vier Tage später) sind die Gewässer deutlich sauerstoffübersättigt. Dies könnte auf Zufuhr durch photosynthetisierender Makrophyten zurückzuführen sein. Allerdings kann auf diesem Weg nicht der Unterschied zwischen den Sauerstoffsättigungen an beiden Probenahmeterminen erklärt werden.

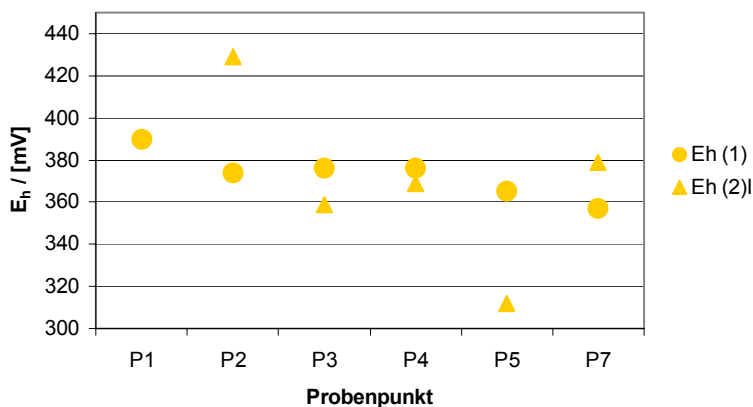


Abbildung 5-5: Redoxpotential im betrachteten Fließabschnitt

Die Darstellung des Redoxpotentials zeigt, dass es sich im Untersuchungsgebiet größtenteils um Wasser mit teilreduzierten Verhältnissen (0 – 400 mV, siehe MERKEL & PLANER-FRIEDRICH 2002) im Grenzbereich zu oxidierenden Verhältnissen handelt. Diese Beobachtung spiegelt nur bedingt die Messergebnisse des Sauerstoffgehaltes / Sauerstoffsättigung wider (Abbildung 5-5).

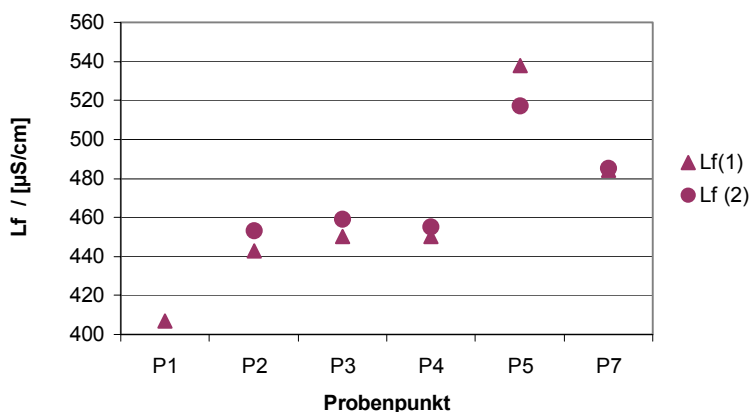


Abbildung 5-6: Leitfähigkeit im betrachteten Fließabschnitt

Nach HÖLTING (1996) beträgt die Leitfähigkeit für Regenwasser 5 – 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, für süßes Grundwasser 30 – 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die von uns gemessenen Werte liegen zwischen 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ein Beeinflussung durch den Menschen (Einleitung ungeklärter Abwässer) und eventuell auch ein Grundwassereinfluss ist somit wahrscheinlich. Unterschiede zwischen erster und zweiter Probenahme sind nicht feststellbar. Auffällig sind die erhöhten Werte der Probe 5 (Zulauf Gehöft in Lucni-Bach). Diese Werte könnten ihre Ursache auch in erhöhten Nitrat- und Natriumkonzentrationen (häusliche Abwässereinleitungen) haben (Tabelle 7-18, Tabelle 7-19). Der geringe Wert bei der Probe 1 (Kninice Bach bei Feuerlöschteich) ist nicht zu erklären. Da für diese Probe keine Analyse der Natrium- und Kaliumionen mittels Ionenchromatographie durchgeführt wurde, können diese Elemente nicht zur Interpretation herangezogen werden. Mit den übrigen Analyseergebnissen ist die niedrige Leitfähigkeit nicht zu erklären.

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 5-7, Abbildung 5-8) zeigen die Konzentration der Kohlensäurespezies. Bei dem gemessenen pH-Werten, bis maximal 8,3 sind im wesentlichen Kohlenstoffdioxid und Hydrogencarbonat zu erwarten. Die Konzentration an Hydrogencarbonat überschreitet die Konzentration an Kohlenstoffdioxid an allen aufgeführten Probenahmepunkten um mehr als das Dreifache. Gemäß der Klassifikation von KLUT-OLSZEWSKI (in HÖLTING 1996) können die Wässer als mittelhart bis etwas hart eingestuft werden.

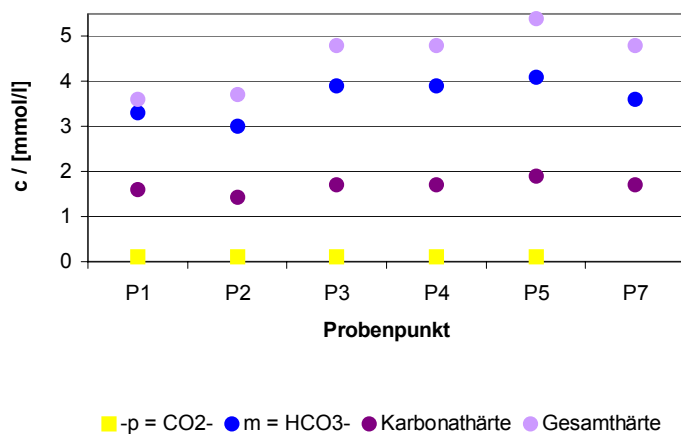


Abbildung 5-7: Kohlensäurespezies im betrachteten Fließabschnitt, erster Probenahmetermin

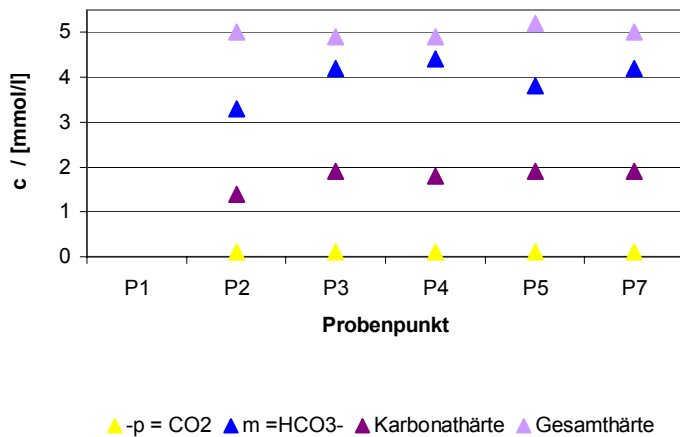


Abbildung 5-8: Kohensäurespezies im betrachteten Fließabschnitt, zweiter Probenahmetermin

5.3.2 Laboranalytik

In den folgenden Betrachtungen werden zusätzlich zu den bereits besprochenen Proben auch die Punkte P6 (Kleiner Teich), P8 (Pumpversuchsbrunnen) und P9 (Dorfbrunnen Kninice) berücksichtigt. Zunächst werden die Stickstoffspezies diskutiert.

Abbildung 5-9 zeigt deutlich die Dominanz des Nitratstickstoffes (minimal 11,4 mg/L bei P4 (Lucni Bach nach Mündung des Kninice Baches); maximal 33 mg/L bei P5 (Zulauf Gehöft in Lucni Baches)). Nitrit tritt in Konzentrationen von maximal 0,12 mg/L (P1, Kninice Bach bei Feuerlöschteich) auf. Unter oxidierenden Verhältnissen wird Nitrit zu Nitrat umgewandelt (Nitrifikation). Da bei unseren Proben teilreduzierende bzw. oxidierende Verhältnisse festgestellt wurden (Abbildung 5-5), erscheinen die geringen Nitritkonzentrationen nachvollziehbar. Wie die wiederholte Probenahme zeigt, sind diese Werte durchaus variabel. Mögliche Eintragspfade für Nitrat sind landwirtschaftliche Dünger sowie häusliche Abwässer. Da die Landwirtschaft im Untersuchungsgebiet großflächig aufgegeben bzw. extensiviert wurde, ist dieser Eintragspfad weniger wahrscheinlich als der Eintrag durch häuslichen Abwässer.

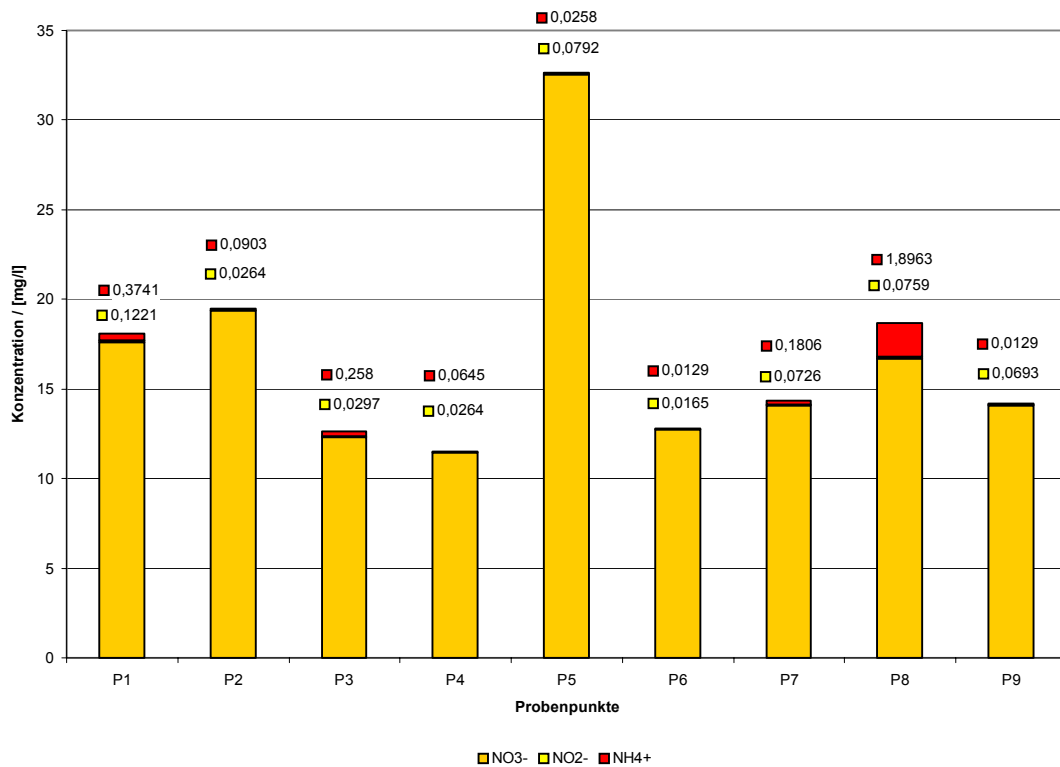


Abbildung 5-9: Anteil der Stickstoffspezies zum ersten Probenahmetermin

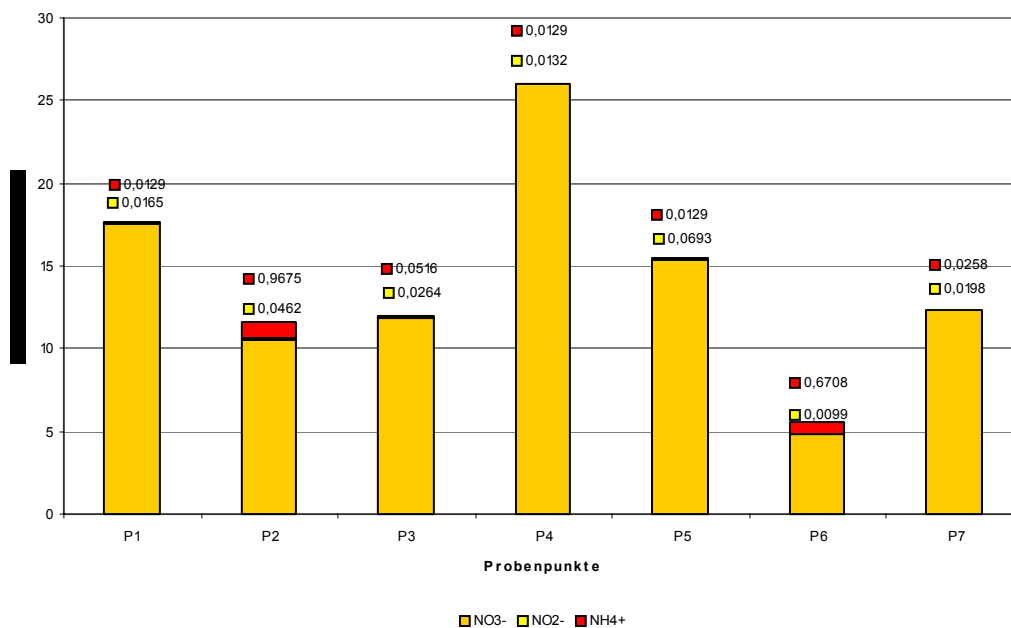


Abbildung 5-10: Anteil der Stickstoffspezies zum zweiten Probenahmetermin

Die Phosphatkonzentrationen sind an den acht Probepunkten annähernd gleich (). Einzig Probepunkt 3 (Lucni Bach vor Mündung Kninice Bach) zeigt eine deutlich höhere Konzentration (2,75 mg/L). Nach dem Exkursionsbericht Zubrnice 2002 besteht hier ab einem Phosphatgehalt größer 1mg/L die Gefahr der Eutrophierung. Nach der Mischung mit dem Kninice Bach erreicht die Konzentration wieder einen Wert von 0,5 mg/L (P4).

Eine mögliche Erklärung dafür ist die Verdünnung durch den Kninice Bach (P2), welcher eine niedrigere Phosphatkonzentration aufweist.

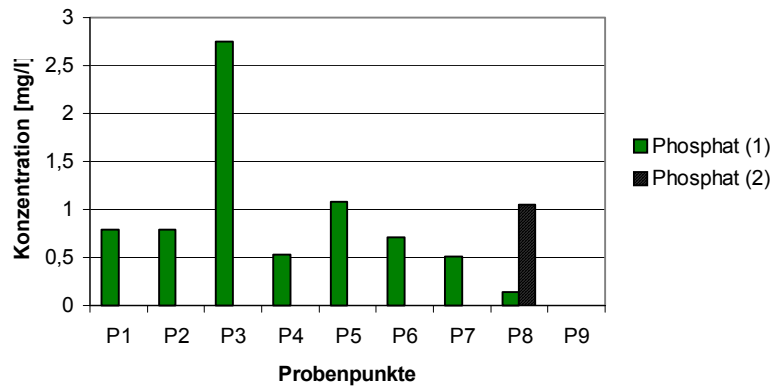


Abbildung 5-11: Phosphatgehalte zum ersten (I) und zweiten (II) Probenahmetermin.

5.3.3 Systematisierung der Wasserproben – Piper-Diagramme

Mit Hilfe von Piper-Diagrammen können Wässer typisiert werden. In JORDAN & WEDER (1998, S. 238) wird eine Möglichkeit vorgestellt, um Grundwässer im Festgesteinsbereich nach ihrer anthropogenen Beeinflussung anhand der relativen Anteile von Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} und SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- zu beurteilen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Einteilung für Grundwässer gilt, von uns bei den Proben 1-7 jedoch Oberflächengewässer beprobt wurden.

Die Probenahmen in Abbildung 5-12 und Abbildung 5-13 liegen in einem engen Bereich. Sie können demnach als sehr stark bis stark anthropogen beeinflusst eingestuft werden. Der Anteil von Chlorid an den betrachteten Anionen ist kleiner als 0,03 mval (3%). Die Chloridgehalte liegen im Bereich zwischen 1 bis 4 mg/l (Tabelle 7-18, Tabelle 7-19). Chlorid-Ionen werden in Lockersedimenten und gut durchlässigen Gesteinen in ihrer Bewegung wenig eingeschränkt und treten daher ubiquitär auf (JORDAN & WEDER 1998). In der DVWK Schrift 110 wird ein Anhaltswert für anthropogen unbeeinflusste Grundwässer in chloridarmen Sedimenten von kleiner 30 mg/l angegeben. Die Grundwässer, die in P8 und P9 beprobt wurden, sind demnach bezüglich des Chloridgehaltes nicht anthropogen beeinflusst.

Die Hydrogencarbonatgehalte liegen im Piper-Diagramm für die erste und die zweite Probenahme bei rund 70% der betrachteten Anionen. Damit ist Hydrogencarbonat eines der Hauptanionen. Die entsprechende Konzentration beträgt zwischen 128 mg/l und 268 mg/l. Die Summe aus Sulfat und Nitrat beträgt zwischen 0,2 und 0,4 mval (Tabelle 5-1).

Sulfat stammt aus dem atmosphärischen Eintrag von SO_4 , Nitrat durch Eintrag aus der Landwirtschaft oder Abwassereinleitung. Es ergibt sich ein heterogenes Bild bezüglich der einzelnen Probenahmestellen. Der Lucni Bach weist nach der Einmündung (P4) des Kninice Baches (P2) bei der ersten Probenahme geringere Nitratgehalte auf als die beiden Bäche zuvor. Bei der zweiten Probenahme liegt der Gehalt nach der Mischung zwischen den Gehalten des Kninice Baches und des Lucni Baches vor der Mischung. Insgesamt wurden Konzentrationen zwischen 5 und 32 mg/l gemessen (Tabelle 7-18, Tabelle 7-19).

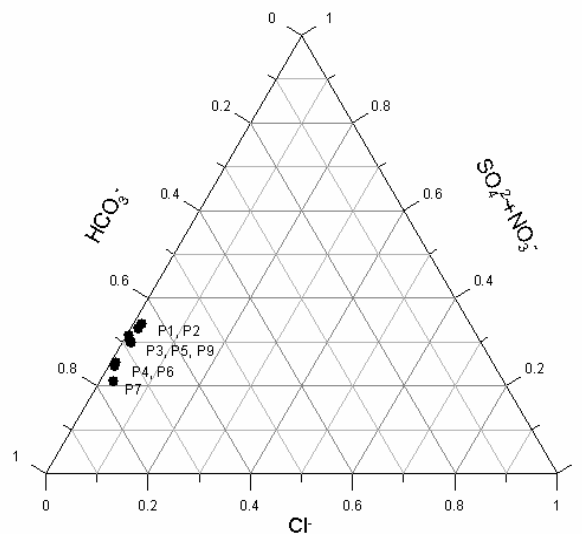


Abbildung 5-12: Piper-Diagramm zur Probenahme 1

Tabelle 5-1: Datengrundlage zur Erstellung des Piper-Diagrammes für die Probenahme 1

Probenahme 1				
Probennummer	$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$ [mmol _{eq} /l]	Cl^- [mval]	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ [mval]	HCO_3^- [mval]
P1	5,1	0,02	0,34	0,64
P2	4,6	0,02	0,33	0,65
P3	5,7	0,02	0,30	0,69
P4	5,3	0,01	0,25	0,74
P5	6,	0,01	0,31	0,68
P6	5,3	0,01	0,25	0,74
P7	4,7	0,03	0,21	0,76
P9	3,7	0,01	0,30	0,69

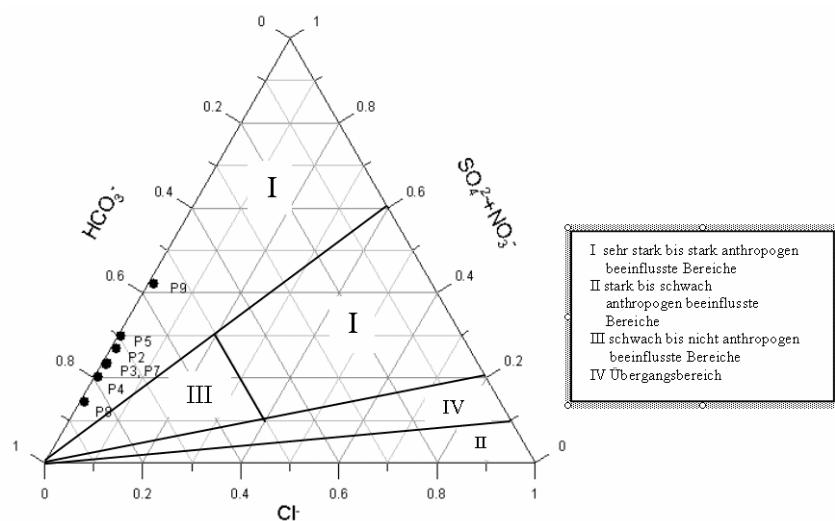


Abbildung 5-13: Piper-Diagramm zur Probenahme 2

Tabelle 5-2: Datengrundlage zur Erstellung des Piper-Diagrammes für die Probenahme 2, NWG = Nachweisgrenze

Probenahme 2				
Probennummer	$\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$ [mmol _{eq} /L]	Cl^- [mval]	$\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ [mval]	HCO_3^- [mval]
P2	4,59	0,01 = NWG	0,3	0,7
P3	5,57	0,01	0,2	0,8
P4	5,58	0,01	0,2	0,8
P5	5,48	0,01	0,3	0,7
P7	5,53	0,01	0,2	0,8
P8	4,13	0,01	0,1	0,9
P9	3,71	0,01	0,4	0,6

Nach dem Piper-Diagramm für Kationen in JORDAN & WEDER (1998) liegt die Mehrzahl der von uns beprobten Wässer im ersten Probendurchgang im schwach bis nicht anthropogen beeinflussten Bereich, beim zweiten Probendurchgang schwach bis stark anthropogen beeinflussten Bereich. Dominantestes Kation ist das Calcium (50% bis 70% der Summe der Äquivalentmolmassen der betrachteten Kationen). Die Konzentration betrug etwa 56-61 mg/l. Die Schwankungen sind zu gering, um Aussagen zum Mischungsverhalten zwischen Kninice Bach und Lucni Bach treffen zu können.

Calcium ist gemeinsam mit Magnesium der wichtigste Härtebildner im Wasser. Der Probenpunkt 5 (Zulauf Gehöft in Lucni Bach) weist im Vergleich zu den anderen Punkten in beiden Analysen erhöhte Magnesiumgehalte auf (18 bzw. 22 mg/L).

Ein anthropogener Eintrag durch das angrenzende Gehöft erscheint jedoch unwahrscheinlich. Diese erhöhten Gehalte pausen sich auch in der erhöhten Gesamthärte durch (Abbildung 5-7, Abbildung 5-8).

Die Alkalien Natrium und Kalium wurden im Labor durch die Ionenchromatographie bestimmt. Der Zulauf am Gehöft (P5) sowie der Kninice Bach (P2) führen vergleichsweise hohe Natriumgehalte mit sich. Bei der ersten Probennahme lagen die Natriumgehalte durchschnittlich bei 18 mg/L (ohne die Brunnen P8 und P9), bei der zweiten Beprobung bei 11,6 mg/L. P2 und P5 wiesen bei der ersten Beprobung mehr als 20 mg/L auf, bei der zweiten Probenahme mehr als 11 mg/L (Tabelle 7-18, Tabelle 7-19). Ein anthropogener Natriumeintrag ist nicht auszuschließen. Anthropogene Natriumquellen sind beispielsweise Düngemittel (Landwirtschaft) und Seifen (in häuslichen Abwässern).

Die Auswertung der Piper-Diagramme ist unter zwei Aspekten kritisch zu betrachten. Zum einen gelten die Vergleichsdiagramme für Grundwässer. Zum anderen geht in die Diagramme nicht die absolute Konzentration der betrachteten Spezies ein, sondern nur deren Verhältnis der Äquivalentkonzentrationen zueinander [mval]. Besser geeignet wäre ein Diagramm mit den Absolutkonzentrationen der wesentlichen Elemente und Verbindungen.

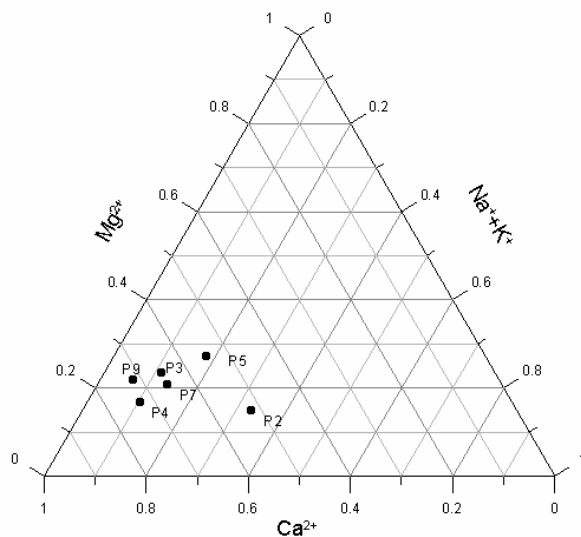


Abbildung 5-14: Piper-Diagramm zur Probenahme 1

Tabelle 5-3: Datengrundlage zur Erstellung des Piper-Diagrammes für die Probenahme 1

Probenahme 1				
Probennummer	Ca ²⁺ + Na ⁺ +K ⁺ + Mg ²⁺ [mmol _{eq} /L]	Ca ²⁺ [mval]	Na ⁺ +K ⁺ [mval]	Mg ²⁺ [mval]
P2	5,38	0,52	0,33	0,15
P3	4,78	0,65	0,11	0,23
P4	4,29	0,73	0,10	0,17
P5	5,57	0,55	0,18	0,27
P7	4,63	0,66	0,14	0,21
P9	2,91	0,72	0,06	0,22

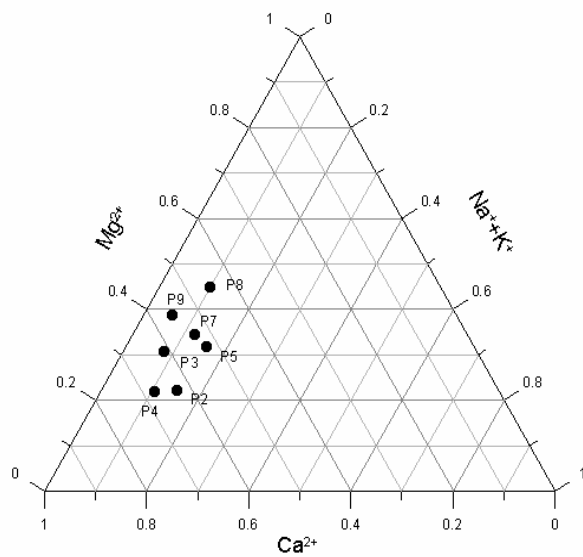


Abbildung 5-15: Piper-Diagramm zur Probenahme 1

Tabelle 5-4: Datengrundlage zur Erstellung des Piper-Diagrammes für die Probenahme 2

Probenahme 2						
Probennummer	Ca ²⁺ + Na ⁺ +K ⁺ + Mg ²⁺ [mmol _{eq} /l]	Ca ²⁺ [mval]	Na ⁺ +K ⁺ [mval]	Mg ²⁺ [mval]		
P2	4,33	0,63	0,15	0,22		
P3	4,70	0,61	0,08	0,31		
P4	4,38	0,68	0,11	0,22		
P5	5,80	0,52	0,16	0,32		
P7	5,10	0,53	0,12	0,35		
P8	4,09	0,45	0,10	0,45		
P9	2,88	0,55	0,06	0,39		

Um die Vor-Ort und Labor-Analysen der An- und Kationen bewerten zu können, wurde für alle Proben eine Ionenbilanz aufgestellt (Tabelle 5-5). Nach Hölting (1995) sind Fehler in der Ionenbilanz bei Konzentrationen bis 2 mmol_{eq}/l von 5% zulässig, über 2 mmol_{eq}/l Fehler von 2%. Bei unseren Proben wurden Analysenfehler zwischen 1 und 66 % (Mittelwert 18,6%) errechnet. Bei der zweiten Analyse lag der Fehler bei 8,32% im Mittel (Min: 0,1, Max: 17%). Die Äquivalentkonzentration für die Anionen liegen i.d.R. über den Werten der Äquivalentkonzentrationen der Kationen. Eine wesentliche Ursache dafür liegt sicher darin begründet, dass das Eisen nicht bestimmt werden konnte, da das Photometer im Gelände nicht verfügbar war.

Tabelle 5-5: Ionenbilanzen

	P1 (1)	P2 (1)	P3 (1)	P4 (1)	P5 (1)	P6 (1)	P7 (1)	P8 (1)	P9 (1)
Anionen									
PO ₄ ³⁻ [mmol _{eq} /L]	0,02	0,02	0,09	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	
NO ₂ ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,28	0,31	0,20	0,18	0,53	0,21	0,23	0,27	0,23
SO ₄ ²⁻ [mmol _{eq} /L]	1,48	1,21	1,50	1,10	1,37	1,15	0,77	0,48	0,87
Cl ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,08	0,07	0,10	0,06	0,03	0,05	0,12	0,05	0,05
HCO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	3,30	3,00	3,90	3,90	4,10	3,90	3,60		2,50
ΣAnionen [mmol _{eq} /L]	5,17	4,62	5,78	5,27	6,07	5,33	4,74	0,80	3,65
Kationen									
Ca ²⁺ [mmol _{eq} /L]	2,80	2,80	3,12	3,12	3,04	3,28	3,04	1,60	2,08
Mg ²⁺ [mmol _{eq} /L]	0,64	0,80	1,12	0,72	1,52	1,12	0,96	1,44	0,64
Na ⁺ [mmol _{eq} /L]		1,68	0,43	0,37	0,91		0,52		0,10
K ⁺ [mmol _{eq} /L]		0,10	0,10	0,08	0,09		0,11		0,09
NH ₄ ⁺ [mmol _{eq} /L]	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00
ΣKationen [mmol _{eq} /L]	3,46	5,39	4,79	4,29	5,57	4,40	4,64	3,15	2,91
Unsicherheit [%]	28,27	10,01	12,87	14,10	5,81	13,12	1,39	66,02	15,66
Anionen									
PO ₄ ³⁻ [mmol _{eq} /L]						0,03			
NO ₂ ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,28	0,17	0,19	0,42	0,25	0,08	0,20		
SO ₄ ²⁻ [mmol _{eq} /L]	0,96	1,15	0,94	1,23	1,04	0,52	1,37		
Cl ⁻ [mmol _{eq} /L]	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04		
HCO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	3,30	4,20	4,40	3,80	4,20	3,50	2,10		
ΣAnionen [mmol _{eq} /L]	4,59	5,57	5,58	5,48	5,53	4,13	3,71		
Kationen									
Ca ²⁺ [mmol _{eq} /L]	2,72	2,88	2,96	3,04	2,72	1,84	1,60		
Mg ²⁺ [mmol _{eq} /L]	0,96	1,44	0,96	1,84	1,76	1,84	1,12		
Na ⁺ [mmol _{eq} /L]	0,50	0,31	0,37	0,82	0,51	0,28	0,10		
K ⁺ [mmol _{eq} /L]	0,14	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13	0,06		
NH ₄ ⁺ [mmol _{eq} /L]	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00		
ΣKationen [mmol _{eq} /L]	4,33	4,76	4,38	5,81	5,10	4,13	2,89		
Unsicherheit [%]	3,97	10,77	16,62	3,83	5,53	0,07	17,45		

5.3.3.1 Modellierung mit PhreeqC

Die Messwerte der zweiten Probennahme von Probenpunkt 4 wurden mit einer Modellierung durch das Programm PhreeqC verglichen. An diesem Probenpunkt fließt der Bach aus Kninice kommend in den Lucni-Bach. An beiden Bächen wurden Proben genommen (Probepunkte 2 und 3), deren Messwerte die Grundlage für die Modellierung darstellten. Es wurden verschiedene Mischungsverhältnisse der beiden Proben modelliert und in Tabelle 5-6 aufgeführt.

Als ungefähre Vergleich für das tatsächliche Mischungsverhältnis können die Durchflussmessungen an beiden Bächen dienen. Die Ergebnisse der Verdünnungsmethode ergaben einen Durchfluss von 5,3 L/s für den Lucni-Bach und 4,3 L/s für den Zufluss. Dies ergäbe ein Verhältnis von 55 zu 45 %.

Tabelle 5-6: PHREEQC-Modellierung

Parameter	gemessene Werte	modellierte Werte (Mischungsverhältnis Lucni Bach/Zufluss)									Ausgeglichene Ionenbilanz
	Probe P 4/II	90/10	80/20	75/25	70/30	65/45	60/40	55/45	50/50	40/60	50/50
pH	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.3	8.2
T / [°]	16.0	16.0	16.0	16.1	16.1	16.1	16.1	16.2	16.2	16.3	16.2
pe	6.4	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.1	13.1	13.1
K ⁺	3.6	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.2
Mg ²⁺	11.7	15.7	15.1	14.8	15.9	15.6	14.0	15.0	14.6	14.1	14.7
Ca ²⁺	59.3	57.3	57.0	56.8	56.6	56.5	56.3	56.2	56.0	55.7	56.0
Cl ⁻	1.7	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
NO ₃ ²⁻	11.9	11.3	12.0	12.4	12.7	13.1	13.4	13.8	14.1	14.8	21.9
SO ₄ ²⁻	45.0	45.8	45.1	44.8	44.4	44.0	43.7	43.3	43.0	42.3	43.0

Die Modellierungsergebnisse stimmen nie völlig mit den Messwerten der Probe überein. Neben Ionen, die unverändert bleiben, wie das Chlorid, zeigen andere eine kontinuierliche Veränderung. Kalium und Nitrat erhöhen sich mit zunehmendem Anteil des Zuflusses, während Sulfat und Calcium abnehmen. Die Werte p_e , pH und Temperatur bleiben nahezu unverändert. Auffällig ist der hohe Unterschied des modellierten p_e zu dem p_e der Probe. Dies ist wahrscheinlich auf die hohe Zunahme des gelösten Sauerstoffes in der Mischprobe zurückzuführen, bei einer gleichzeitigen Abnahme des gelösten Stickstoffes und des Nitrits. Das modellierte Mischungsverhältnis 80/20 scheint den Messwerte der Probe vier am nächsten zu kommen, ausgenommen der p_e und mit einer geringen Abweichung das Calcium.

Weitere Parameter der Modellierung waren die Ionenstärke und die Ionenbilanz. Die Ionenstärke lag bei allen drei Lösungen zwischen 6,5 und $7,7 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Da keine großen Unterschiede in der Ionenstärke auftraten, kann diese Modellierung bezüglich der Ionenstärke durchgeführt werden. Die Ionenbilanz besaß bei den drei Lösungen einen maximalen Fehler von 7%. Dieser Fehler liegt in der üblichen Spanne von 10%. Es wurde dennoch eine Modellierung mit einem Ladungsausgleich durchgeführt (Tabelle 5-6). Außer dem Modellwert für Nitrat zeigen sich keine große Unterschiede zu den nicht ausgeglichenen Modellierungen.

5.3.3.2 Bewertung des Dorfbrunnens von Kninice zur Trinkwassernutzung

Der Brunnen im Ort Kninice wird momentan für die Trinkwasserversorgung des Ortes nicht verwendet. Trotz alledem ist er frei zugänglich und die Pumpe funktionstüchtig. Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass das Wasser des Brunnens getrunken wird. Deswegen wurden die untersuchten chemischen Parameter mit denen der Trinkwasserverordnung von 2001 (TrinkwV 2001) verglichen. Es wurde nicht der Mittelwert der Messwerte der Doppelbeprobung verwendet, sondern jeweils der höchste Wert. Des weiteren wurde ein Analysenfehler von max. 10% angenommen. Es ergab sich, dass alle Parameter unter denen der Trinkwasserverordnung lagen. Einzig die rostrote Farbe und die starke Trübung machen eine Aufbereitung nötig.

Tabelle 5-7: Bewertung des Dorfbrunnens von Kninice

Messgröße	Probennummer	Messwert	Messwert + max. Fehler	Grenzwert TrinkwV 2002
pH-Wert	P9/1 und P9/2	7,6	6,9 - 8,5	6,5 - 9,5
LF	P9/2	314 $\mu\text{S}/\text{cm}$	345 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
NO_2^-	P9/1	0,1 mg/l	0,1 mg/l	0,5 mg/l
NO_3^-	P9/1	14,1 mg/l	15,5 mg/l	50 mg/l
NH_4^+	P9/2	u.Ng	u.Ng	0,5 mg/l
SO_4^{2-}	P9/2	66 mg/l	73,3 mg/l	240 mg/l
Cl^-	P9/1	1,6 mg/l	1,8 mg/l	250 mg/l
Na^+	P9/1 und P9/2	2,3 mg/l	2,5 mg/l	200 mg/l

Eine weiterführende Untersuchung des Brunnenwassers ist allerdings noch nötig, da auf viele Parameter nicht getestet wurde. Insbesondere der Eisengehalt (rostrote Farbe!) dürfte sehr hoch sein. Auch mikrobiologische Analysen und die Prüfung auf organische Schadstoffe stehen noch aus.

5.3.4 Durchflussmessungen

Bei der Diskussion der Ergebnisse der Abflussmessungen ist zu berücksichtigen, dass der Untersuchungszeitraum durch eine Trockenwetterperiode mit Temperaturen um 30°C und geringen Niederschlagsmengen gekennzeichnet war.

5.3.4.1 Verdünnungsmethode

Im folgenden wird anhand des Tracerversuches 1 beispielhaft die Auswertung der Messergebnisse demonstriert. Die Messwerte sämtlicher Tracermessungen sind im Anhang aufgeführt. Ort des genannten Versuches am 10.08.2003 um 9.00 Uhr war der Lucni-Bach am Ausgang des Untersuchungsgebietes. Es wurden 300 g NaCl in Bachwasser aufgelöst und als Momentimpuls eingegeben.

Leitfähigkeitsgrundwert: 484 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Messtakt: 5 sec

Folgendes Bild des Verlaufes der Leitfähigkeitsänderung ergibt sich.

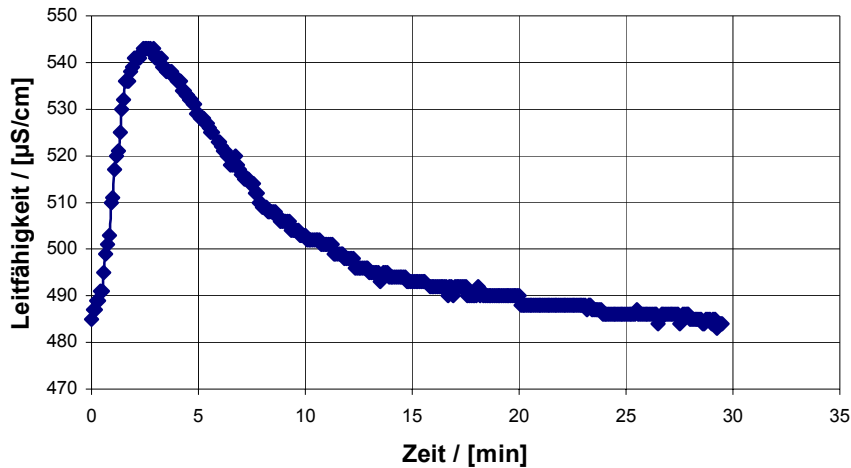


Abbildung 5-16: Leitfähigkeits - Zeit Diagramm Tracerversuch 1

Mit Hilfe der ermittelten Werte, dem Faktor F und dem Integral über die Leitfähigkeitserhöhung (aller Werte über dem Leitfähigkeitsgrundwert) $\sum LF(b)$ und der eingegebenen Salzmenge kann der Durchfluss Q berechnet werden.

$$Q = \frac{Masse[mg]}{\sum LF(b) * F \left[\frac{mg}{l} \cdot s \right]} \left[\frac{l}{s} \right] \quad \text{Gleichung 5-1}$$

Integral Leitfähigkeitserhöhung über Leitfähigkeitsgrundwert $\sum LF = 174852 \mu S/cm$

Anzahl Messwerte insgesamt: 357

Anzahl Messwerte im Integral: 349

$$\begin{aligned} \sum LF(b) &= \sum LF * 5 - (\text{Anzahl Messungen im Integral} * \text{Messtakt} * \text{Grundwert}) \\ &= 174852 \mu S/cm * 5 - (349 * 5 * 484 \mu S/cm) \\ &= 29680 \mu S/cm \end{aligned}$$

Der Faktor F für die Umrechnung der Leitfähigkeitsangaben von $\mu S/cm$ auf mg/l wurde durch einen Vorversuch bestimmt. Dazu wurden 2 g Salz in einem Liter Bachwasser gelöst und die daraus resultierende Leitfähigkeitserhöhung ΔLF ermittelt.

$$\Delta LF = 2800 \mu S/cm - 484 \mu S/cm$$

$$\Delta LF = 2316 \mu S/cm$$

Für 1 g Salz wird dieser Wert halbiert. Daraus ergibt sich:

$$\Delta LF = 1158 \mu\text{S/cm.}$$

Berechnung des Faktors F:

$$1/1,158 = 0,864$$

Nach der o.g. Berechnungsgleichung für den Durchfluss wurde berechnet:

$$Q = \frac{300000\text{mg}}{29680 \mu\text{S/cm} * 0,864}$$

$$\underline{Q=11,71 \text{ l/s}}$$

Analog zu diesem Versuch wurden 4 weitere Tracerversuche zur Bestimmung der Durchflussmengen durchgeführt. Problem bei den Tracermessungen war weniger die Messung an sich, sondern die Abwägung von 1g für die Bestimmung des Faktors. Da die zur Verfügung gestellte Waage nur auf 1g genau war und im Anfangsbereich ungenaue Werte lieferte, kam es zur Berechnung von falschen Faktoren. Deswegen wurde für alle Tracermessungen der Faktor 0,864 verwendet, da dieser am wenigsten fehlerbehaftet war.

Die folgende Tabelle (Tabelle 5-8) gibt eine Übersicht über die berechneten Durchflussmengen.

Tabelle 5-8: Übersicht über die Durchflussmessungen

Nummer	Ort	Durchflussmenge [l/s]
T I	Ausgang Untersuchungsgebiet, Lucni-Bach	11,7
T II	Eingang Untersuchungsgebiet, Lucni- Bach	5,2
T III	Gehöft Zubrnice (Zufluss zum Lucni Bach)	1,0
T IV	Kninice Bach	1,0
T V	südlicher Bach (Zufluss zum Lucni Bach)	1,4

5.3.4.2 Messwehr

Um die Methoden der Durchflussmessung auch untereinander vergleichen zu können, wurde an der gleichen Lokalität, wie Tracerversuch IV (Kninice Bach) ein Messwehr eingebaut.

Verwendet wurde hierbei das Dreieckswehr nach THOMSON. Abgedichtet wurde das Wehr mit den im Bachbett vorhandenen Sedimenten. So konnte eine Um- und Unterströmung weitestgehend verhindert werden.

Datum: 11.08.03
 Uhrzeit: 19.30 Uhr
 Witterung: sonnig

Tab. 9: Ergebnis Messwehrauswertung

μ	α	g / [m/s ²]	h / [m]	Q / [m ³ /s]	Q / [L/s]
0,578	90	9,81	0,085	$2,88 \cdot 10^{-3}$	2,88

α = Ausschnittswinkel (90°)

μ =Überfallbeiwert (Herstellerangabe: $\mu=0,578$)

g = Gravitationskonstante [m/s²]

h = Überfallhöhe [m]

Q = Durchfluss [m³/s]

Es ergibt sich also ein Durchfluss $Q=2,88$ l/s.

5.3.4.3 Flügelmessung

Es wurden zwei Flügelmessungen am Lucni Bach durchgeführt. Die genauen Lokalitäten sind analog zu Tracermessung I der Ausgang des Untersuchungsgebietes und analog zu Tracermessung II der Eingang des Untersuchungsgebietes.

Die Berechnung erfolgt am Beispiel der Flügelmessung I.

Die Flussbreite betrug 2,25m. An den Messpunkten wurde die Tiefe gemessen. Es ergibt sich folgendes Profil (Abbildung 5-17) (Linie interpoliert).

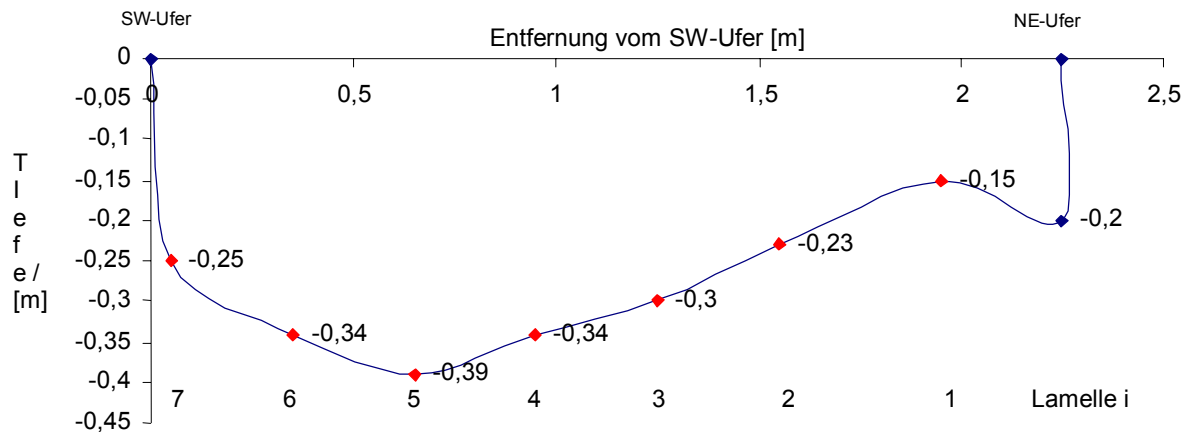


Abbildung 5-17: Bachprofil Flügelmessung I, Blick in Fließrichtung

Die Lamellenbreite wurde der Struktur des Bachbettes angepasst und liegt zwischen 30 und 40 cm. Die Lamellenanzahl beträgt also 7. Mit der Tiefe und den Lamellenbreiten kann die Lamellenfläche A berechnet werden. Es wurde pro Lamelle eine Einpunkt- oder Zweipunktmessung durchgeführt. Aufgrund der Bachbettunebenheiten wurde häufig nicht in der Mitte der Lamelle die Flügelmessung durchgeführt.

Für unterschiedliche Umdrehungszahlen n des Messflügels werden verschiedene Gleichungen zur Fließgeschwindigkeitsberechnung benötigt. Bei einer Umdrehungszahl $n < 2,2 \text{ s}^{-1}$, wie in unserem Fall erfolgt die Ermittlung anhand folgender Gleichung.

$$v = 0,0589 \cdot n + 0,017$$

Gleichung 5-2

Folgende Werte ergeben sich (Tabelle 5-9):

Tabelle 5-9: Berechnungstabelle Flügelmessung I

i	$T_{m,i}$ [m]	b_i [m]	A_i [m ²]	n_1 [s ⁻¹]	n_2 [s ⁻¹]	v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	\bar{v} [m/s]	Q_i [m ³ /s]	Q_i [l/s]
1	0,150	0,300	0,045	Messflügel dreht sich nicht						
2	0,230	0,400	0,092	0,833		0,066		0,066	0,006	6,080
3	0,300	0,300	0,090	0,617	1,683	0,053	0,116	0,085	0,008	7,626
4	0,340	0,300	0,102	0,633	2,017	0,054	0,136	0,095	0,010	9,694
5	0,390	0,300	0,117	0,400	1,233	0,041	0,090	0,065	0,008	7,617
6	0,340	0,300	0,102	0,267	0,250	0,033	0,032	0,032	0,003	3,286
7	0,250	0,350	0,088	0,483		0,045		0,045	0,004	3,978
Qges									0,0383	38,282

Mit der mittleren Lamellengeschwindigkeit \bar{v} und dem Abstand vom Ufer kann ein Fließgeschwindigkeitsdiagramm gezeichnet werden (Abbildung 5-18).

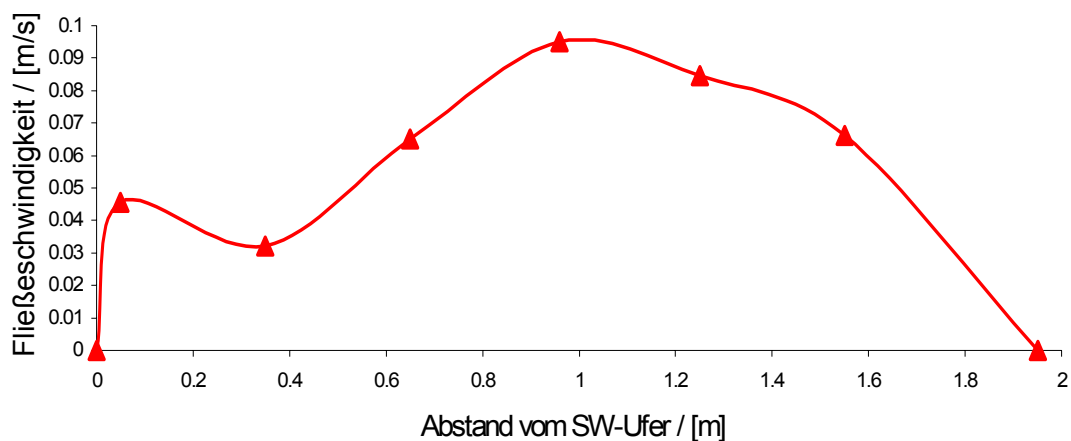


Abbildung 5-18: Fließgeschwindigkeitsdiagramm Flügelmessung I

Analog zu dieser Berechnung wird auch die zweite Flügelmessung am Eingang des Untersuchungsgebietes ausgewertet. Das Bachprofil sieht interpoliert folgendermaßen aus (Abbildung 5-19).

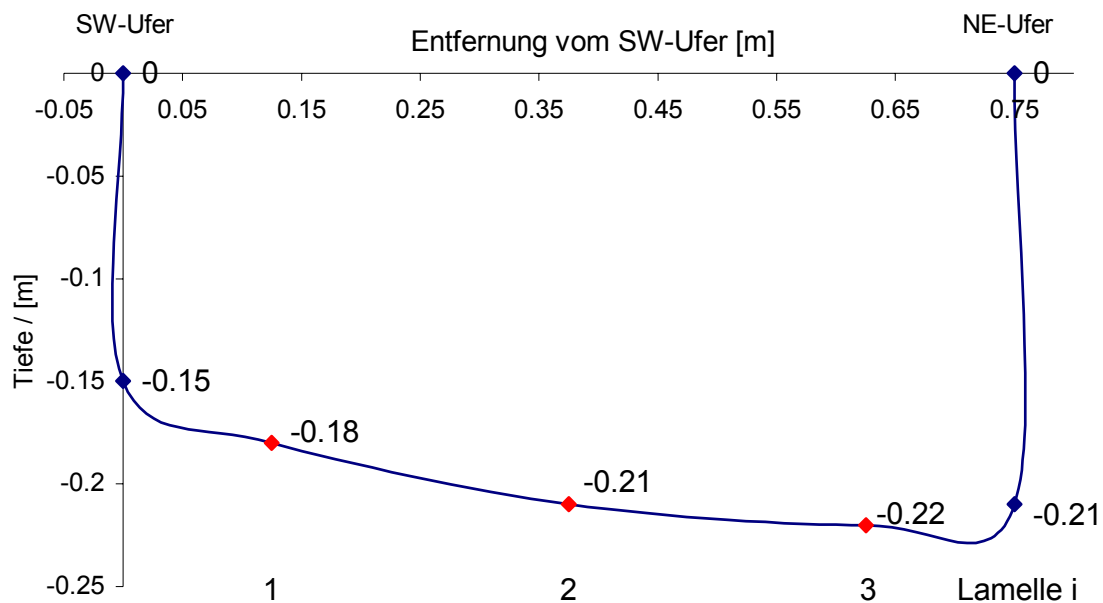


Abbildung 5-19: Bachprofil Flügelmessung II, Blick in Fließrichtung

Man erhält folgenden Fließgeschwindigkeitsverteilung (Abbildung 5-20).

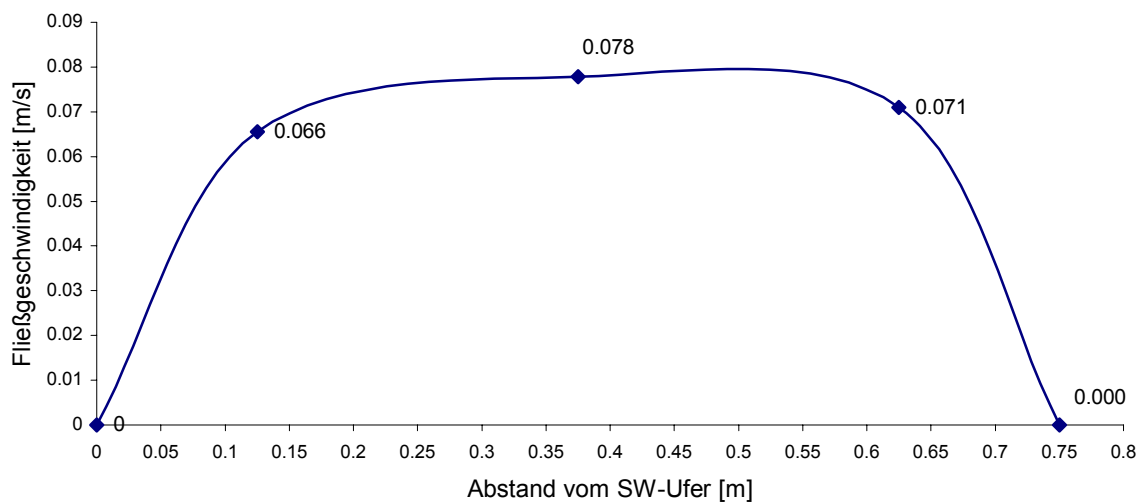


Abbildung 5-20: Fließgeschwindigkeitsdiagramm Flügelmessung II

Der Durchfluss, welcher sich ergibt, liegt bei 10,5 l/s.

Die Berechnungstabelle befindet sich im Anhang.

Die durch die unterschiedlichen Methoden ermittelten Durchflusswerte wurden in der folgenden Tabelle (Tabelle 5-10) dargestellt.

Tabelle 5-10: Zusammenfassung Durchflusswerte

Ort	Methode	Tracermessung	Messflügel	Messwehr
Eingang Untersuchungsgebiet, Lucni- Bach		5,2 L/s	10,5 L/s	
Gehöft Zubrnice		1 L/s		
Kninice Bach		1 L/s		2,9 L/s
Südlicher Bach		1,4 L/s		
Ausgang Untersuchungsgebiet, Lucni- Bach		11,7 L/s	38 L/s	

5.3.4.4 Bewertung der Durchflussmessungen

Wie schon in Tabelle 5-10 erkennbar, liefern die unterschiedlichen Methoden der Durchflussmessung verschiedene Ergebnisse. Die Messergebnisse der Messflügel und des Messwehrs sind dabei um das zwei- bis dreifache höher, als die der Tracermessungen. Welche Methode dabei die realistischeren Werte liefert, kann anhand der Messdurchführung, der Anwendbarkeit der Methode und der visuellen Durchflussabschätzung beurteilt werden. Aufgrund der Bachbettunebenheiten kam es zu fehlerbehafteten Lamellenflächenberechnungen bei der Flügelmessung. Ebenso kam es aufgrund der Unebenheiten zu lokalen Turbulenzen.

Bei der Tracermessung war, wie bereits erwähnt die Abwaage von einem Gramm Salz das Hauptproblem. Trotz alledem wird das Verhältnis der Durchflussmengen zueinander als richtig eingeschätzt. Somit kann eine Durchflussbilanz aufgestellt werden.

Die Summe der Zuflüsse zum Lucni Bach ergibt 3,6 L/s. Die Differenz der Durchflussmenge vom Lucni Bach am Eingang und am Ausgang des Untersuchungsgebietes beträgt 6,5 L/s. Es ergibt sich also eine Unstimmigkeit von 2,9 L/s. Diese Differenz ist (neben Messungenauigkeiten) zurückzuführen auf kleinere Zuflüsse und Hangwasser, welches in den Lucni Bach sickert.

Da das Messwehr gut abgedichtet werden konnte, ist das Ergebnis wahrscheinlich korrekt.

5.3.5 Bodenkundliche Untersuchungen

Für den bodenkundlichen Teil waren zwei verschiedene Bodentypen zu untersuchen. Damit sollte die Unterschiedlichkeit der Bodenstrukturen auf relativ kleinen Raum aufgezeigt werden. Um diese Böden einordnen zu können wurden die Feinbodenart bestimmt,

Infiltrationsversuche durchgeführt und der mineralische Stickstoff analysiert. Die Ergebnisse sind in den folgenden drei Unterpunkten erläutert.

5.3.5.1 Feinbodenart und Ortsbeschreibung

Die Feinbodenart konnte mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA4,1994) und der Fingerprobe bestimmt werden.

Probe 1

Ort der Probenahme: Mähwiese unterhalb der Gleisanlagen, Kleine Teiche

Koordinaten: N 50°38'40,6"
E 14°13'17,4"

Entnahmetiefe: 15 – 20 m

Lage des Probenahmeortes: Die Probe wurde im konvexen Hangbereich entnommen.

Beschreibung des Bodens: Der Boden hat eine geringmächtige organische Auflage. Farblich ist er im hellbraunen bis grauen Bereich einzuordnen. Mittels Optik und Fingerprobe konnte des weiteren festgestellt werden, dass der Boden sehr trocken und schwach humos ist. Bei näherer Betrachtung sind Subpolyeder-, Polyedergefüge (kleine Gefügeelemente) zu erkennen gewesen. Die Lagerung des Bodens hat eine geringe bis mittlere Dichte. Der Grobbodenanteil lässt sich lediglich bei ca. 10 % einordnen.

Bodenart: lehmiger Ton (Tl)

Probe 2

Ort der Probenahme: Aue des Lucni-Baches

Koordinaten: N 50°38'34,7"
E 14°13'28,2"

Entnahmetiefe: 15 – 20 m

Lage des Probenahmeortes: Die Probe wurde im konkaven Hangfuß entnommen.

Beschreibung des Bodens: Der Boden hat eine geringmächtige organische Auflage. Farblich ist er im braunen bis dunkelbraunen Bereich einzuordnen. Mittels Optik und Fingerprobe konnte des weiteren festgestellt werden, dass der Boden trocken und schwach humos ist.

Bei näherer Betrachtung ist ein Polyedergefüge zu erkennen gewesen. Die Lagerung des Bodens hat eine mittlere Dichte.

Bodenart: **mittelsandiger Ton (Ts2)**

5.3.5.2 Infiltrationsversuche

Im Untersuchungsgebiet wurden zwei Infiltrationsversuche durchgeführt. Dabei wurde in den in Kapitel 5.3.5.2 beschriebenen Wiesenboden und Auenboden infiltriert.

Auf der Wiese ergab sich folgendes Ergebnis:

Tabelle 5-11: Durchflussraten und dazugehörige Durchlässigkeitsbeiwerte von einem Wiesenboden

Q [m ³]	Zeit [s]	k _f -Wert [m/s]	k _f -Wert [m/s]
0.0009	270	1.1E-04	0.00009
0.0009	370	8.1E-05	
0.0009	355	8.5E-05	
0.0009	320	9.4E-05	
0.0009	325	9.2E-05	
0.0009	360	8.3E-05	

Auf der Wiese wurde die Dauer der Infiltration von 900 mL Bachwasser in einem Zeitschritt ermittelt. Diese Anordnung wurde sechs mal wiederholt und für jede Durchflussrate ein Durchlässigkeitsbeiwert errechnet und aus den gewonnenen Daten der Mittelwert gebildet.

In der Aue wurde abweichend von der Wiese nur eine dreimalige Wiederholung des Infiltrationsversuches gemacht, da sich schon dort eine Repräsentanz zeigte.

Tabelle 5-12: Durchflussraten und dazugehörige Durchlässigkeitsbeiwerte von einem Auenboden

Q [m ³]	Zeit [s]	k _f -Wert [m/s]	k _f -Wert [m/s]
0,0009	140	2,1E-04	2,1E-04
0,0009	148	2,0E-04	
0,0009	136	2,2E-04	

Statt einem Zeitschritt, wie auf der Wiese, wurde bei einem Gesamtverbrauch von 900 ml jeweils nach 100 ml infiltrierten Bachwasser die Zeit aufgenommen. Die Tabelle mit den vermerkten Zeitschritten befindet sich im Anhang. Die weitere Vorgehensweise folgt nach dem gleichen Schema wie bei der Infiltration auf der Wiese.

5.3.5.3 N_{min}-Bestimmung

Der anorganische Stickstoff im Boden ist ein essentieller Pflanzennährstoff. Er kann bei landwirtschaftlicher Nutzung zu einer Ertragssteigerung führen.

Für die Pflanzenverfügbarkeit dieses Stickstoffanteiles, sind die Konzentrationen an Nitrat und Ammonium in der Bodenlösung maßgebend.

Bei der Bestimmung des N_{min} wird der für die Pflanzen verfügbare Gehalt des anorganischen Stickstoffes, welcher z.B. an Tonpartikel gebunden ist, ermittelt.

Dieser wird erst mit Hilfe von Wasser in Lösung gebracht und in Nitrat und Ammonium überführt. Diese Prozesse sind aber nicht nur von der Bodenfeuchte (Wassergehalt), sondern auch von der Temperatur, der Durchlüftung und Durchwurzelung des Bodens abhängig.

In der folgenden Tabelle (Tabelle 5-13) sind die Ergebnisse für Wassergehalt, Nitratgehalt, Ammoniumgehalt und N_{min}-Gehalt für die beschriebenen Bodenproben erhalten wurden, dargestellt.

Tabelle 5-13: Wassergehalts und N_{min}-Gehalte für den Wiesen- und Auenstandort im Untersuchungsgebiet II

	Lutro-Probe [g]	atro-Probe [g]	W _n [%]	NH ₃ -N [mg/l]	NH ₄ [mg/l]	NO ₃ ⁻ -N [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Nmin [mg/kg]
Wiese	100	83	17	4,2	5,4	4,1	18,0	704,4
Aue	100	80	20	4,1	5,3	3,2	14,1	580,2

5.3.5.4 Bewertung der untersuchten Böden mit Hilfe der ermittelten Parameter

Laut BENDER (1981) dürften in ungedüngten Böden kaum nachweisbare Mengen an Nitrat und Ammonium auftreten. Betrachtet man die von uns untersuchten Proben und vergleicht sie mit den ermittelten Wert des letzten Jahres (2002, Standort in der Nähe von Aue und Wiese, N_{min}=31,7 mg/kg), so lässt sich ein höherer N_{min} in den Böden feststellen. Was kann der Grund für diesen Anstieg sein? Schon immer vorhandene Quellen sind wahrscheinlich der Reststickstoff aus früherer intensiv betriebener landwirtschaftlicher Nutzung, atmosphärische Quellen und der natürliche Abbau der Pflanzenstreu durch Mikroorganismen. Letzterer macht sogar ca. 50 % der Stickstoffzufuhr im Boden aus.

Eine Theorie wäre die folgende: Da der Wassergehalt im Boden höher war als jener im September 2002, wurde der Stickstoff in Form von Nitrat ausgewaschen, so dass der N_{\min} -Gehalt Vorjahr sehr niedrig ausfiel. Von diesem Zeitpunkt an wurde durch oben genannte Quellen neuer anorganischer Stickstoff zugeführt und gebunden. Der Stickstoff verblieb, durch die über Monate trockene Witterung in diesem Zustand, was sich am hohen N_{\min} -Gehalt in der Aue und auf der Wiese widerspiegelt.

Der unterschiedliche N_{\min} -Gehalt in Wiesen- und Auenböden lässt sich nicht nur an der Lokalität dieser beiden Standorte erklären sondern auch durch die Feinbodenart. Mittels Fingerprobe wurde auf der Wiese ein lehmiger Ton und auf der Aue ein mittelsandiger Ton bestimmt. Da lehmiger Ton ein höheres Bindungsvermögen als mittelsandiger Ton besitzt, befinden sich auf der Wiese auch die höheren N_{\min} -Gehalte.

Mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Tab. 64, S. 306) und den über den Infiltrationsversuch ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten lassen sich beide Böden als äußerst durchlässig einstufen. Anzumerken wäre noch, dass diese Durchlässigkeiten in den beprobten Böden nicht nur an der Feinbodenart festzumachen sind. Die Böden werden vor allem auch noch durch ihre geringe bis mittlere Lagerungsdichte und doch sehr hohen Durchwurzelungsrate beeinflusst.

Letztendlich sind keine genauen Bewertungen und Aussagen möglich, da uns einerseits die genaue Vorgehensweise zur Bestimmung des mineralischen Stickstoffes nicht bekannt war und zum anderen keine definierten Vergleichswerte vorlagen. Die mit einbezogenen Werte der Vorjahresuntersuchungen sind vermutlich ebenfalls fehlerbehaftet.

5.3.6 Pumpversuch

5.3.6.1 Ergebnisse

Im Untersuchungsgebiet II wurde in der Aue des Lucni-Baches in einem alten, nicht mehr genutzten Brunnen ein Pumpversuch mit 24-stündiger Absenkungsphase durchgeführt. Dazu wurde ein benzinbetriebener Stromgenerator (Firma ISDMO Modell: GX2500 Genesis) und eine mobile Unterwassermotorpumpe (GRUNDFOS BMI/MP1) mit 40 m Plastikrohr (2 m - Stücke) verwendet, da keine festinstallierte Pumpe und Stromversorgung vorhanden waren.

Die Ableitung des geförderten Wassers erfolgte in den Abströmbereich nur wenige Meter entfernt vom Brunnen (direkte Versickerung zurück in den GWL).

Während des Pumpversuches wurde periodisch die Höhe des Grundwasserstandes unter Pegeloberkante mit dem Lichtlot gemessen.

Für die Auswertung des Pumpversuches wurde der Wiederanstieg im Brunnen betrachtet, da kein Grundwasserbeobachtungsrohr (GWBR) zur Verfügung stand und so eine Auswertung der Absenkung nicht möglich war. Die Auswertung erfolgte nach den vereinfachten Verfahren nach COOPER & JACOB, wonach sich die Transmissivität T über die Restabsenkung aus der extrapolierten Absenkung berechnen lässt. In der Abbildung 5-21 ist der zeitliche Verlauf von Absenkung (s) und Wiederanstieg (s') im Brunnen dargestellt.

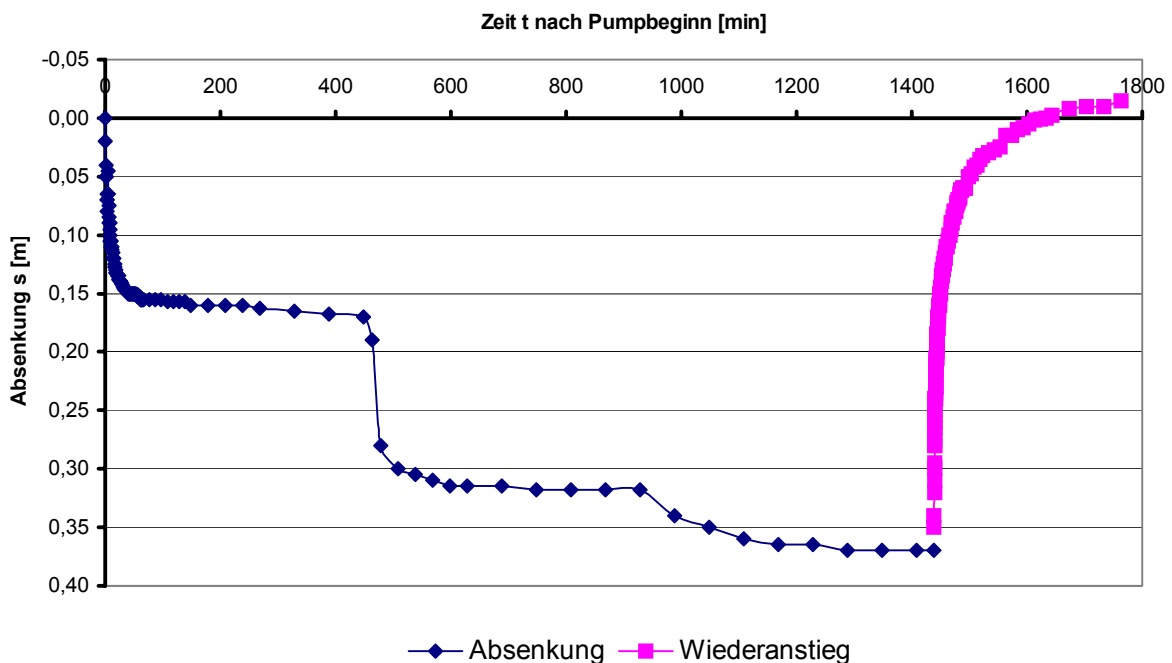


Abbildung 5-21: Zeitlicher Verlauf von Absenkung und Wiederanstieg (Brunnencharakteristik)

Zur Berechnung der Transmissivität muss der letzte Teil der Absenkung ($t > 900$ min) extrapoliert werden. Da hier schon der Beharrungszustand erreicht wurde, kann von einem konstanten Wert $s = 0,37$ m ausgegangen und dann der Wiederanstieg (Differenz $s-s'$) ermittelt werden. Es wird dann über dem Logarithmus der Zeit nach Pumpstopp die Differenz $s-s'$ aufgetragen. Aus dem Anstieg der Wiederanstiegsgerade und der Förderrate Q lässt sich die Transmissivität über die Gleichung

$$T = 0,183 * Q / \Delta s$$

Gleichung 5-3

berechnen.

Die Steigung Δs einer logarithmischen Dekade der Ausgleichsgeraden kann aus dem halblogarithmischen Zeit-Wiederanstiegs-Diagramm abgelesen werden.

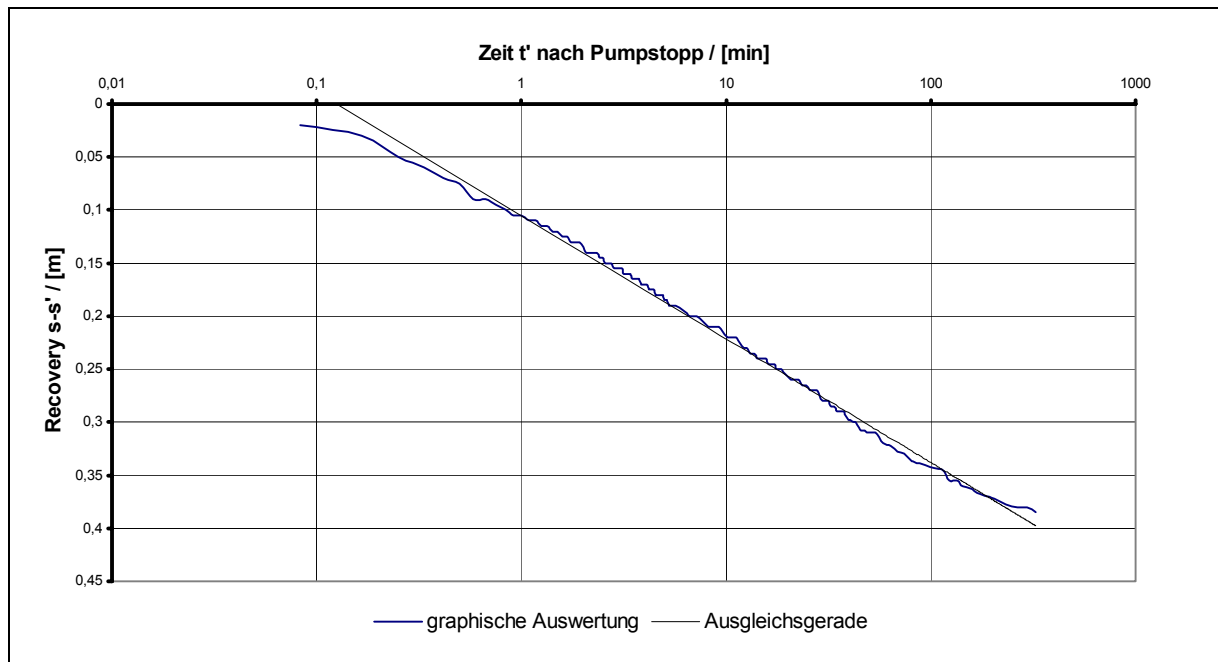


Abbildung 5-22: graphische Auswertung des Wiederanstiegs

Die Förderrate wurde durch mehrmaliges Auslitern ermittelt und betrug zu Pumpbeginn $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ($t = 0 \text{ min}$ bis $t = 929 \text{ min}$), nach Erhöhung der Pumprate bis zum Ende hin ($t > 929 \text{ min}$) wurden dann $3,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ Wasser gefördert. Diese Förderrate wurde auch für die Berechnung zugrunde gelegt. Die Transmissivität ergibt sich somit zu:

$$T = 0,183 * 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} / 0,115 \text{ m}$$

$$T = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Mit Hilfe der grundwassererfüllten Mächtigkeit H kann dann aus der Transmissivität der k_f -Wert berechnet werden. Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters war nicht genau bekannt und auch die Tiefe des Brunnens konnte mit den vorhandenen Mitteln nicht bestimmt werden, da kein Falllot vorhanden war (das Lichtlot verhakte sich schon nach wenigen Metern und wurde daher aus Rücksicht auf das Gerät nicht zur Tiefenlotung genutzt). Für die Mächtigkeit M wurde daher die Brunntiefe von 100 m unter Pegeloberkante (POK) verwendet, welche von Gruppe 2 im Vorjahr ermittelt wurde. Die grundwassererfüllte Mächtigkeit ergibt sich so

zu etwa 96,4 m und setzt sich zusammen aus der Mächtigkeit (Brunnentiefe) abzüglich der Höhe der POK über dem Ruhewasserspiegel. Der k_f -Wert ergibt sich so zu:

$$k_f = T / M \quad \text{Gleichung 5-4}$$

$$k_f = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} / 96,4 \text{ m}$$

$$k_f = 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Mittels k_f -Wert und der Absenkung im Brunnen lässt sich die Reichweite R der durch das Abpumpen hervorgerufenen Absenkung nach Näherungsgleichungen, beispielsweise nach SICHARDT oder auch KUSAKIN, bestimmen. Nach SICHARDT ergibt sich:

$$R = 3000 * s * \sqrt{k_f} \quad \text{Gleichung 5-5}$$

$$R = 3000 * 0,37 \text{ m} * \sqrt{6,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}}$$

$$R = 2,74 \text{ m}$$

Aus der Formel nach KUSAKIN ergibt sich die Reichweite zu:

$$R = 575 * s * \sqrt{T}$$

$$R = 575 * 0,37 \text{ m} * \sqrt{5,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}}$$

$$R = 5,17 \text{ m}$$

Während des Pumpversuches wurden parallel zur Absenkung auch die physikalisch-chemischen Parameter pH-Wert und Redoxpotential sowie der Sauerstoffgehalt im geförderten Wasser bestimmt. Zudem wurden noch zwei Proben zur Analyse im Labor gewonnen, einmal zu Pumpbeginn und zum anderen kurz vor dem Abschalten der Pumpe.

Es wurden dabei noch die Vor-Ort-Parameter aufgenommen (bei Pumpbeginn keine elektrische Leitfähigkeit, kein Sauerstoffgehalt und p- und m-Wert, Test für Gesamthärte funktionierte nicht).

Der pH-Wert, welcher periodisch gemessen wurde, stieg am Anfang von 6,5 auf 6,9 leicht an, fiel dann aber auch rasch wieder ab und pegelte sich bei einem konstanten Wert von 6,6 ein. Der Sauerstoffgehalt fiel sofort nach Pumpbeginn von einem recht geringen Startwert von 3,5 mg/L (Temperatur von ca. 12°C, am Ende nur geringfügig kleiner) noch weiter ab und bewegte sich über den gesamten Pumpversuchsverlauf in Größenordnungen zwischen 0,1 und 0,4 mg/L. Der Eh-Wert sank nach Pumpbeginn erst einmal von 211 mV auf Werte um 140 mV ab, stieg dann etwa nach einer halben Stunde wieder auf den Anfangswert an und erreichte nach einer halben Stunde das Maximum von knapp 300 mV (alle weiteren Werte um 250 mV).

5.3.6.2 Diskussion des Pumpversuchss

Die Auswertung des Pumpversuches gestaltete sich recht schwierig, da kein Grundwasserbeobachtungsrohr zur Messung der Absenkung zur Verfügung stand. Da die Absenkung mit der zuerst angewendeten Förderrate nur eine geringe Absenkung ergab, wurde die Förderleistung nach Absprache mit dem Betreuer erhöht. Für eine Wiederanstiegsauswertung im Brunnen nach der halbempirischen Formel ist aber eine konstante Förderrate notwendig, was im vorliegenden nicht realisiert wurde. Auch nach Erhöhung der Förderrate wurden recht schnell wieder stationäre Verhältnisse erreicht. Die unter diesen Umständen errechneten Werte geben aber trotzdem eine recht gute Annäherung für die Transmissivität und den k_f -Wert. Da auch weitere in die Berechnung eingehende Größen fehlerbehaftet sind, stellt das Ergebnis nur eine Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse dar. Die Größenordnung für die Transmissivität ist aber verglichen mit den Angaben aus der Hydrogeologischen Karte nur geringfügig kleiner ($6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ gegenüber $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$).

Aus der sich asymptotisch einer maximalen Absenkung angleichenden Absenkungskurve ist ersichtlich, dass es sich um einen ungespannten Grundwasserleiter handelt. Für beide Pumpraten wurde der Beharrungszustand rasch erreicht. Bei der Betrachtung der Brunnencharakteristik fällt auf, dass sich drei quasistationäre Verhältnisse ausgebildet haben, obwohl der Pumpversuch nur mit zwei Förderraten gefahren wurde. Die Ursache dafür ist, dass zum Zeitpunkt $t = 929 \text{ min}$ die Position des Ableitungsschlauches (welcher im übrigen viel zu kurz war!) etwas verändert wurde. Es zeigt sich also eine direkte Speisung des

Brunnens aus dem abgeleiteten Wasser während der Absenkungsphase. Dies beeinflusst die Auswertung und die Ergebnisse des Versuchs negativ.

Die direkte Umgebung des Förderbrunnens ist stark anthropogen verändert. In der Aue ist zwischen dem für den Pumpversuch verwendeten Brunnen und dem westlich gelegenen, nicht zugänglichen Brunnen eine etwa zwei Meter breite Schneise, wo Stromkabel verlegt waren (Reste schauten noch aus dem Boden). Dorthin wurde zuerst das geförderte Wasser abgeleitet, scheint aber direkt wieder dem Brunnen zugeflossen zu sein, so dass in der ersten Absenkungsphase ein „hydraulischer Kurzschluss“ erzeugt wurde. Eine weitere Beeinflussung des Grundwasserleiters erfolgt durch dessen Speisung mit Wasser aus dem nahegelegenen Bach und wahrscheinlich auch aus dem südlich des Brunnen verlaufenden kanalisierten Graben (Randbedingungen 1. Art).

In der Absenkungs- Wiederanstiegskurve ist noch ein interessanter Aspekt enthalten. Am Ende des Wiederanstieges ist der Grundwasserspiegel um 1,5 cm höher als vor Beginn des Pumpversuches. Dies kann in allgemeinen Schwankungen des Grundwasserspiegels begründet sein oder aber auch durch den Pumpversuch selbst verursacht sein, indem Klüfte durch das Abpumpen freigespült werden.

Die Durchführung von Pumpversuchen gibt normalerweise nicht nur Aufschluss über die Transmissivität (k_f -Wert), sondern liefert auch Werte für den Speicherkoeffizienten (wichtig für Schutzzonenabgrenzung). Dieser konnte bei der verwendeten Versuchsanordnung jedoch nicht ermittelt werden.

Die chemischen Kennwerte im Grundwasser des Förderbrunnens unterscheiden sich merklich von denen der Oberflächengewässer und des Brunnens in Kninice. Einige Gehalte der gelösten Ionen sind höher. Zu diesen gehören Ammonium, sowie Magnesium und Kalium. Niedrigere Gehalte zeigen sich hingegen bei Calcium und Sulfat, in geringerem Maße auch bei Chlorid. Der Sauerstoffgehalt des Grundwassers ist ebenfalls geringer (auch bedingt durch das Eisenrohr). Vor Pumpbeginn war ein Gehalt von 3,5 mg/L vorhanden. Während des Pumpens fiel dieser auf kleiner 1 mg/L ab (Vergleich: Oberflächengewässer rund 8 mg/L). Das Grundwasser zeigt eine deutlich höhere Aktivität der Wasserstoffionen (pH um 6,6) als die durch anthropogene Einleitungen (ungeklärte häusliche Abwässer) beeinflussten Oberflächengewässer (pH um 8). Dies gilt auch für Redoxpotential, welches ebenfalls etwas niedriger ist.

Im Bezug auf die Ausweisung von Schutzzonen (siehe unten) ist es hier sinnvoll, die ermittelten Parameter mit den Vorgaben der TrinkWv zu vergleichen.

Kritisch betrachtet zeigt sich, dass der pH-Wert im Brunnenwasser bei 6,5 bzw. 6,6 lag. Die Vorgabe für Trinkwasser ist, dass der pH nicht kleiner als 6,5 sein sollte.

Die gemessenen pH-Werte waren in dieser Größenordnung. Durch die Vorgabe für die Meßgenauigkeit von $\pm 0,1$ lagen sie jedoch schon im kritischen Wertebereich. Bei der Analyse war ebenfalls der Grenzwert von Ammonium (0,5 mg/l) überschritten. Der Mittelwert der Analysen betrug rund 1,3 mg/l (Standartabweichung von 0,87 mg/l). Die restlichen bestimmten Werte sind unkritisch. Für eine Nutzung als Trinkwasser müssen jedoch noch weitere Kriterien (Keimfreiheit, organische Inhaltsstoffe, Spurenelemente,...) erfüllt sein.

5.3.7 Schutzgebietsausweisung

5.3.7.1 Bestimmung der Schutzzonen des Brunnens in der Aue des Lucni-Baches

Für den Brunnen, an welchem der Pumpversuch durchgeführt wurde soll hier eine Ausweisung der Schutzzonen erfolgen. Dafür ist es nötig, dass im Umkreis des Brunnens für die Erstellung eines Hydroisohypsenplans Grundwasserstände bekannt sind. Hierfür wurden die Wasserstände des Baches an drei Punkten (in Meter unter POK, POK = 292 m) eingemessen und auch zwei weitere Punkte im wasserführenden Graben mit zur Erstellung des Isohypsenplanes herangezogen. Dabei wurde dabei vorausgesetzt, dass der GWL mit dem Bach- und Grabenwasser in Verbindung steht. Es ergab sich der in Abbildung 19 dargestellte Plan für die Hydroisohypsen (roter Punkt = Brunnen, blaue Punkte = Messpunkte im Bach und gelbe Punkte = Graben). Das Grid wurde mit dem Programm Surfer 7.0 erstellt, als Interpolationsmethode für die Erstellung diente die Triangulation.

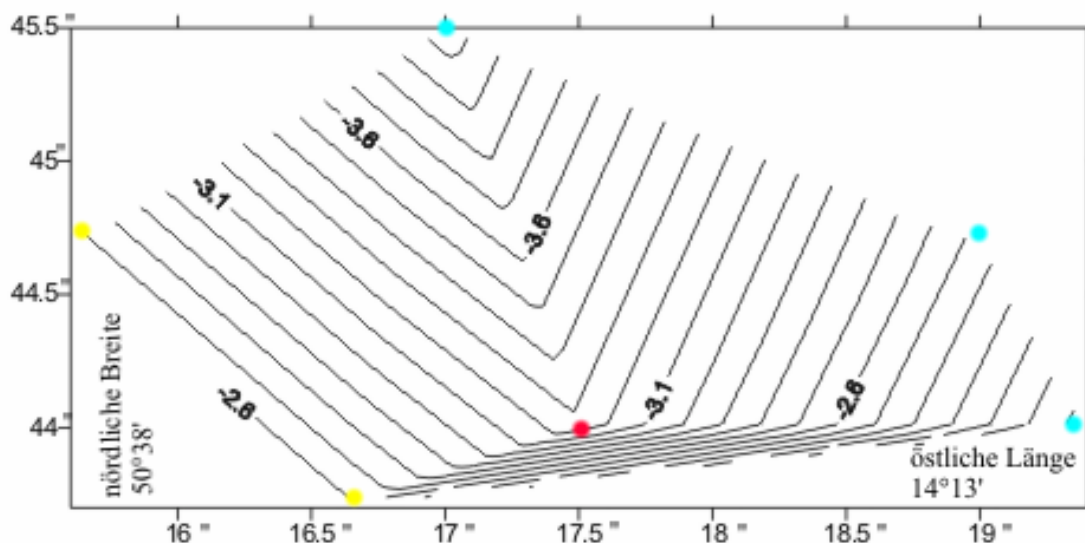


Abbildung 5-23: Hydroisohypsenplan der Aue im Bereich des Brunnens

Da im südlichen Bereich des Brunnens keine Grundwasserstände gemessen werden konnten, sind hier die Isohypsen stark zusammengeschoben und nicht repräsentativ für das Gebiet. Auch ist aus dem Gefälle zu erkennen, dass der GWL nur bedingt mit den Oberflächengewässern in Verbindung steht, vor allem der Graben scheint deutlich über dem Grundwasserspiegel zu verlaufen. Für den Anströmbereich wurde daher das Gefälle östlich des Brunnens verwendet. Der östlichste Messpunkt ist rund 36 m vom Brunnen entfernt und der GW-Stand (Bachwasser) ist dort relativ zum Brunnen 1,7 m höher. Es ergibt sich also ein Gefälle von 4 % (0,04 m/m).

Die Ausweisung der Schutzgebiete soll dabei den Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete des Deutschen Verbandes des Gas- und Wasserfaches (DVGW, Arbeitsblatt W 101 [Februar, 1995]) erfolgen. Das Wasserschutzgebiet gliedert sich in drei Zonen: weitere Schutzzone (Zone III), engere Schutzzone (Zone II) und der Fassungsbereich (Zone I). Das Schutzgebiet sollte i.d.R. das gesamte Einzugsgebiet umfassen (unterirdisch und oberirdisch). Durch Nutzungsbeschränkungen in den einzelnen Zonen soll dem Schutz des Trinkwassers Rechnung getragen werden (siehe dazu auch DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 101).

5.3.7.2 Schutzzone III (weitere Schutzzone)

Die Zone III, welche das gesamte (unterirdische) Einzugsgebiet umfassen sollte, hat die Aufgabe vor weitreichenden Beeinträchtigungen, die insbesondere von nicht oder schwer abbaubaren chemischen Substanzen und vor radioaktiven Verunreinigungen ausgehen, zu gewährleisten. Aufgrund der geringen Größe des Einzugsgebietes erfolgte keine Unterteilung der Schutzzone III in IIIA und IIIB.

5.3.7.3 Schutzzone II (engere Schutzzone)

Die engere Schutzzone soll einen Schutz vor (biologischen) Verunreinigungen, ausgelöst durch pathogene Mikroorganismen, garantieren und darüber hinaus auch sonstige Beeinträchtigungen, die bei geringer Fließdauer und –stecke zum Brunnen hin gefährlich sind von diesem fernhalten. Als Grenze dafür wird i.d.R. die 50-Tage-Linie angewendet. Bei Porengrundwasserleitern sollte jedoch eine Entfernung von 100 m (in begründeten Fällen 50 m) oberstromig der Fassung nicht unterschritten werden.

5.3.7.4 Schutzzone I (Fassungsbereich)

Die Schutzzone I soll die Trinkwassergewinnungsanlage (z.B. Brunnen) und ihre unmittelbare Umgebung vor jeglichen Verunreinigungen und Beeinträchtigungen schützen. Die Ausdehnung des Fassungsgebietes sollte allseitig mindestens 10 m von einem Brunnen betragen.

Eine Ausweisung von Schutzzonen erfolgt immer im Bezug einer angestrebten Fördermenge. Es wurden hier für zwei Fördermengen eine Ausweisung vorgenommen, zum einen zur Versorgung der ortsansässigen Bevölkerung und zum anderen auch zusätzlich für die Versorgung der landwirtschaftlichen Betriebe. Als Förderrate wurde $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ für die Versorgung der Bevölkerung angesetzt (1000 Einwohner mit 150 L Verbrauch pro Kopf), für die weitere Versorgung der Mastbetriebe wird die zehnfache Menge angenommen.

5.3.7.5 Bestimmung der Entnahmebreite

$$B = Q / (k_f \cdot M \cdot J_{\text{nat}}) \quad \text{Gleichung 5-6}$$

$$Q = \text{Fördermenge } (1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \text{ bzw. } 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$K_f = \text{Wasserleitfähigkeitskoeffizienten } (k_f = 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s})$$

$$M = \text{Grundwassererfüllte Mächtigkeit des GWL (96,4m)}$$

$$J_{\text{nat}} = \text{natürliches Gefälle des GW (0,04 m/m)}$$

$$B = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} / (6,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot 96,7 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m/m})$$

$$\underline{B_{\text{Bevölkerung}} \approx 72,0 \text{ m}}$$

$$B = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} / (6,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot 97,4 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m/m})$$

$$B_{\text{Landwirtschaft}} \approx 720,2 \text{ m}$$

Bestimmung unterer Kulmination x_u

$$x_u = B / 2\pi$$

$$x_u = 11,5 \text{ m bzw. } 114,6 \text{ m}$$

Beginn des oberströmigen, ungestörten Bereiches D

$$D = x_u^2 \cdot (B/2)^2 / 2x_u$$

$$D \approx 61,9 \text{ m bzw. } 619,2 \text{ m}$$

Bestimmung Abstandsgeschwindigkeit v_a

$v_a = k_f \cdot J / n_{\text{eff}}$ $n_{\text{eff}} = \text{nutzbare Porosität} \rightarrow \text{Abschätzung nach HÖLTING (1996, S. 155) Sandstein im freien Grundwasser } n_{\text{eff}} = 0,1$

$$v_a = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} = 0,21 \text{ m/d}$$

Abstand der Schutzzone II vom Brunnen s_{50}

$$s_{50} = v_a * t(50d)$$

$$s_{50} \approx 10,5 \text{ m}$$

Für die Schutzzone II sollten aber nicht weniger als 50 m angesetzt werden um eine ausreichende Schutzwirkung zu erzielen. Die berechnete 50-Tage –Linie ist somit nicht mehr von Bedeutung.

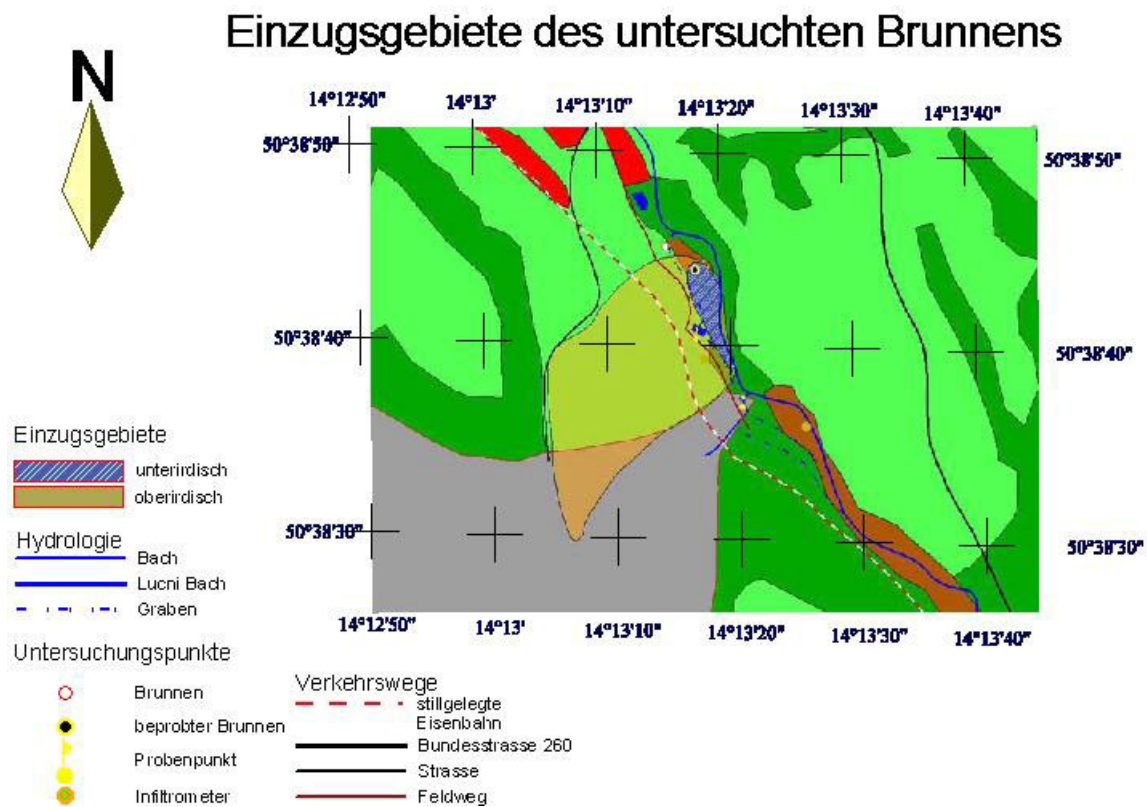


Abbildung 5-24: Einzugsgebiete des untersuchten Brunnens

Einzugsgebiete des untersuchten Brunnens

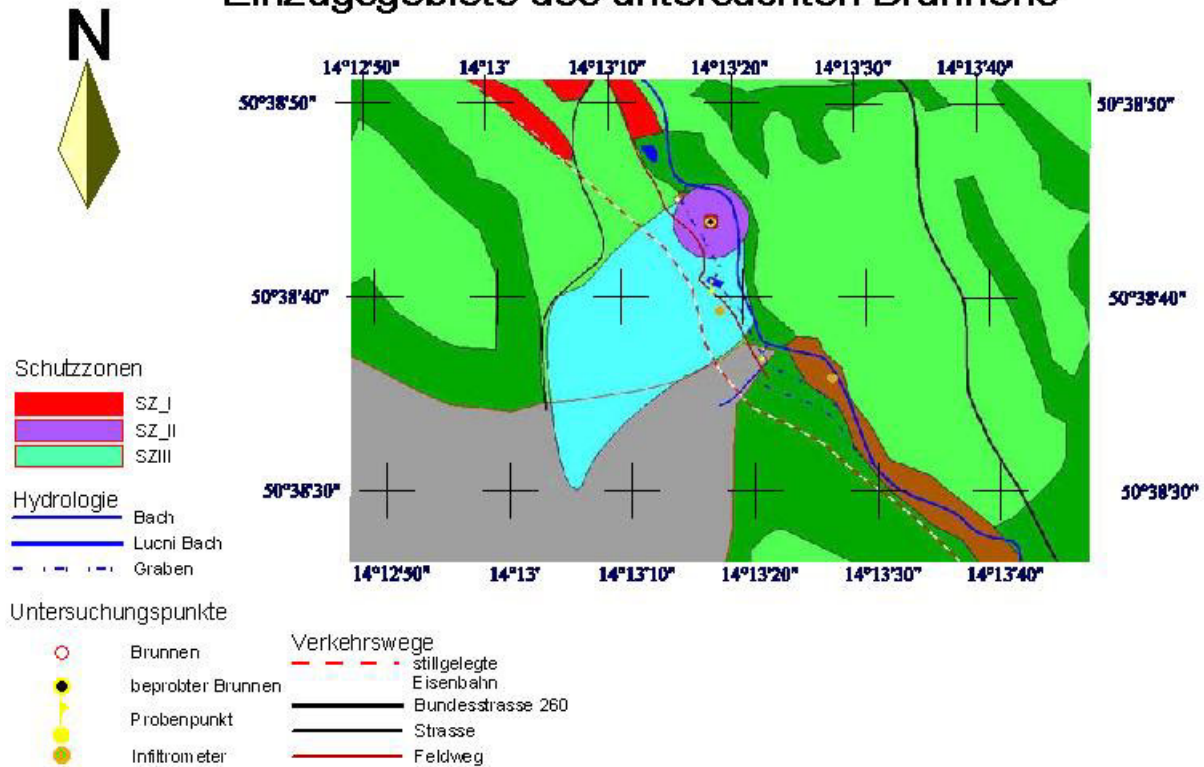


Abbildung 5-25: Schutzzonen des betrachteten Brunnens

5.3.7.6 Diskussion

Für die Bestimmung der Schutzzonen wurde der im Pumpversuch ermittelte k_f -Wert verwendet, Ungenauigkeiten bei dessen Bestimmung und auch beim Wert für die grundwassererfüllte Mächtigkeit des Grundwasserleiters wirken sich auch auf die Bemessung der Schutzzonen. Eine weitere Unsicherheit ergibt sich aus der Tatsache, dass der gesamte Auenbereich sehr stark anthropogen beeinflusst ist. Zum einen besteht der Bereich um den Brunnen aus inhomogenen Aufschüttungen (führt zu stark schwankende k_f -Werte in den oberen Schichten) und zum anderen wirken sich die Terrassierung und die künstlich angelegten Gräben durch Speisung und Drainierung auf die Grundwasserstände und den Wasserfluss (sowohl menge als auch Richtung) im Untergrund aus. Die relativ lange Trockenperiode und das darin begründete Niedrigwasser in den Oberflächengewässern wird dabei auch die Ausweisung der Schutzgebiete beeinflussen, da der Wasserstand im Bach mit für die Erstellung des Hydroisohypsenplanes verwendet wurde. Bei einem höheren Wasserstand wird das Gefälle größer und somit auch die unterirdischen Einzugsgebiete für die beiden Förderraten. Diese wurden so berechnet, dass sie bis an den Bach heranreichen und in etwa Parallel zum Bach verlaufen. Bei einer größeren Förderrate ist das unterirdische

Einzugsgebiet logischerweise auch deutlich größer, das gesamte Einzugsgebiet bleibt jedoch gleich. Es ist jedoch fraglich ob das Einzugsgebiet die .

5.4 Diskussion der Fragestellung

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Untersuchungsergebnisse sollen an dieser Stelle hinsichtlich der in der Einleitung beschriebenen Fragestellung diskutiert werden.

Das Untersuchungsgebiet wird durch Offenlandflächen (Wiese, Weide, Sukzessionsflächen) dominiert. Siedlungen machen nur etwa sechs Prozent der Fläche aus. Die im Gebiet vorhandenen Fließgewässer Lucni Bach und der Bach aus Kninice wurden wasserchemisch analysiert. Dabei konnten nur geringe Unterschiede zwischen Zuflüssen aus Siedlungen und siedlungsfernen Bachabschnitten festgestellt werden. Erhöhte Nitrat-, Natriumgehalte sowie Leitfähigkeitserhöhungen wurden gemessen, konnten jedoch nicht eindeutig auf anthropogene Einflüsse zurückgeführt werden. Natrium und Calcium sind möglicherweise bei der Feldspatverwitterung (Basalt) freigesetzt wurden. Die Einordnung in die Piper-Diagramme lieferte für die Anionen und Kationen unterschiedliche Ergebnisse. Eine eindeutige Klassifizierung in Wassertypen war daher nicht möglich.

Die Durchflussmessungen ermöglichten eine Abschätzung der Wasserhaushaltsbilanz. Die Summe der mittels Tracer, Messwehr und Messflügel gemessenen Zuflüsse in das Untersuchungsgebiet ergab einen Durchfluss von 8,6 L/s (Tracermessung). Am Ausgang des Untersuchungsgebietes wurden 11,7 L/s gemessen (Tracermessung). Vermutlich ist dieser Fehlbetrag von 3 L/s auf unterirdische Sickerwässer zurückzuführen, die nicht registriert wurden. Die Tracermessungen ergaben wesentlich geringere Durchflüsse (5-27 L/s) als die Flügelmessungen. Auch das Messwehr, welches einmal zum Einsatz kam, lieferte einen um den Faktor 3 höheren Wert als die Tracermessung. Im Vergleich zu den Vorjahresergebnissen im Kartiergebiet II fielen die diesjährigen Durchflüsse des Lucni Bach wesentlich geringer aus. Mit der Verdünnungsmethode wurde am Lucni Bach 2002 ein Durchfluss von rund 18 l/s festgestellt, 2003 waren es rund 12 L/s am Ausgang des Untersuchungsgebietes. Es zeigt sich also der Einfluss der sommerlichen Trockenperiode 2003. Im Kninice Bach flossen im Sommer 2002 rund 1 L/s Wasser, im August 2003 waren es ebenfalls 1 L/s. Zwischen diesen Werten ist also kein Unterschied festzustellen.

In der Aue des Lucni-Baches wurde ein Pumpversuch durchgeführt, dessen Auswertung einen k_f -Wert ungefähr von $6 \cdot 10^{-6}$ m/s lieferte. Eine problematische Annahme dabei war allerdings die Bestimmung der grundwassererfüllten Mächtigkeit. Aus den Daten des Pumpversuches konnte ein Schutzzonenvorschlag erarbeitet und grafisch dargestellt werden. Zusätzlich wurde

ein Konzept für die Trinkwasserversorgung des Dorfes Zubrinice mit zwei verschiedenen Förderraten erstellt. Mit dem verfügbaren Trinkwasser aus dem Einzugsgebiet des Förderbrunnens in der Aue können ungefähr 225 Einwohner versorgt werden, unter den Annahmen des kleinen Einzugsgebietes und einem Wasserverbrauch von 150 L/Einwohner und Tag. Bei zusätzlicher Nutzung von Uferfiltrat können größere Förderraten realisiert werden.

In Kninice wurde ein öffentlicher Dorfbrunnen beprobt und anhand der gewonnen Parameter durch Vergleich mit der Trinkwasserverordnung für die Trinkwasserversorgung als geeignet eingeschätzt.

Die Bodenuntersuchungen auf Wiese und Aue ergaben nach Einstufung mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 4 (AG Boden) äußerst hohe Durchlässigkeiten. In der Aue wurde durch Fingerprobe ein mittelsandiger Ton, auf der Wiese ein lehmiger Ton festgestellt. Der Durchlässigkeitsbeiwert scheint etwas zu hoch für einen Ton zu sein. Möglicherweise ist dies auf Trockenrisse infolge lang anhaltender Trockenheit (erhöhte Durchlässigkeit) und intensive Durchwurzelung (Sekundärporen) zurückzuführen.

Durch die PhreeqC-Modellierung konnte das mittels Durchflussmessungen erhaltene Mischungsverhältnis des Kninice Baches und des Lucni nicht bestätigt werden.

Das hydrogeologische Kartierpraktikum gab einen ersten Einblick in die Hydrologie, Hydrogeologie und Hydrochemie des Untersuchungsgebietes II östlich von Zubrinice. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Daten der regelmäßig stattfindenden Praktika zu ermöglichen, wäre es sinnvoll, die gleichen Geländepunkte zu beproben. Dabei sollte gewährleistet sein, dass die zu untersuchenden Parameter konstant gehalten werden (beispielsweise die Eisenbestimmung bei jedem Praktika).

Eine interessante Fragestellung bezüglich des Gebietswasserhaushaltes ist die Grundwasserneubildung, die in Trockenperioden aus regelmäßigen Durchflussmessungen ermittelt werden kann. Auf diesem Weg ist die Grundwasserneubildung sicher realitätsnaher als die Abschätzung über die Wasserhaushaltsgleichung, wie sie in dem vorliegenden Bericht erfolgte.

6 UNTERSUCHUNGSGEBIET III

Kurzfassung

Untersucht wurde zum einen das Potential einer anthropogenen Belastung des Bláhovský-Baches und zum anderen die Aggressivität des Wassers hinsichtlich der Wasserversorgung. Für diese Beurteilung wurden die chemischen Parameter des Oberlaufes, der Zuflüsse und des Unterlaufes des Bláhovský mit denen des Liškovský verglichen, der als unbelastet hinsichtlich anthropogener Einflüsse eingeschätzt wurde. Die Einschätzung der Wässer erfolgte anhand des erstellten PIPER-Diagramms. Die Modellierung der Wasserchemie erfolgte mit PhreeqC. Zusätzliche Durchflussmessungen mittels Tracer, Schüttungsmessung und Messwehr trugen zur Vervollständigung des hydrogeologisch-hydrologisch-chemischen Gesamtbildes bei. Infiltrationsversuche und Bodenuntersuchungen erfolgten unter dem Aspekt der Erosionsgefährdung im Gebiet und der Grundwasserneubildung. Ein Pumpversuch diente der Ermittlung der hydraulischen Durchlässigkeit des zur Trinkwasserversorgung genutzten Aquifers.

Die anthropogene Belastung stellte sich als geringfügig heraus. Die Wässer im Untersuchungsgebiet III eignen sich zur Trinkwasserversorgung.

6.1 Einleitung

Die Aufgabe im Untersuchungsgebiet III bestand darin, festzustellen, in wieweit sich anthropogene Einflüsse, wie Abwässer und Düngung, auf die Gewässergüte auswirken und ob Maßnahmen getroffen werden müssen, um eventuelle negative Auswirkungen zu unterbinden. Zusätzlich wurde die Trinkwasserversorgung von Zubrnice und Týniště in die hydrochemische Betrachtung mit einbezogen, da die Versorgung sowohl durch Grundwasser als auch Quellwasser erfolgt. Die Beprobung der Oberflächengewässer unterlag dabei bestimmten Gesichtspunkten. Da anzunehmen ist, dass Einleitungen aus den Haushalten innerhalb der Ortschaft dem Bláhovský zufließen, wurde besonderes Augenmerk auf den Zustand der Gewässer vor und nach der Ortschaft Týniště gelegt. Dabei dient der Bach Liškovský im Teilgebiet B als Vergleich, da er aus der gleichen geologischen Einheit gespeist wird, aber weniger Einflüssen durch den Menschen ausgesetzt zu sein scheint.

6.2 Einzugsgebiet

6.2.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet III wird im Norden durch Zubrnice, im Osten durch Týniště, im Süden durch Doubravice und im Südosten durch die Ortschaft Bláhov begrenzt.

Das Gebiet III setzt sich aus zwei aneinander grenzenden Einzugsgebieten zusammen und wird charakterisiert durch zum Teil steile Geländestufen und tief erodierte Gerinne. Hinsichtlich der Hydrologie beinhaltet Teilgebiet A ein einfach gegabeltes Bachsystem, welches durch die Ortschaft Týniště fließt und einen Höhenunterschied von 300 m aufweist. Im Teilgebiet B befindet sich ein unverzweigter Bach, der eine Höhendifferenz von 321 m hat. Beide Bäche münden in Zubrnice in den Lučni. Das untersuchte Gebiet hat eine Gesamtfläche von ca. 3 km².

6.2.2 Geologie

Die unteren Hangbereiche des Lučni-Bachtales werden von horizontal lagernden kretazischen Sandsteinen des Santon gebildet, welche von pleistozänen Solifluktsdecken mit eingelagerten Vulkanitblöcken überdeckt sind. Diese Kaltzeitbildungen ziehen sich auch entlang der Talsohlen des Doubravický- (Nomenklatur siehe Abschnitt Hydrogeologie) und des Liškovský-Baches und werden in den Auen des Liškovský's von holozänem Auelehm überdeckt. Im Hangenden der Sandsteine befinden sich tertiäre Tuffite in Wechsellagerung mit ebenfalls tertiären, olivin-führenden Alkalibasalten. Im Quellbereich des Bláhovský-Baches stehen in Hang- und Talposition Erosionsreste von pleistozänem Löss an.

6.2.3 Hydrogeologie

Im Kartiergebiet III entspringen drei Bäche: Liškovský-Bach, Bláhovský-Bach und Doubravický-Bach. Letztgenannter mündet in Týniště in den Bláhovský. Der Vorfluter für die anderen beiden ist der Lučni-Bach. Bei den Quellen der Bäche handelt es sich um mehrere Schichtquellen, bedingt durch das Ausstreichen der Vulkanite (Kluftgrundwasserleiter), welche sich in den Kammlagen befinden und vom regional bedeutenden Grundwasserstauer der tertiären Tuffite unterlagert werden. Die Quellaustritte sind diffus und jeweils auf mehrere, eng beieinander liegende Stellen verteilt. Auch die Solifluktsdecken ermöglichen in gewissem Umfang die Weiterleitung von Grundwasser. Ebenfalls grundwasserführend sind die kretazischen Sandsteine im Liegenden der Tuffite. Sie entlasten direkt in den Lučni-Bach. Da die Namen einiger Bäche in den zur Verfügung stehenden Karten nicht aufgeführt sind, wurde für diesen Bericht die Nomenklatur der Fließgewässer unserer Vorgänger übernommen. Sie ist so ausgelegt, dass Bäche nach der zu ihrer Quelle nächstgelegenen Siedlung benannt werden.

6.2.4 Landnutzung

Das Untersuchungsgebiet ist durch einen großen Anteil an Waldflächen mit 1,8 km² (60%) und extensiv genutzte Wiesen, die teilweise auch als Weiden genutzt werden, mit 1 km²(30%) gekennzeichnet. Die Waldflächen bestehen größtenteils aus Mischwald, wobei an den Bachläufen vorwiegend Laubbäume, wie Ahorn, Eschen, Buchen und Eichen auftreten. Der Nadelbaumbestand setzt sich aus Fichten, vereinzelt Lärchen und Kiefern zusammen. Auffallend war der große Brennnesselbewuchs am Waldrand, an bzw. auf ungenutzten Waldwegen und auf den Wiesen. Im Unterwuchs der Mischwälder dominieren Brombeeren, Farne, Brennnessel, Holunder und der Jungwuchs der vorhandenen Baumarten. In Gebieten mit dominierender Nadelbaumvegetation, ist wenig bis kein Unterwuchs zu verzeichnen.

Die Wiesenflächen werden extensiv bewirtschaftet und befinden sich vor allem in der Nähe der Ortschaften.

Die Siedlungsflächen nehmen flächenmäßig mit 0,1 km² (5 %) nur einen geringen Teil ein. Angrenzend an Siedlungen sind vereinzelt Streuobstwiesen mit einer Gesamtfläche von 0,2 km² (5 %) vorhanden. Diese variieren stark in ihrer Größe.

6.2.5 Trinkwasserversorgung

Die Versorgung der Ortschaften Zubrnice und Týniště mit Trinkwasser erfolgt durch Grundwasser aus den regionalen Grundwasserleitern sowie aus Quellen südlich von Týniště. Die Grundwasserförderung erfolgt größtenteils durch einen Brunnen in Týniště. Das Wasser

wird bereits im Brunnenhaus aufbereitet. Die Aufbereitung erfolgt durch Zugabe von Chlor. Das überschüssig geförderte Wasser wird in einem Speicherbecken unterhalb von Týniště gesammelt und von dort nach Zubrnice geleitet. Die Förderung durch den Brunnen wird der Nachfrage entsprechend gestaltet.

Das Wasser, der sich in Týniště befindlichen Quelle, wird ebenfalls mit Chlor behandelt. Nach Aussagen von Anwohnern wird dieses Wasser zur privaten Trinkwasserversorgung weniger Häuser in Týniště herangezogen.

In Týniště befindet sich noch ein Betonbecken, dessen Aufgabe hinsichtlich der Wasserversorgung nicht geklärt werden konnte. Ein Handpumpbrunnen, 400 m unterhalb der Brunnen- und Wasseraufbereitungsanlage in Týniště, ist nicht mehr funktionstüchtig.

In Doubravice befinden sich mehrere Hausbrunnen, sowie ein Dorfteich, welcher nicht in Verbindung mit dem Bachsystem oberhalb von Týniště steht.

In der Vergangenheit lieferte ein artesischer Brunnen zwischen Týniště und Zubrnice ebenfalls Wasser für die Trinkwasserversorgung dieser Ortschaften. Dieser Brunnen wurde jedoch laut Angaben des stellvertretenden Bürgermeisters, Herrn Röttig, still gelegt. Weitere Informationen konnten nicht erlangt werden, da es nicht möglich war, ein Treffen mit weiteren kundigen Personen zu arrangieren.

6.3 Analytik der Hydrogeochemie

Die Lokalitäten der Probenahmepunkte sind in der Karte „Untersuchungsgebiet III“ im Anhang zu entnehmen. Im Teilgebiet A wurden die Quelle und der Brunnen in Týniště jeweils einfach beprobt (Probe A5 und A7). Aus den zwei Bachläufen südlich dieser Ortschaft wurden vier Proben entnommen (Probe A1, A2, A3 und A4). Eine weitere Probenahme erfolgte stromabwärts des Bláhovský (Probe A6).

Der Bachlauf im Teilgebiet B wurde an drei verschiedenen Stellen beprobt. Eine Probe wurde im Quellbereich (Probe B3), eine im Mittellauf (Probe B2) und eine im Unterlauf (Probe B1) entnommen.

Nach den ersten Analysenergebnissen fand eine Doppelbestimmung der Proben A4, A6 und B1 statt.

6.3.1 Vor-Ort-Analytik

Die physikalisch-chemischen Parameter der Vor-Ort-Analytik sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Die Parameter wurden an Punkten gemessen, an denen mit veränderten Bedingungen zu rechnen war. Da die Probenanzahl auf ein gewisses Maß eingeschränkt werden musste, wurden Stellen beprobt, die hinsichtlich der anfangs erläuterten Fragestellung

am ehesten zu aussagekräftigen Ergebnissen führen. Es lassen sich dennoch einige Tendenzen erkennen.

Die Werte der Nichtcarbonathärte, des CO₂- und des HCO₃⁻-Gehaltes wurden nicht Vor-Ort bestimmt, sondern nachträglich berechnet. Der Vollständigkeit halber werden sie hier bereits aufgeführt.

Die relativ hohen Gehalte an den Erdalkaliionen Calcium und Magnesium sowie an Hydrogencarbonat, die sich in einer hohen Härte des Wasser niederschlagen (vgl. Tabelle 6-1) sind bezeichnend für das Gestein des Grundwasserleiters. Das in den Quellbereichen der Flüsse austretende Wasser strömt als Grundwasser durch basische Gesteine. Es liegen zwar keine Regenwasseranalysen aus dem Untersuchungsgebiet vor. Aber aufgrund der Kohleförderung und Nutzung wird aber vermutet, dass das Niederschlagswasser einen niedrigen pH-Wert besitzt und als schwach saurer Regen in das Gebiet eingetragen wird. Durch den relativ niedrigen pH-Wert des Sickerwassers werden verstärkt Erdalkaliionen und Carbonate gelöst.

Tabelle 6-1: Vor- Ort- Analysen und daraus errechnete Größen

Probenahmeort	Carbonathärte		Gesamthärte		Nichtcarbo- nathärte [mmol/l]	-p [mmol /l]	CO ₂ [mg/l]	+m [mmol/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]
	[mmol/l]	°dH	[mmol/l]	°dH					
A1 (9.08.03)	1,65	9,00	3,5	9,80	1,85	0,30	13,2033	3,8	231,8418
A2 (9.08.03)	1,50	8,00	3,7	10,20	2,20	0,30	13,2033	3,3	201,3363
A3 (10.08.03)	1,35	7,20	3,5	9,70	2,15	0,40	17,6044	3,4	207,4374
A4 (9.08.03)	1,60	8,80	4,4	12,20	2,80	0,40	17,6044	3,4	207,4374
A5 (9.08.03)	1,55	8,40	4,6	12,80	3,05	0,30	13,2033	3,3	201,3363
A6 (9.08.03)	1,90	10,40	4,8	13,20	2,90	0,30	13,2033	4,1	250,1451
A7 (14.08.03)	1,95	10,60	4,9	13,60	2,95	0,50	22,0055	4,4	268,4484
B1 (9.08.03)	1,75	9,50	5,3	14,70	3,55	0,50	22,0055	4,2	256,2462
B2 (9.08.03)	1,60	8,60	4,4	12,20	2,80	0,40	17,6044	3,8	231,8418
B3 (9.08.03)	1,70	9,40	4,1	11,40	2,40	0,20	8,8022	4,5	274,5495
B1 (14.08.03)	2,05	11,00	5,4	14,90	3,35				
A6 (14.08.03)	1,70	9,40	5,0	13,80	3,30				
A4 (14.08.03)	3,50	19,00	5,0	13,80	3,30			5	305,055

Sollte das Wasser industrieller Nutzung bzw. der Nutzung im Haushalt (z.B. Waschmaschinen) zugeführt werden, ist eine Aufbereitung des Wassers in Erwägung zu ziehen. Bei der Erhöhung der Wassertemperatur durch Heizelemente kommt es zur Ausfällung von Carbonaten, die sich negativ auf die Effektivität der Anlagen auswirken können.

Phreeqc- Modellierung

Im folgenden Abschnitt sind einige Berechnungen mit PhreeqC durchgeführt worden, um festzustellen, ob die geförderten Wässer der Trinkwasserversorgungsanlage in Tyniste den technischen Anforderungen (Korrosion bzw. Kalkabscheidungen im Leitungsnetz) entsprechen. Zusätzlich wurde untersucht, ob die Wässer am Pumpversuchsbrunnen in der Lucnitalaue und der Quelfassung am Probenahmepunkt A5 bei einer evt. Nutzung bzw. Weiterleitung in Rohren, einer Aufbereitung bzgl. oben angeführter Parameter bedürfen.

Dazu wurde der pHc (pH bei Calcitsättigung) berechnet um festzustellen in welche Richtung die erforderlichen Maßnahmen zu erfolgen haben. Dabei hat sich folgendes ergeben: Das in einem Becken beprobte Wasser der Trinkwasseranlage in Tyniste ist mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits behandelt worden, da es bereits einen SI von etwa 0 besitzt. Außerdem erfolgt, wie bereits erwähnt eine Chlorierung vor Ort. Die anderen beiden Punkte müssten gekalkt werden. Anschließend wurde die pro Liter Wasser zur Verfügung stehende Molanzahl soweit verändert, bis sich damit gerade eine Sättigung einstellt. Über die Molmasse des Calcit wurde die erforderliche Menge an Kalk berechnet, welche zugegeben werden muss, um eine Beeinträchtigung des Versorgungssystems durch diesen Parameter zu vermeiden.

Tabelle 6-2: Ergebnisse der Berechnungen zur Wasseraufbereitung

	SI Calcit ohne Aufbereitung	pH-gemessen	pHc	erforderliche Zugabemenge an Kalk [g/m ³]
Brunnenhaus Tyniste	0.06	7.6	7.6	-
Pumpversuchsbrunnen	-1.05	6.7	7.3	100
Quelle am Punkt A5	-0.27	7.3	7.5	15

Um die Speziesverteilung des redoxsensitiven Elements Eisen zu bestimmen, wurde die Analyse B1 in PhreeqC modelliert. Die folgenden drei Diagramme zeigen die Ergebnisse.

Bei dem vorhandenen pe-Wert liegen ca. 40% des Gesamteisens in zweiwertiger Form vor, d.h. es handelt sich um teilreduzierte Verhältnisse.

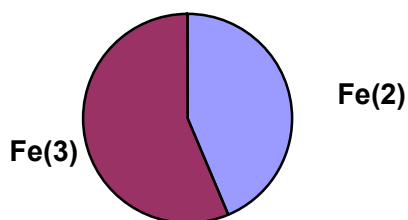


Abbildung 6-1: Fe(II) zu Fe(III) Verhältnis an der Probenahmestelle B1

Die Speziesverteilung selbst ist in Abbildung 5.2 zu sehen. Beim zweiwertigen Eisen dominiert das Kation und beim dreiwertigen Eisen der unullwertige Hydroxidkomplex.

Abbildung 6-2: Speziesverteilung des Eisens in der Probe B1

Abbildung 6-3: Übersättigte Mineralphasen

In der Abbildung 6-3 sind für diese Probe übersättigten Mineralphasen dargestellt. Aufgrund der relativ hohen Eisengehalte in der Probe (Gesamteisen 0.25 mg/L) sind zahlreiche Fe-führende Minerale übersättigt, deren Ausfällung jedoch größtenteils kinetisch gehemmt ist.

Temperatur

So nimmt die Temperatur im Liškovský stromabwärts deutlich zu. Im Quellbereich dieses Baches lag die Temperatur am Nachmittag des 09.08.2003 bei ca. 13 °C. Kurz vor der Einmündung in den Lučni betrug die Temperatur 19 °C. Die Erwärmung der kühleren Grundwässer nach ihrem Austritt aus Schichtquellen durch Sonneneinstrahlung und erhöhte Lufttemperaturen war zu erwarten. Eine derartige Temperaturzunahme ist im Bachsystem um Týniště ebenfalls zu beobachten, obgleich weniger augenfällig. Die erhöhte Temperatur im Doubravický (17,1 °C bei A1) gegenüber der Temperatur im Bláhovský unterhalb von Týniště (16,0 °C bei A6) kann im weniger dichten Vegetationsbestand im Unterlauf des Doubravický begründet sein. Eine Einleitung kühlerer Wässer innerhalb Týniště scheint weniger wahrscheinlich.

Leitfähigkeit

Die Zunahme der Leitfähigkeit im Verlauf des Liškovský ist ebenfalls deutlich. Die austretenden Grundwässer besitzen bereits einen recht hohen Lösungsinhalt. Dies ist u.a. bedingt durch das Gestein der Grundwasserleiter. Im Bláhovský lässt sich dieser Zusammenhang nicht so deutlich beobachten. Die verringerte Leitfähigkeit und somit die geringeren Gehalte der gelösten Stoffe im oberen Verlauf des Bláhovský und Doubravický (A1, A2, A3) ist im nachstehenden Diagramm ersichtlich.

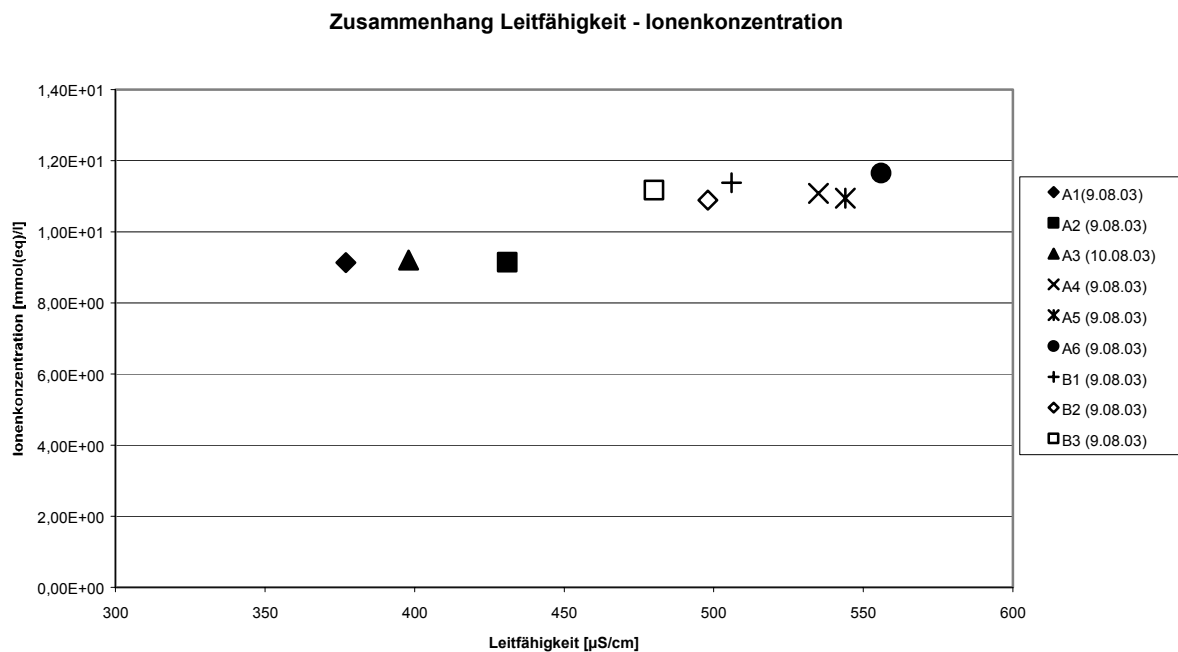


Abbildung 6-4: Zusammenhang Leitfähigkeit – Ionenkonzentration

Die Probe A6, die unterhalb Týniště genommen wurde, weist erwartungsgemäß die höchste Leitfähigkeit und den höchsten Gehalt an gelösten Stoffen auf. Ersichtlich wird aus dem Diagramm (Abbildung 6-5) jedoch auch, dass ähnliche Ionenkonzentrationen in ihrer Leitfähigkeit in einem Bereich von 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ schwanken. Dies ist größtenteils auf Schwankungen der Messungen zurückzuführen. Die dargestellten Absolutwerte sind als Richtwerte zu betrachten. Tabelle 6.6-3 zeigt die vor Ort gemessenen Parameter der einzelnen Probenahmepunkte und die der Doppelbestimmung.

Tabelle 6.6-3: Vor- Ort- Analysen

Probenahmeort	Temperatur [°C]	pH	E _r [mV]	E _h [mV]	LF [μS/cm]	O ₂ [mg/l]	O ₂ [%]
A1(9.08.03)	17,1	7,8	175	385	377	4,60	67,20
A2 (9.08.03)	10,0	7,3	280	497	431	5,38	48,70
A3 (10.08.03)	14,3	8,0	233	448	398	5,34	54,30
A4 (9.08.03)	14,6	8,0	110	324	535	6,46	65,40
A5 (9.08.03)	13,6	7,3	390	706	544	2,63	26,7
A6 (9.08.03)	16,0	7,0	166	379	556	4,40	46,00
A7 (14.08.03)	13,7	7,6			473		
B1 (9.08.03)	19,3	7,9	156	363	506	4,30	48,00
B2 (9.08.03)	16,8	8,1	163	376	498	1,45	15,70
B3 (9.08.03)	13,1	7,8	238	554	480	3,20	33,00
B1 (14.08.03)	17,5	7,7	190	402	453	10,30	89,80
A6 (14.08.03)	15,1	8,1	361	575	480	7,18	75,80
A4 (14.08.03)	14,3	7,8	220	435	466	7,23	73,90

pH

Der pH- Bereich, in dem die untersuchten Wässer liegen, reicht von 7,0 bis 8,1. Die Wässer können demnach als neutral bis leicht alkalisch eingestuft werden. Auffällig ist, dass der pH-Wert des Bláhovský unterhalb von Týniště im Vergleich zum restlichen Untersuchungsgebiet den kleinsten Wert besitzt. Dies könnte durch das Einleiten von Haushaltsabwässern bewirkt werden, wie dies im Ort zu beobachten war.

Sauerstoffgehalt

Einleitend ist zu bemerken, dass das Redoxpotential und der Sauerstoffgehalt im Brunnen von Týniště (A7) nicht bestimmt werden konnten, da sämtliche Elektroden und Messgeräte bei den Pumpversuchen der Gruppen 1 und 2 eingesetzt waren und der Zugang zum Brunnenhaus nur an diesem Tag ermöglicht werden konnte. Eine nachträgliche Ermittlung dieser Werte war demnach nicht möglich. Die Kenntnis dieser Werte wäre aber von Interesse gewesen, um die Verhältnisse mit denen der Quelle in Týniště (A5) zu vergleichen. Die Sauerstoffgehalte liegen zwischen 15 % und 90 %, welche im normalen Bereich für Fließgewässer und Quellwässer liegen.

6.3.2 Laboranalytik

Für einen Vergleich der Proben untereinander wurden die Konzentrationsangaben von mg/l in mmol(eq)/l umgerechnet. Die Ionenbilanzen der einzelnen Wasserproben sind in Tabelle 5.4 aufgelistet. Da weder die Eisen(II)- noch die Gesamteisengehalte (mit einer Ausnahme am Probenahmepunkt B1) bestimmt wurden, ist der Fehler der Ionenbilanz erwartungsgemäß hoch. Eisen stellt einen wichtigen Inhaltsstoff des Wassers dar und ist bei Wasseranalysen nicht zu vernachlässigen. Am Anfang der Gebietsuntersuchung wurde davon ausgegangen, dass Eisen Vor-Ort mittels der Photometer von HACH bestimmt werden kann. Dies konnte aufgrund technischer Mängel der Geräte nicht realisiert werden. In Erwartung der zusätzlichen photometrischen Analysen hinsichtlich Eisens wurden die genommenen Wasserproben weder angesäuert noch in Glasflaschen gelagert und konnten im Nachhinein nicht auf Eisen untersucht werden.

Der Fehler der einzelnen Proben schwankt sehr stark. Er reicht von 0,2 bis 110 %. Große Schwankungen innerhalb einer Reihe von Wasserproben aus dem gleichen Gewässer sind dadurch erklärbar, dass es sich bei Oberflächen- und Grundwässern einerseits um dynamische Systeme handelt und andererseits ein Fehler der Analysengenauigkeit von 10% auftritt. Analysen, die an derselben Stelle aber zu verschiedenen Zeitpunkten genommen wurden, weisen meist starke Schwankungen auf. Die Beschaffenheit eines Wassers unterliegt natürlichen ständigen Wechseln.

In der aufgeführten Ionenbilanz ist außerdem auffällig, dass die Analysen vom 14.08.2003 weitaus höhere Fehler aufweisen als die restlichen Proben. Dies lässt sich auf fehlende Hydrogencarbonat und Phosphatgehalte zurückführen. Diese müssen in weiterführenden Untersuchungen bestimmt werden.

Allgemein werden die zulässigen Abweichungen der Kationen- und Anionen-Summen von 2 % deutlich überschritten. Die hier aufgeführte Ionenbilanz ist weniger als absolutes Ergebnis, sondern eher als eine Annäherung und Abschätzung der Wasserinhaltsstoffe zu betrachten.

Tabelle 6-4: Ionenbilanz

Probenahmeort (Datum)	mmol(eq)/L						mmol(eq)/L
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Summe Anionen
A1(9.08.03)	6,52E-04	3,40E-01	1,70E-02	6,74E-03	7,49E-01	3,80E+00	4,92E+00
A2 (9.08.03)	2,17E-04	4,46E-01	2,10E-02	7,79E-03	9,98E-01	3,30E+00	4,78E+00
A3 (10.08.03)	1,30E-04	3,68E-01	2,40E-02	6,11E-03	8,94E-01	3,40E+00	4,69E+00
A4 (9.08.03)	1,96E-03	2,27E-01	2,40E-02	1,90E-02	1,87E+00	3,40E+00	5,55E+00
A5 (9.08.03)	2,17E-04	5,60E-01	2,90E-02	4,63E-03	1,56E+00	3,30E+00	5,46E+00
A6 (9.08.03)	4,09E-03	4,60E-01	2,60E-02	2,65E-02	1,25E+00	4,10E+00	5,87E+00
A7 (14.08.03)	2,87E-04	2,12E-01	3,60E-02	6,53E-03	1,56E+00		1,82E+00
B1(9.08.03)	4,35E-04	1,63E-01	1,50E-02	8,00E-03	1,50E+00	4,20E+00	5,89E+00
B2 (9.08.03)	4,35E-04	2,05E-01	2,30E-02	5,48E-03	1,58E+00	3,80E+00	5,62E+00
B3 (9.08.03)	4,35E-04	3,82E-01	2,20E-02	5,48E-03	1,16E+00	4,50E+00	6,08E+00
B1(14.08.03)	2,87E-04	1,35E-01	2,50E-02		1,54E+00		1,70E+00
A6 (14.08.03)	4,30E-04	3,54E-01	3,00E-02		1,27E+00		1,65E+00
A4 (14.08.03)	5,02E-04	4,89E-01	2,80E-02		1,64E+00		2,16E+00
PV (14.08.03)	2,15E-04	8,50E-02	5,00E-02		7,70E-01		9,05E-01

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺		Summe Kationen
A1(9.08.03)	4,86E-02	2,16E+00	1,20E+00	1,38E-02	8,00E-01		4,22E+00
A2 (9.08.03)	5,12E-02	2,24E+00	1,12E+00	0,00E+00	9,61E-01		4,37E+00
A3 (10.08.03)	4,60E-02	2,24E+00	1,20E+00	1,11E-03	1,03E+00		4,51E+00
A4 (9.08.03)	2,63E-02	2,72E+00	1,68E+00	2,49E-02	1,09E+00		5,54E+00
A5 (9.08.03)	4,09E-02	2,96E+00	1,76E+00	1,66E-03	7,31E-01		5,49E+00
A6 (9.08.03)	9,46E-02	2,88E+00	1,92E+00	4,43E-03	8,87E-01		5,78E+00
A7 (14.08.03)	5,35E-02	2,96E+00	1,20E+00		2,75E-01		4,49E+00
B1(9.08.03)	4,60E-02	3,04E+00	1,68E+00	4,43E-03	7,26E-01		5,50E+00
B2 (9.08.03)	4,35E-02	2,72E+00	1,76E+00	2,77E-03	7,48E-01		5,27E+00
B3 (9.08.03)	2,56E-02	2,80E+00	1,44E+00	2,77E-03	8,26E-01		5,09E+00
B1(14.08.03)	6,91E-02	2,96E+00	1,92E+00	2,86E-03	7,26E-01		5,68E+00
A6 (14.08.03)	1,02E-01	2,96E+00	1,92E+00	6,43E-03	8,00E-01		5,79E+00
A4 (14.08.03)	5,37E-02	2,88E+00	1,76E+00	2,14E-03	8,61E-01		5,56E+00
PV (14.08.03)	1,36E-01	1,84E+00	2,32E+00	7,15E-03	2,87E-01		4,59E+00

	rel.Fehler [%]
A1(9.08.03)	1,52E+01
A2 (9.08.03)	8,84E+00
A3 (10.08.03)	3,95E+00
A4 (9.08.03)	1,51E-01
A5 (9.08.03)	6,61E-01
A6 (9.08.03)	1,41E+00
A7 (14.08.03)	8,48E+01
B1(9.08.03)	6,87E+00
B2 (9.08.03)	6,33E+00
B3 (9.08.03)	1,76E+01
B1(14.08.03)	1,08E+02
A6 (14.08.03)	1,11E+02

A4 (14.08.03)	8,80E+01
PV (14.08.03)	1,34E+02

Der Bach im Untersuchungsgebiet B weist keine extremen Schwankungen (bis auf NO_3^-) im Ionenhaushalt auf. Im Vergleich dazu weist der verzweigte Bach im Untersuchungsgebiet A größere Schwankungen hinsichtlich der Menge an unterschiedlichen Ionen im gesamten Verlauf auf. In diesem Gebiet soll im Wesentlichen auf die Bereiche vor der Ortschaft Tynistě und nach der Ortschaft geachtet werden.

Nitrat

Der Nitratgehalt des Baches im Gebiet B sinkt von der Quelle bis kurz vor der Einmündung in den Lučni von 23,76 mg/L auf 10,12 mg/L. Dies kann evtl. auf den Eintrag von Düngemitteln (Exkremate der Weidetiere) von den extensiv genutzten Wiesen und Weiden oberhalb der Quellen zurückzuführen sein. Nitrat wird dann nach dem Austritt an der Quelle teilweise verdünnt, durch Mikroorganismen abgebaut. Auffallend im Gebiet B ist der höhere Nitratwert der beprobten Quelle (A5). Dies kann sowohl aus dem Gestein gelöst worden, sowie durch anthropogene Einwirkungen eingetragen worden sein.

Nitrit

Der Gehalt an Nitrit ändert sich kaum im beprobtem Bereich. Eine auffallend höhere Konzentration ist nur nach der Ortschaft Týniště zu erkennen. Dies ist zurückzuführen auf die Einleitung der fast ungeklärten Abwässer innerhalb Týniště. Nitrit bildet nur eine kurzzeitige Zwischenstufe bei der Nitrifizierung von NH_4^+ zu NO_3^- . Durch die geringen Konzentrationen und den relativ schnellen Abbauprozess wird angenommen, dass Nitrit keine Gefahr für den Lučni dar.

Ammonium

Die Werte für Ammonium liegen im natürlichen Bereich von Oberflächengewässern. Höhere Werte für Ammonium wurden nur an den Probenahmestellen A1 und A4 festgestellt. Dies lässt auf einen zusätzlichen Eintrag durch Grundwasser schließen, welches aus der Region der Weideflächen stammt. Eine anthropogene Beeinflussung ist also zu erkennen.

Phosphat

Der höchste Phosphatwert im Untersuchungsgebiet wurde nach der Ortschaft Týniště gemessen (A6). Durch die Einleitung der Abwässer der Ortschaft in den Bláhovský steigt hier

der Phosphatgehalt auf 1,26 mg/L an. Nach DVWK (1996) steigt die Eutrophierungsgefahr von Oberflächengewässern ab einen Wert $> 1\text{mg/L}$ stark an. Der stärkere Algenbewuchs im Bláhovský stromabwärts der Ortschaft Týniště deutet bereits auf die Eutrophierungsgefahr hin.

Sulfat

Im Gebiet B steigt der Sulfatgehalt im Liškovský stromabwärts von 56 mg/l auf 72 mg/l an. Diese Werte liegen im normalen Konzentrationsbereich von Oberflächengewässern nach DVWK (1996), der Anstieg in Richtung Mündung lässt jedoch auf einen zusätzlichen Eintrag von Sulfat schließen. Hier wäre eine Betrachtung der Eisenwerte interessant, um evtl. die Verwitterung von Pyrit als Ursache heranzuziehen. Eine weitere Möglichkeit ist der atmosphärische Eintrag von Sulfat, da im Gebiet des Egergrabens Braunkohle gefördert wird und sich in dieser Region ebenfalls entsprechende Kraftwerke befinden. Im Gebiet A schwanken die Werte zwischen 36 mg/L und 75 mg/L. Nur an Probepunkt 4 liegt der Wert bei 90 mg/L. Dies lässt auf einen Eintrag durch Grundwasser schließen, welches höhere Sulfatwerte aufweist.

Chlorid

Die Werte für Chlorid liegen zwischen 0,53 mg/L und 0,92 mg/L. Diese sind relativ gering. Ein etwas auffallend höherer Wert wurde an der Quelle A5 gemessen mit 1,03 mg/L. Die Nachfrage zur Ursache ergab eine Chlorierung der Quelle, weil diese zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Der Trinkwasserbrunnen (A7) wies ebenfalls mit 1,28 mg/L einen höheren Wert auf, der auf Chlorierung zurückzuführen ist. Beide Werte liegen jedoch nach der Trinkwasserverordnung der Bundesrepublik Deutschland unterhalb des Grenzwertes von 250 mg/L.

Calcium/Magnesium

Die Gehalte an Calcium und Magnesium nehmen im Gebiet B von der Quelle zur Mündung hin zu, der Gehalt an Hydrogencarbonat nimmt hingegen ab. Im Gebiet A ist ebenfalls ein leichter Anstieg mit dem Bachlauf zu vermerken. Die Calciumgehalte liegen zwischen 43,29 mg/L und 60,92 mg/L. Sie liegen etwas über den für Oberflächenwasser typischen Bereich (4 - 40 mg/L nach DVWK (1996)). Im Gebiet ist zum Untersuchungszeitpunkt längere Zeit kein Niederschlag gefallen. Es herrschten über diese Zeit tagsüber hochsommerliche Temperaturen. Der Oberflächenabfluß kann mit Einschränkungen gleich

Null gesetzt werden. Die Bachläufe werden nur noch mit Grundwasser gespeist, welches aus den oberen Grundwasserleitern mit Tonmergel und Kalkmergel stammt. Dadurch sind die etwas höheren Gehalte an gelöstem Calcium im Wasser zu erklären.

Die Werte für Magnesium schwanken zwischen 14,59 mg/L und 23,34 mg/L und liegen auch über die für Oberflächengewässer typischen Gehalte von 4 mg/L nach DVWK (1996). Auch hier treffen die oben gemachten Aussagen für Calcium zu.

Hydrogencarbonat

Die Gehalte an Hydrogencarbonat sind im Untersuchungsgebiet relativ konstant. Sie liegen zwischen 201 mg/L und 274 mg/L. Auffallend ist jedoch, dass im Gebiet B etwas höhere Werte vorliegen, als im Gebiet A. Vermutlich sind die erhöhten Werte darauf zurückzuführen, dass das Wasser unterschiedlichen Grundwasserleitern entstammt. Im Verlauf der Zeit, indem das Wasser in Kontakt mit dem CO₂ der Luft steht, steigt der HCO₃⁻-Gehalt theoretisch an. Dieser Zusammenhang ist bei den untersuchten Proben nicht erkennbar.

Hydrogencarbonatgehalt in Abhängigkeit des pH-Wertes und des CO₂-Partialdruckes

Im nachstehenden Diagramm wurde der pH-Wert der untersuchten Wässer gegen den jeweiligen lg [HCO₃⁻] aufgetragen. Die eingezeichneten Geraden spiegeln verschiedene CO₂ – Partialdrücke wider. Bei dem jeweiligen Partialdruck wird in Abhängigkeit des pH-Wertes ein bestimmter Hydrogencarbonatgehalt erwartet. Innerhalb der untersuchten Proben lässt sich jedoch kein Zusammenhang zwischen Quellwässern und erhöhten Hydrogencarbonatgehalten feststellen, wenn von der Annahme ausgegangen wird, dass diese Wässer einem erhöhten CO₂ – Partialdruck haben. Lediglich die Proben A5 und A2 weisen Tendenzen zu erhöhten Partialdrücken auf, die in ihrer unmittelbaren Nähe der Probenahmestelle zum Quellaustritt begründet liegen können.

Die Probe A6, die stromabwärts von Tyniste genommen wurde, ist hinsichtlich des Hydrogencarbonatgehaltes kritisch zu betrachten. Da das Wasser an dieser Stelle bereits längere Zeit mit dem CO₂ – Partialdruck der Luft in Verbindung steht und sich somit ein neues Gleichgewicht eingestellt haben sollte, wären geringere Gehalte zu erwarten gewesen. Die übrigen Proben weisen keine nennenswerten Unterschiede untereinander auf. Sie liegen jedoch alle im Bereich erhöhter Partialdrücke. Dieses Ergebnis ist sehr wahrscheinlich durch einen systematischen Messfehler begründet.

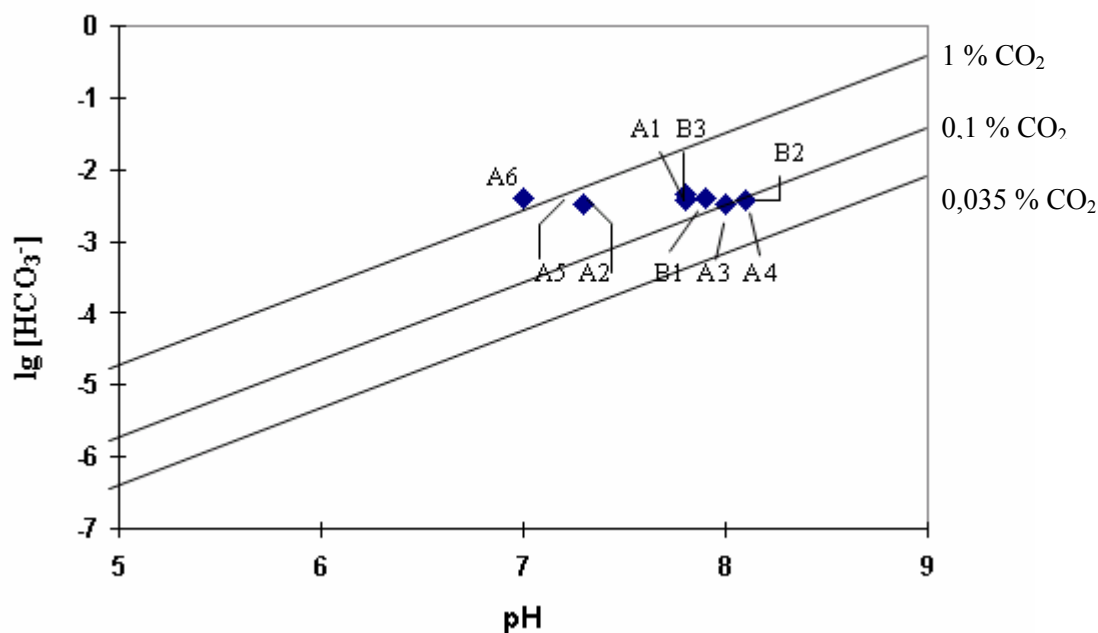


Abbildung 6-5: Hydrogencarbonatgehalt in Abhängigkeit des pH-Wertes und des CO_2 -Partialdruckes

Natrium/Kalium

Die Konzentrationen an Natrium sind im gesamten Untersuchungsgebiet sehr gering und entsprechen den Konzentrationen, welche für Oberflächenwässer typisch sind. Sie liegen im Bereich zwischen 6,33 mg/L und 25 mg/L. Die Kaliumkonzentrationen liegen deutlich unter denen von Natrium. Das liegt daran, dass Kalium durch die adsorptive Bindung an Tonmineralen wieder stärker aus dem Wasser entfernt wird (DVWK 1996). Danach liegt der durchschnittliche Gehalt für Flüsse bei 6,5 mg/L. Die gemessenen Konzentrationen im Untersuchungsgebiet sind mit 1 mg/L bis 3,7 mg/L deutlich geringer. Ein sprunghafter Anstieg ist nach der Ortschaft Týniště zu verzeichnen, was auch hier wieder durch den Eintrag der kommunalen Abwässer zu erklären ist. Die Konzentrationen liegen aber dennoch unter denen, die natürlicherweise vorkommen.

Doppelbestimmung

Zum Vergleich und der Reproduzierbarkeit wurden an den Punkten A4, A6 und B1 wiederholt Proben genommen und bezüglich ihrer Inhaltsstoffe analysiert. Die ermittelten Ergebnisse sind in Tabelle 6-1 dargestellt. Die Werte am Probepunkt 1 weichen nur unwesentlich voneinander ab. Größere Abweichungen sind an den Punkten A4 und A6 zu verzeichnen.

In den nachfolgenden Tabellen sind sowohl die Mittelwerte der Doppelproben, als auch die Standardabweichungen dargestellt. Die verwendete Standardabweichung bezieht sich auf den Mittelwert

Zur Auswertung sind jeweils zwei Werte herangezogen worden.

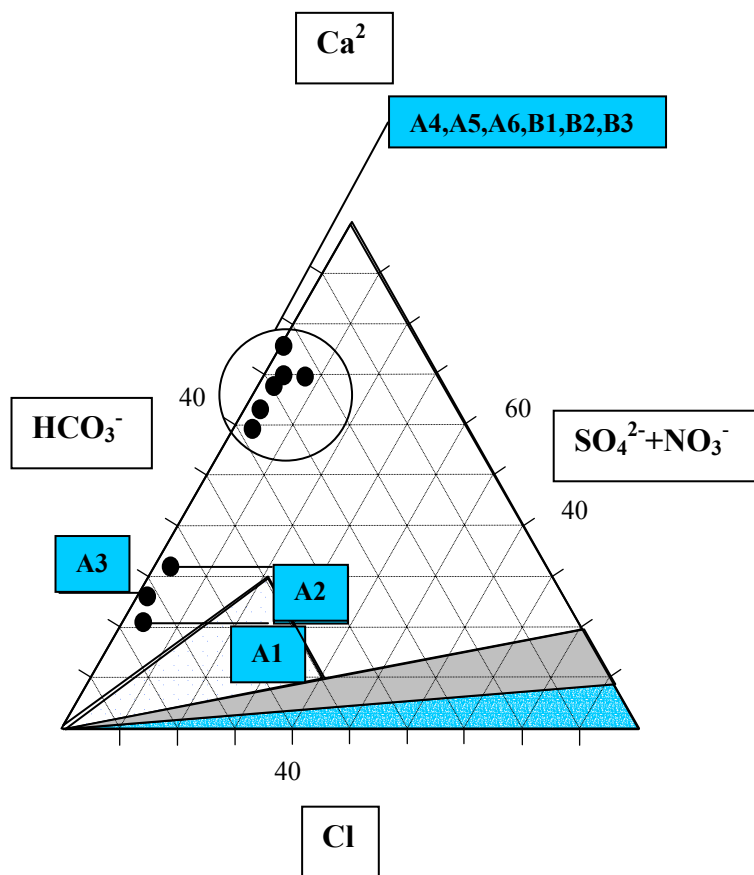
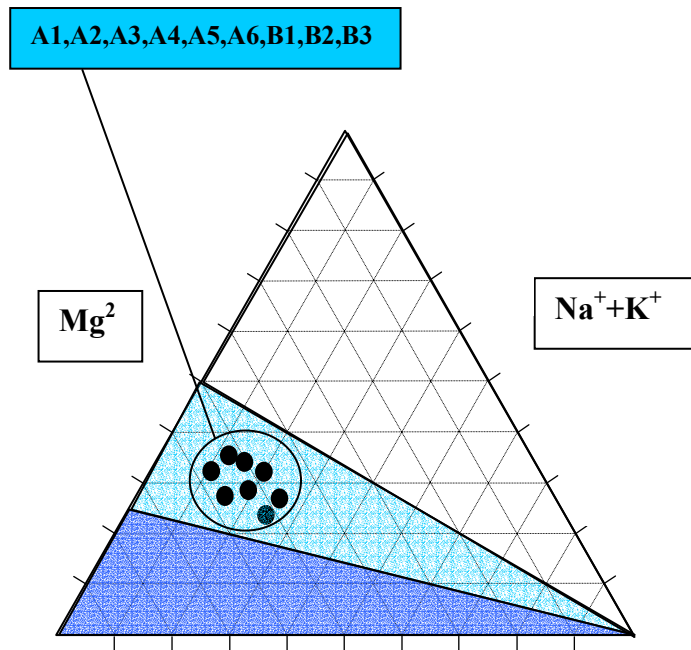
Tabelle 6-5: Mittelwerte der Doppelbestimmung

Doppelprobe	Mittelwert [mg/l]							
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
B1	0,02	9,24	0,07	73,00	16,70	2,25	60,12	21,88
A6	0,10	25,30	0,10	60,50	19,40	3,85	58,52	23,34
A4	0,06	22,22	0,24	84,50	22,40	1,57	56,11	20,91

Tabelle 6-6: Standardabweichung der Doppelbestimmung

Doppelprobe	Standardabweichung							
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
B1	0,003	0,880	0,014	1,000	0,000	0,450	0,801	1,459
A6	0,084	3,300	0,018	0,500	1,000	0,500	0,799	0,001
A4	0,033	8,140	0,206	5,500	2,600	0,150	1,603	0,486

Die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten Piper- Diagramme fassen einzelne Ionengruppen zusammen und stellen ihre gegenseitige Beziehung dar. Weiterhin dienen diese Diagramme zur Einteilung der Analysen in unterschiedlich stark anthropogen beeinflusste Wässer. (JORDAN, 1988, S. 238) Dieser Diagrammtyp zur Darstellung der Ergebnisse wurde deshalb zur Auswertung herangezogen, da hier die unterschiedlichen Proben einfach und anschaulich dargestellt werden können. Die zwei Diagramme beschränken sich aber lediglich auf die 6 Hauptionen (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ und HCO₃⁻) der Probe.

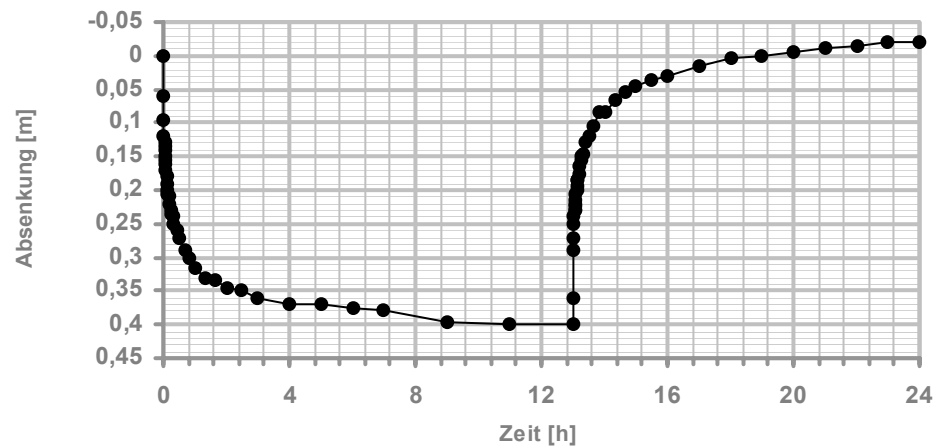


- ... sehr stark bis stark anthropogen beeinflusste Bereiche
- ... stark bis schwach anthropogen beeinflusste Bereiche
- ... schwach bis nicht anthropogen beeinfluster Bereich
- ... Übergangsbereich

Abbildung 6-6: Piper- Diagramme

Die untersuchten Wasserproben ordnen sich hinsichtlich ihres $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+} -Gehaltes, in die stark bis schwach anthropogen beeinflussten Wässer ein. Im Gegensatz dazu

Absenkungs- / Wiederanstiegskurve



zeigt

Abbildung 6-7 ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ und HCO_3^-) eine Einordnung der Analysen in den Bereich der sehr stark bis stark anthropogen beeinflussten Wässer. Diese Einteilung der Proben in die unterschiedlich stark anthropogen beeinflussten Bereiche ist kritisch zu betrachten, da nur die absoluten Mengen betrachtet werden können. Die Kationen ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+}) bzw. Anionen ($\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ und HCO_3^-) der einzelnen Probe werden aufsummiert und die Summe gleich 100 % gesetzt. Anschließend wird der unterschiedliche Gehalt der Ionen in Prozent ausgerechnet und die einzelnen Probenahmepunkte in die 2 Diagramme eingetragen. Eine günstige Auswertung der Proben erfolgt durch den Vergleich der Proben untereinander. Das erste Diagramm zeigt, dass die Proben der zwei Bäche im gleichen Verhältnis ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} , Ca^{2+}) stehen. Im Diagramm in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist auffällig, dass eine Abtrennung der Proben A1, A2 und A3 aus dem Doubravický von den restlichen Probenahmepunkten stattfindet. Sie weisen im Verhältnis einen höheren HCO_3^- Gehalt und einen niedrigeren $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ Gehalt auf. Der Liškovský liegt in beiden Diagrammen im gleichen Bereich wie der Bláhovský. So bestätigt sich die anfängliche Vermutung nicht, dass dieser Bach, trotz der scheinbar abgeschirmten Lage hinsichtlich anthropogener Einflüsse, nicht unbelastet ist.

6.4 Bodenkundliche Untersuchung

6.4.1 Infiltrationsversuche

Zur Ermittlung der hydraulischen Durchlässigkeit des Bodens (vertikaler k_f -Wert) im Gebiet III wurden drei Infiltrationsversuche durchgeführt. Dabei wurden Flächen unterschiedlicher Nutzung ausgewählt, um deren Unterschiede darzulegen. Die räumliche Lage der Untersuchungspunkte wurde bewusst sehr konzentriert ausgewählt, um einerseits die oft kleinräumige Diversität des untersuchten hydraulischen Parameters zu verdeutlichen und andererseits auch den Vorteil einer detaillierten Landnutzungskarte aufzuzeigen. Diese ist z.B. wichtig für auf sie aufbauende Untersuchungen zur Grundwasserneubildung. Es wurde jeweils ein Wiesenstandort, ein Waldstandort und der Boden innerhalb einer Streuobstwiese beprobt. Aufgrund des sehr trockenen Bodens war zu erwarten, dass bereits große Mengen Wasser zur Aufsättigung nötig sind. Dies hat sich bestätigt. Auf der Streuobstwiese waren allein über

100 L Wasser nötig um annähernd gesättigte Verhältnisse zu erreichen.

Die Lage der Punkte ist in der Karte des Untersuchungsgebiets III (Anhang) zu entnehmen. Im restlichen Untersuchungsgebiet wäre nicht ausreichend Wasser vorhanden gewesen, um Infiltrationsversuche durchzuführen. Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der 3 Infiltrationsversuche.

Tabelle 6-7: Ergebnisse der Infiltrationsversuche

	Wiese	Wald	Streuobstwiese
Infiltrationsrate [l/s]	0.002	0.007	0.008
k_f [m/s]	8E-05	1E-04	1E-04

Die Versuche zur hydraulischen Durchlässigkeit der Böden brachten folgende Ergebnisse. Der Wiesenboden weist einen k_f -Wert von $7,99 \cdot 10^{-5}$ m/s auf. Dieser Boden liegt im Bereich von feinkörnigen bis schluffigen Sand und kann als durchlässig angesehen werden. Der k_f -Wert des Waldbodens beträgt $1,23 \cdot 10^{-4}$ m/s. Dieser Wert spiegelt einen mittel- bis feinkörnigen Sand wider. Ein solcher Boden ist nach HÖLTING (1996) als stark durchlässig bis durchlässig charakterisiert. Der Boden der Streuobstwiese besitzt von den drei untersuchten Böden die höchste Durchlässigkeit mit einem k_f -Wert von $1,3 \cdot 10^{-4}$ m/s. Er liegt somit in der gleichen Größenordnung wie der des Waldbodens.

Obwohl die Böden der Streuobstwiesen und Waldes bereits vor Versuchsbeginn einen höheren Wassergehalt besaßen als der Wiesenboden, besteht bei allen drei Infiltrationsversuchen die Wahrscheinlichkeit, dass trotz hoher infiltrierter Wassermengen

keine vollständig gesättigten Verhältnisse erreicht wurden. Dieser mögliche Fehler wirkt sich am Wiesenboden am stärksten aus, so dass der tatsächliche k_f -Wert unterhalb der ermittelten Durchlässigkeit liegt. Trotzdem erscheinen die Werte eine gute Abschätzung zu sein. Ein Schluß auf die Durchlässigkeit der Böden im gesamten Untersuchungsgebiet ist jedoch nicht möglich. Weder die Anzahl noch die Aufteilung im Einzugsgebiet konnte repräsentativ gestaltet werden. Die Gründe dafür wurden bereits genannt.

Anhand der entnommenen Bodenproben wurde der Wiesenboden mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4, 1996) als stark toniger Schluff (Ut4) und der Waldboden als schluffiger Lehm (Lu) angesprochen. Diese Bodenarten besitzen ein hohes bis sehr hohes Potential durch Wasser erodiert zu werden. Da im Untersuchungsgebiet kaum vegetationslose Flächen auftreten und die hydraulische Durchlässigkeit relativ hoch ist, ist die Gefahr des Bodenabtrages jedoch als gering einzustufen.

Eine aufwändige Kartierung der bestehenden Landnutzung erscheint unter dem Aspekt der Infiltrationsraten und der damit verbundenen Grundwasserneubildung nicht notwendig. Sollte sich die Landnutzung jedoch gravierend verändern und Ackerflächen angelegt werden, müsste der Aspekt der hydraulischen Durchlässigkeit und auch die Erosionsgefährdung neu ermittelt werden.

6.4.2 Mineralischer Stickstoff

Zur Untersuchung des mineralisierten Stickstoffgehaltes (N_{min}) im Boden wurden an zwei ausgewählten Stellen im Untersuchungsgebiet Bodenproben aus ca. 20 - 30 cm Tiefe entnommen. Beprobte wurden zwei Standorte: eine Wiese/Weide nahe Blahov und ein Waldboden, ca. 100 m vom Trinkwasserbrunnen in Týniště entfernt.

Zur Analyse wurden jeweils 10 g Bodenprobe eingewogen, mit 100 ml KCl aufgefüllt und 2,5 h im Rüttler geschüttelt. Anschließend erfolgte die Bestimmung von Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff mittels Photometer. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-8 dargestellt.

Tabelle 6-8: Mineralisierter Stickstoffgehalt

Standort	Nitrat-Stickstoff [mg/l]	Ammonium-Stickstoff [mg/l]	N_{min} [mg/kg]
Wiese	3,4	9,8	132
Wald	4,4	26,0	304

Im Wiesenboden wurden insgesamt 132 mg mineralisierter Stickstoff je kg Boden festgestellt und im Waldboden 304 mg/kg. Auffallend hohe Werte liegen hier bei Ammonium-Stickstoff vor. Der Standort, an dem diese Probe genommen wurde, liegt in unmittelbarer Nähe zum Trinkwasserbrunnen in Týniště. Da allerdings die Ammonium-Ionen relativ fest an

Tonmineralen gebunden werden, dürfte hier keine große Gefahrenquelle für das Trinkwasser liegen. Dies bestätigt sich auch in der Analyse des Brunnenwassers.

Weiterhin wurde der Wassergehalt des Bodens ermittelt. Dazu wurden 100g beider Proben eingewogen und über Nacht im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Nach erneuter Auswaage ergab sich ein Wassergehalt von 15 % beim Wiesenboden und von 25 % beim Waldboden. Zur Beurteilung des Karbonatgehaltes wurde zu den Proben Salzsäure gegeben. Es erfolgte jedoch keine Reaktion. Es ist also kein Karbonat vorhanden. Es traten jedoch in beiden Proben vereinzelt Eisenkonkretionen auf. Dies lässt auf einen hohen Eisengehalt im Boden schließen. Des Weiteren wurden beide Proben mittels KA4 angesprochen. Die Bodenart des Wiesenbodens ist ein stark toniger Schluff. Dieser Boden hat ein gutes Gefüge und weist große subpolyedrische Aggregate auf. Die Bodenart des Waldbodens ist schluffiger Lehm, das Gefüge ist sehr fein und die Aggregate sind feiner als beim Wiesenboden und weniger groß.

6.5 Pumpversuch

Da sich im Untersuchungsgebiet III kein geeigneter Brunnen für einen Pumpversuch befindet, wurde ein Brunnen außerhalb des Gebietes, im Untersuchungsgebiet II gewählt. Der Brunnen befindet sich südlich von Zubrnice in der Talau des Lučni. Der Höhenunterschied zwischen Pegeloberkante (POK) und Bachwasseroberfläche wurde ausnivelliert und beträgt 2,50 m. Bei einem Ruhewasserspiegel von 3.22 m unter POK und einer Höhe der POK von 1.10 m über Gelände ergibt sich die Lage des Ruhewasserspiegels zu 2.12 m unter Geländeoberkante. Somit liegt die Bachwasseroberfläche 1.40 m unter der Geländeoberfläche am Brunnen und 0.72 m über dem Ruhewasserspiegel. Es herrschen also aufgrund der lang anhaltenden Trockenperiode influente Verhältnisse vor. Die folgenden Höhenangaben in m über NN sind nur als Anhaltspunkte zu verstehen, da der Bezugspunkt (Kreuzung ehemalige Bahnlinie mit Verbindungsstraße Zubrnice- Tynistè; 394 m über NN) aus der Karte entnommen wurde. Für die Beurteilung der vorgefundenen hydrogeologischen Situation sind jedoch nur die relativen Höhenbeziehungen zwischen Bach und Pegel in größtmöglicher Genauigkeit von Relevanz.

Pegeloberkante: 392,63 m über NN

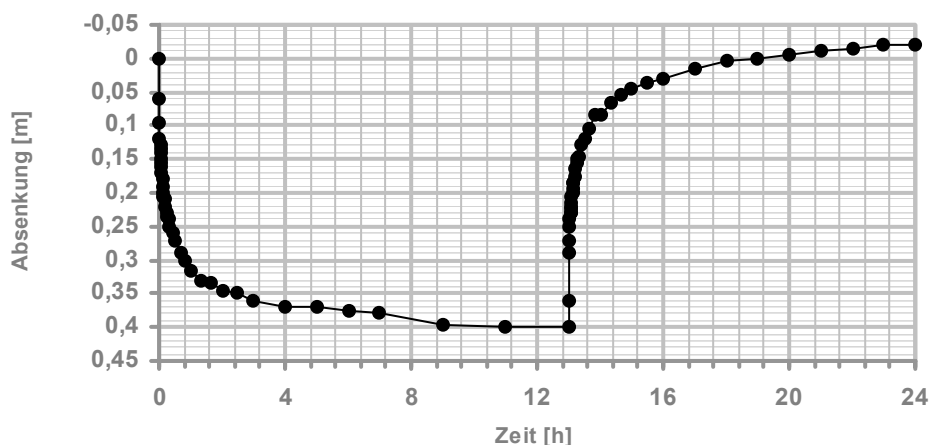
Ruhewasserspiegel: 389,41 m über NN

Bachwasseroberfläche: 390,13 m über NN

Nach dem Erreichen des stationären Zustandes (ca. 13 Stunden nach Pumpbeginn; genaueres siehe Anhang) wurde die Pumpe abgestellt und mit den Wiederanstiegsmessungen begonnen. Dabei haben wir das gleiche Zeitschema bzgl. der Messintervalle benutzt wie während der

Pumpphase. Der Ausgangszustand von 3,22 m unter POK wurde ca. 6 Stunden nach Abschalten der Pumpe wieder erreicht. In der folgenden Abbildung ist der zeitliche Verlauf der Absenkung und des Wiederanstiegs graphisch dargestellt.

Absenkungs- / Wiederanstiegskurve



Abbi

Abbildung 6-7: Absenkungsverlauf des Pumpversuches

Die Vor-Ort-Parameter Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential und pH-Wert wurden während der Absenkung in regelmäßigen Abständen gemessen und im Anhang zusammengefasst. Nach Ende des Pumpversuchs wurde eine Wasserprobe mit Hilfe der Pumpe entnommen und im Labor hinsichtlich der Alkali- und Erdalkalimetalle untersucht. In der nachfolgenden Tabelle sind die Konzentrationen der analysierten Inhaltsstoffe des Wassers, welches mittels Pumpversuch gefördert wurde dargestellt. Die analysierten Werte liegen alle im Normalbereich für Grundwasser. Da dieser Brunnen nicht im Untersuchungsgebiet III lag, ist er für die Auswertung nicht relevant.

Tabelle 6-9: Inhaltsstoffe des Grundwassers

Kationen/Anionen	Konzentration
Nitrit [mg/l]	0.003
Nitrat [mg/l]	1.20
Sulfat [mg/l]	37.00
Ammonium [mg/l]	0.10
Cl [mg/l]	1,77
Ca/Mg [mmol/l]	2.08
Ca [mmol/l]	0.92
Ca [mg/l]	36.87
Mg [mmol/l]	1.16
Mg [mg/l]	28.20

Zeit / Wiederanstiegs - Diagramm

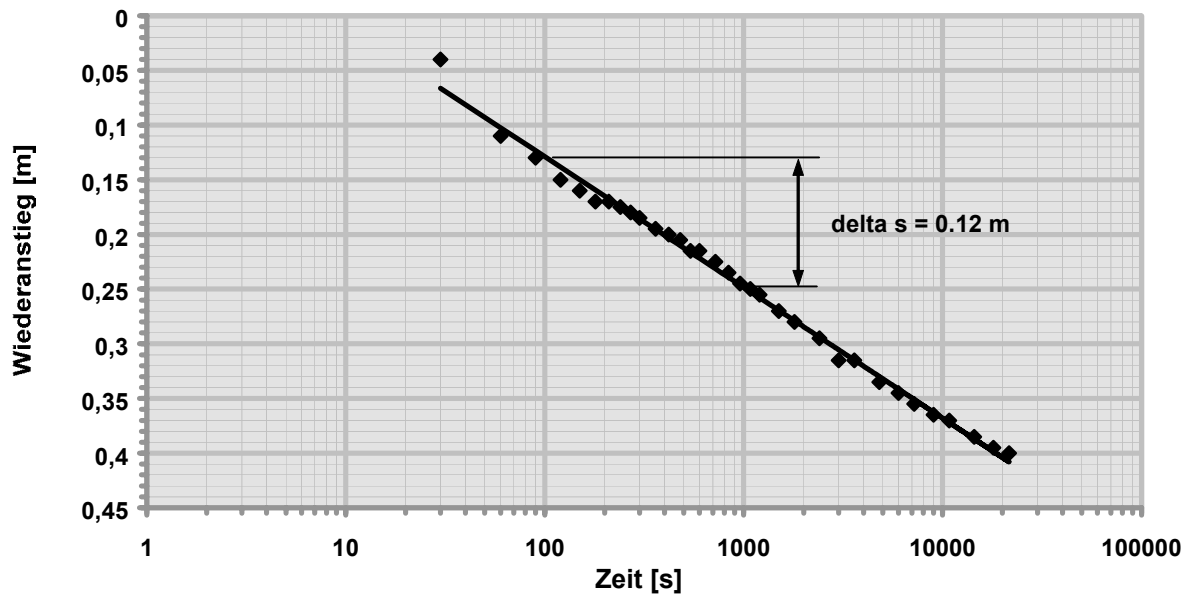


Abbildung 6-8: Wiederanstieg in Abhängigkeit der Zeit

Die Berechnung von Transmissivität und Durchlässigkeitsbeiwert erfolgte durch Auswertung der Wiederanstiegsphase, da die Messung der Absenkungsbeträge nur im Brunnen erfolgen konnte. Es war kein weiterer Pegel in der näheren Umgebung vorhanden. Es kamen zwei verschiedene Methoden der Auswertung zur Anwendung. Im Anschluss wurden die Messungen noch mit zwei empirischen Näherungsformeln überprüft. Der Wiederanstieg in Abhängigkeit von der Zeit ist in Abbildung 5.9 dargestellt.

Extrapolationsmethode

Bei diesem Verfahren wird die Absenkungskurve über den Zeitpunkt des Pumpstops hinaus extrapoliert und aus der Differenz dieser Werte und der zu diesem Zeitpunkt gemessenen Restabsenkung der Wiederanstieg bestimmt. Dieser wird dann in einem Zeit/Wiederanstiegsdiagramm aufgetragen. Die sich ergebende Ausgleichsgerade wird zur Berechnung der Transmissivität herangezogen, da der Anstieg der Ausgleichsgeraden von der Förderrate der vorherigen Absenkungsphase und der Transmissivität abhängt.

$$T = \frac{0.183 * Q}{\Delta(s - s')} = \frac{0.183 * 0.36 m^3 / s}{0.25 m - 0.13 m}$$

Gleichung 6-1

$$\underline{\underline{T = 5.4 * 10^{-4} m^2 / s}}$$

Gleichung 6-2

$$k_f = \frac{T}{H}$$

$$H = 80 m - 3.22 m + 1.1 m = 77.88 m$$

$$\underline{\underline{k_f = 7 * 10^{-6} m / s}}$$

T ... Transmissivität [m²/s]

Q ... Volumenstrom während Pumpphase [m³/s]

s ... extrapolierte Absenkung [m]

s' ... Restabsenkung [m]

kf ... Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

H ... grundwassererfüllte Mächtigkeit [m]

Restabsenkungsmethode

Dieses Verfahren bietet gegenüber dem vorhergehenden den Vorteil, dass es unabhängig von der Absenkungsextrapolation ist. Es wird die Restabsenkung über den Logarithmus des Verhältnisses aus der Zeit seit Pumpbeginn und der Zeit seit Pumpstop aufgetragen. Die hineingelegte Ausgleichsgerade (Abbildung 5.10) kann wiederum über ihren Anstieg ausgewertet werden.

Restabsenkung s' zum Verhältnis t/t'

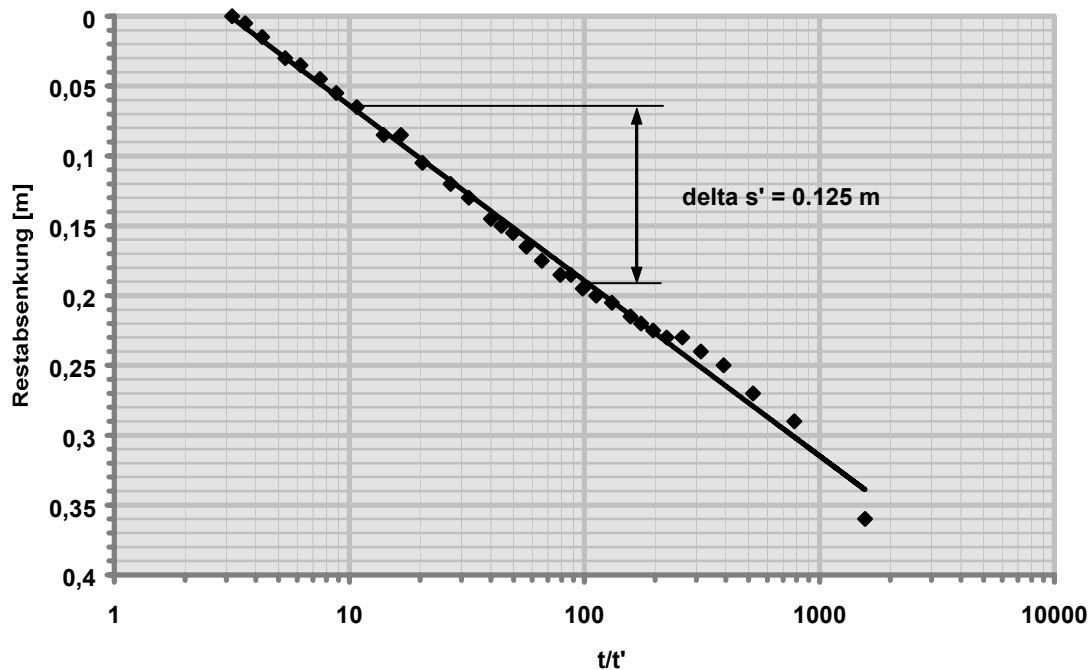


Abbildung 6-9: Absenkungsgerade

$$T = \frac{0.183 * Q}{\Delta s'}$$

Gleichung 6-3

$$T = 5.2 * 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$k_f = 6.7 * 10^{-6} \text{ m} / \text{s}$$

Näherungsformeln

1. Abschätzung des k_f aus Entnahmemenge

h ... abgesenkte Wassersäule über
Brunnensohle [m]

$$k_f = \frac{Q}{h_m s} \quad \text{mit} \quad h_m = h + \frac{s}{2}$$

h_m ... Faktor [m]

$$h_m = 80\text{m} - 3.22\text{m} + 1.1\text{m} - 0.4\text{m} + 0.2\text{m} = 77.68\text{m}$$

$$k_f = 1.1 * 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

2. Abschätzung der Transmissivität aus einem Pumpversuch nach LOGAN

$$T = \frac{1.22 * Q}{s}$$

Gleichung 6-4

$$\underline{\underline{T = 1.1 * 10^{-3} m^2 / s}}$$

Die Näherungsformeln liefern etwas höhere Werte, aber sie geben einen guten Anhaltspunkt für die Richtigkeit der Größenordnung der berechneten Werte.

3. Reichweite des Entnahmetrichters nach SICHARDT

$$R = 3000s\sqrt{k_f}$$

R ... Reichweite des Entnahmetrichters [m]

s ... maximale Absenkung [m]

$$\underline{\underline{R = 3.1m}}$$

Die Reichweite des Entnahmetrichters beträgt 3,1 m. Dies bedeutet, im Radius von 3,1 m um den Brunnen erfolgte eine Absenkung des Grundwassers mit der größten Mächtigkeit von 40 cm im Brunnen selbst.

Die ermittelten k_f -Werte werden nach DIN 18130, Tl. 1 als durchlässig bis schwach durchlässig bezeichnet. Für die Wasserversorgung sind dies relativ schlechte Werte, welche jedoch durch die große Mächtigkeit des kretazischen Double-Porosity-Aquifers (Brunnen 80 m tief) ausgeglichen wird, wie die besseren Transmissivitätswerte beweisen. Dabei wird vorausgesetzt, dass es sich dabei um einen vollständigen Brunnen handelt.

Auswertung Vor-Ort-Analytik Pumpversuch

Innerhalb der ersten Stunde wurde im 2 Minuten-Takt, danach jede Stunde der pH, Eh, Sauerstoff [mg/l und %], Temperatur und Leitfähigkeit ermittelt.

Die Temperatur nimmt im betrachteten Zeitraum nur unwesentlich um 0,4°C ab. Die Leitfähigkeit ändert sich ebenfalls nur unwesentlich. Sie betrug zu Beginn 332 μ S/cm, nahm bis 40 Minuten nach Beginn bis 317 μ S/cm ab und stieg dann allmählich wieder auf 327 μ S/cm an. Das geförderte Wasser wies zu Beginn der Messung einen pH-Wert von 6,8 auf. Dieser sank bis zum Ende des Pumpversuches auf 6,6 ab. Der pH-Wert liegt im neutralen Bereich. Das Redoxpotential sank ebenfalls von 178 mV auf 136 mV. Diese relativ niedrigen

Werte spiegeln sich auch im Sauerstoffgehalt wieder, der von 4,4 mg/l und 41 % auf 0,9 mg/l und 6,6 % während des Pumpversuches gesunken ist. Dieser geringe Sauerstoffgehalt < 2 mg/l kann besonders bei Anwesenheit von Eisen im Grundwasser problematisch werden, wenn das Wasser genutzt werden soll. Denn dann wird Fe^{2+} gelöst und es kann zu einer starken Korrosion von Eisenrohrleitungen kommen.

6.6 Durchflussmessung

Zur Ermittlung des Durchflusses der Bäche im Untersuchungsgebiet wurden die Verdünnungsmethode, das Messwehr sowie die Schüttungsmessung mittels Messbecher angewandt. Eine Flügelmessung war nicht möglich, da die Tiefe der Bäche dafür nicht ausreichend war.

Die Verdünnungsmethode wurde im Gebiet A an drei verschiedenen Punkten durchgeführt: oberhalb der Ortschaft Týniště jeweils einmal am Doubravický und am Bláhovský, sowie stromabwärts nach der Ortschaft Týniště. Im Untersuchungsgebiet B wurde im Oberlauf sowie im Unterlauf des Liškovský jeweils eine Messung durchgeführt.

Das Meßwehr (THOMSON-Wehr) wurde einmal am Liškovský und einmal unterhalb der Ortschaft Týniště im Bláhovský eingebaut. Um die Ergebnisse zu vergleichen wurde an den gleichen Stellen jeweils noch ein Verdünnungsversuch durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.6-10 dargestellt.

Für die Berechnung des Durchflusses mittels Verdünnungsmethode und Messwehr wurden die im Methodik-Teil genannten Formeln angewendet:

In den Formeln eingesetzte, gemessene Überlaufhöhen:

$$A_6 = 0,076 \text{ m}$$

$$B_1 = 0,028 \text{ m}$$

Tabelle 6.6-10: Durchfluss aus Verdünnungsmethode, Messwehr und Schüttungsmessung

	1. Durchflußmessung [l/s] Verdünnungsmethode (12.08.2003)	2. Durchflußmessung [l/s] Verdünnungsmethode (15.08.2003)	Q [l/s] Messwehr (15.08.2003)	Q [l/s] Schüttungs- messung (09.08.2003)
B1	0.9	3.7	2.5	
B2	1,0			
A6	2.2	2.4	3.1	
A5				1.3
A4	0.2			

Im Vergleich beider Methoden zeigt sich, dass am Probepunkt B1 mit der Verdünnungsmethode ein höherer Durchfluss erzielt wurde als bei der Bestimmung des

Durchflusses mittels Messwehr. Am Probepunkt A6 wurde mit dem Messwehr eine höhere Durchflussrate bestimmt. Auffallend sind auch höhere Durchflussraten bei der zweiten Durchflussbestimmung mittels Verdünnungsversuch gegenüber der ersten Bestimmung. Dies liegt daran, dass die erste Bestimmung während einer vorher länger andauernden Trockenperiode erfolgte. Die zweite Bestimmung erfolgte nach einem kräftigen Gewitter, ebenso die Bestimmung des Durchflusses mittels Messwehr. Die zweiten Durchflussbestimmungen mittels Verdünnungsmethode können somit zu Vergleichen gegenüber der Messwehrdurchflüsse, sowie der Durchflüsse vor dem Regen herangezogen werden.

6.7 Grundwasserneubildung

Ein Verfahren zur Bestimmung der Grundwasserneubildung (GWN) ist die Verwendung des Trockenwetterabflusses. Dabei wird davon ausgegangen, dass nach längeren Trockenperioden, wie es in unserem Untersuchungsgebiet der Fall war, der oberirdische Abfluss vernachlässigt werden kann. Der aus den Durchflussmessungen bestimmte Abfluss wird auf die Einzugsgebietsfläche umgerechnet. Daraus ergibt sich die Grundwasserneubildung für das Einzugsgebiet. Der Gesamtabfluss der Bäche beträgt 3,1 L/s. Bei einer Gebietsgröße von 3,11 km² ergibt dies eine GWN von 31mm/a.

Die GWN, die mit Hilfe des Trockenwetterabflusses ermittelt wird, gibt allgemein zu geringe Werte an, da angenommen wird, dass die GWN nur als Abfluss vorhanden ist. Das Grundwasser kann jedoch auch in andere Einzugsgebiete abfließen, deshalb trifft die Annahme nur unvollständig zu.

Die GWN von 198 mm/a, wie im Abschnitt Meteorologie nach TURC abgeschätzt wurde, fällt zu hoch aus, da die ermittelte reale Verdunstung zu gering ist, sowie die Niederschläge zu hoch angesetzt sind. Die tatsächliche GWN muss demzufolge zwischen den zwei ermittelten Werten von 31mm/a und 198 mm/a liegen.

6.8 Vorläufige Schlussfolgerungen

a) Grenzwerte

Die sich im Untersuchungsgebiet befindliche Trinkwasserversorgungsanlage in Tyniste, sowie die zur Trinkwasserversorgung genutzte Quelle, wurden hinsichtlich der analysierten Inhaltsstoffe mit den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung der Bundesrepublik Deutschland verglichen. Dabei konnte keine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt werden. Es muss berücksichtigt werden, dass keine vollständige Analyse, wie beispielsweise auf Schwermetalle und Eisen durchgeführt wurde.

b) Schutzgebietsausweisung

Der Brunnen ist im Umkreis von 10 m x 10 m eingezäunt. Dieser Bereich entspricht der Schutzzone I. Zur weiteren Schutzgebietsausweisung müssten jedoch weiter reichende Untersuchungen zum unterirdischen Einzugsgebiet stattfinden. Erst mit Hilfe dieser Parameter kann die 50-Tage-Isochrone ermittelt werden, welche die Schutzzone II kennzeichnet. In jedem Fall müsste die Grenze der Schutzzone II mindestens 100 m gegen Fließrichtung des Grundwassers angesetzt werden. Die unterirdische Einzugsgebietsgrenze bildet laut Definition die Schutzzone III. Da dieses im vorliegenden Fall nicht bekannt ist, kann das oberirdische Einzugsgebiet zur Abgrenzung herangezogen werden. Sollte das oberirdische vom unterirdischen Einzugsgebiet stark abweichen ist die Sicherheit der Trinkwasserversorgung bzw. des Grundwassers nicht vollständig gegeben.

6.9 Zusammenfassung

Das Untersuchungsgebiet III setzt sich aus zwei Einzugsgebieten zusammen, welche zusammen eine Fläche von ca. 3 km² haben. Im Gebiet A fließen der Doubravický-Bach und der Bláhovský-Bach, wobei erstgenannter in Tyniste in den Bláhovský-Bach mündet. Im kleineren Gebiet B fließt der Liškovský-Bach. Bláhovský und Liškovský münden in den Lucni. Das gesamte Untersuchungsgebiet ist durch einen hohen Wald- (60%) und Wiesenanteil (30%) und gekennzeichnet. Siedlungen und Streuobstwiesen machen lediglich 10% aus. Die Fragestellung berücksichtige, in wie weit die Ortschaft Tyniste, insbesondere die direkte Einleitung der Haushaltsabwässer Veränderungen der Hydrochemie des Bláhovský-Baches hervorruft. Der Liškovský-Bach im Gebiet B sollte als Vergleich dienen. Nach der Auswertung der Analysen, vor allem in den Piper-Diagrammen, stellte sich jedoch heraus, dass der Liškovský-Bach ebenfalls anthropogen beeinflusst ist. Grund kann hierfür die Siedlung Liskov an der nördlichen Einzugsgebietsgrenze sein. Es ist auf Grund der gesamten Siedlungsstruktur des Gebiets sehr wahrscheinlich, dass auch dieser Ort über keine Abwasserkläranlage verfügt.

Zur Einschätzung der Wasserqualität, vor allem der zur Trinkwasserversorgung genutzten Wasserfassungen wurden die Grenzwerte der TVO herangezogen. Bei keiner Probe überstiegen die ermittelten Mengen der Inhaltsstoffe die jeweiligen Grenzwerte.

Die Vermutung, dass die Wasserqualität unterhalb von Tyniste aufgrund der beobachteten Abwassereinleitung sich stark verschlechterte konnte nicht verifiziert werden. Lediglich leicht erhöhte Phosphat- und Kaliumkonzentrationen konnten nachgewiesen werden. Die Menge des eingeleiteten Schmutzwassers und der Verdünnungseffekt reicht offensichtlich nicht aus eine

signifikante Erhöhung des Anteils von Phosphaten und Kalium zu bewirken, was auf geringfügige Einleitung von Abwässern hindeutet..

Aus der Summe der An- und Kationen wurde eine Ionenbilanz erstellt. Diese wies aufgrund unvollständiger Analysen (vor allem Eisen) große Fehler von bis zu 110% auf.

Zu den wasserchemischen Untersuchungen wurde noch eine Bodenuntersuchung auf einer extensiv genutzten Wiese, die teilweise auch als Weide genutzt wird und auf einem Waldboden, nahe des Trinkwasserversorgungsbrunnen durchgeführt.

In beiden Bächen wurden mittels Tracer und Messwehr die Durchflüsse ermittelt. Die Salztracer- Versuche wurden zum Zeitpunkt der Entnahme der Probe durchgeführt. Zusätzlich wurden nach einem Regenereignis Durchflüsse mit dem Messwehr ermittelt. Wie zu erwarten, sind die Durchflüsse nach dem Regenereignis größer. Der Bláhovský-Bach hat einen Durchfluss von 2,2 L/s und der Liškovský-Bach von 1 L/s.

Infiltrationsversuche zur Bestimmung des k_f -Wertes wurden in einem nah zusammen liegenden Bereich, im Wald, auf der Wiese und auf einer Streuobstwiese durchgeführt. Die Ergebnisse sollen verdeutlichen, dass innerhalb weniger Meter die vertikale hydraulische Durchlässigkeit aufgrund der unterschiedlichen Nutzung variiert. Hierbei weisen der Waldboden und die Streuobstwiese im Rahmen der Fehlergrenzen gleiche Werte auf. Der Versuch auf der Wiese ergab geringfügig geringere Werte.

7 ANHANG

7.1 Kartiergebiet I

7.1.1 Hydrogeochemie

7.1.1.1 Probenahme

Tabelle 7-1: Beschreibung der Probenahmepunkte

Probe	Datum	Zeit	Probenahmeort	Besonderheiten
P 1	09.08.03	11:33	ungefasste Quelle des nördl. Zuflusses	eventl. 2 Quelle versteckt unter Wurzel ca. 70 cm nach erster Quelle
P 2	09.08.03	12:30	Bach: mittlerer Zufluss vor Einmündung	
P 3	09.08.03	13:03	Bach: Messung bei Überquerung der Straße	Weg teilweise befahren
P 4	10.08.03	13:40	Bach: nach Zufluss von NE (Zufluss nicht in Karte)	Ufer stark bekrautet, Bachbett stark verschlammmt
P 5	10.08.03	14:30	nach Zufluss Zubrnicky, Steine bemoost, viel Sediment	
P 6	10.08.03	10:34	ungefasste Quelle, unwegsam	
P 7	10.08.03	11:25	Teich: aufgestaut, Wasserrückhaltebecken,	Ufer stark bekrautet, komplett mit Wasserpflanzen/Grünalgen bedeckt
P 8	10.08.03	12:40	Bach: Zusammenfluss von ca. 4 Quellen, eine versiegt	
P 9	12.08.03	14:05	Bach	kiesig sandiges Sediment
P 10	14.08.03	14:40	Rohrausfluss (Nähe Hochbehälter) vor Einleitung in Zubrnicky	viele Brennesseln
P 11	11.08.03	11:50	Bachlauf 15 m vor Zusammenfluss mit Lucni	
P 12	12.08.03	9:30	Labor	Wasser aus Labor
BP 1	12.08.03	10:35	Brunnen auf Grundstück von Herrn Röttig	
BP 2	09.08.03	9:00	Brunnen auf Grundstück von Herrn Röttig	
BP 3	09.08.03	10:00	Brunnen auf Grundstück von Herrn Röttig	
P 5 II	14.08.03	11:05	Bach	größerer Durchfluss als bei Erstbeprobung
P 11 II	14.08.03	11:33	Bach	größerer Durchfluss als bei Erstbeprobung



Foto 7.1: Probenahmepunkt P1



Foto 7.2: Probenahmepunkt P2



Foto 7.3: Probenahmepunkt P3



Foto 7.4: Probenahmepunkt P4



Foto 7.5: Probenahmepunkt P5



Foto 7.6: Probenahmepunkt P6



Foto 7.7: Probenahmepunkt P7



Foto 7.8: Probenahmepunkt P8



Foto 7.9: Probenahmepunkt P9



Foto 7.10: Probenahmepunkt P10

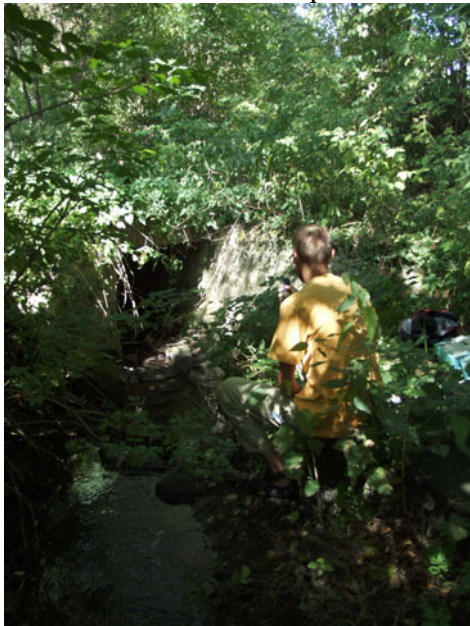


Foto 7.11: Probenahmepunkt P11



Foto 7.12: Probenahmepunkte BP1, BP2, BP3

7.1.1.2 Vor-Ort-Parameter

Tabelle 7-2: Teil 1 – Vor-Ort-Parameter aller Wasserproben

Probe	Probe-nehmer	Witterung	Farbe	Trübung	Geschmack	Geruch	LF [µS/cm]	T [°C]	pH-Wert	nach ... [min]	E _r [mV]	nach ... [min]	korr. E _H [mV]
P 1	Heckel, Lehmann	sonnig	-	-	schwach seifig	-	350	8,6	7,8	3	250	15	468
P 2	Heckel, Lehmann	sonnig, windig	beige-braun	mäßig	-	-	390	17,3	8,4	5	88	15	300
P 3	Heckel, Lehmann	sonnig	beige	leicht	-	-	383	17,8	8,4	15	162	18	374
P 4	Heckel, Lehmann	sonnig, windig	beige	mäßig	-	-	386	15,6	8,3	13	162	18	374
P 5	Heckel, Lehmann	sonnig, windig	beige, braun	mäßig	-	leicht faulig	374	16,9	8,4	19	196	15	408
P 6	Becker, Gr. 1	sonnig	-	keine	-	-	377	8,5	7,9	7	181	14	400
P 7	Heckel, Gr. 1	sonnig	bei Auslass sehr dunkel	klar	-	stark faulig (H ₂ S)	340	16,7	7,3	3	-31	8	213
P 8	Becker, Gr. 1	sonnig	farblos	keine	-	-	272	14,7	8,4	12	-	-	-
P 9	Becker, Gr. 1	sonnig	beige, braun	mäßig	-	-	369	17,9	8,4	7	165	15	181
P 10	Heckel, Gr. 1	sonnig, windig	-	klar	-	-	400	14,7	7,6	2	585	15	379
P 11	Roch, Heckel	sonnig	schwach bräunlich	mäßig	-	faulig (Abwasser)	435	15,7	7,82	5	210	5	798
P 12	Becker, Heckel	-	farblos	keine	nach Chlor	nach Chlor	408	22,3	7,63	10	87	15	295,3 8
BP 1	Becker, Roch	sonnig	bräunlich	stark getrübt	-	-	320	10,7	6,69	5	52	10	427
BP 3	Müller, Roch	sonnig	farblos	keine	metallisch	metallisch	313	10,5	6,7	10	-11	20	269
P 5 II	Heckel, Müller	bedeckt	braun	mäßig	-	-	376	16,3	8,26	21	78	23	
P11 II	Heckel, Müller	bedeckt leichter Regen	leicht braun	leicht	-	-	439	17	7,78	15	30	30	

Tabelle 7-2: Fortsetzung

Probe	Luft- druck [mbar]	O ₂ - Gehalt			NO ₃ ⁻ [mg/l]	CH		GH		pos. M- Wert [mmol/l]	neg. p- Wert [mmol/l]
		[%Sätt]	[mg/l]	nach ... [min]		[mmol/L]	[°dH]	[mmol/L]	[°dH]		
P 1	972	47	5,7	3	0	1,7	9,4	3,4	9,6	3	0,2
P 2	975	94	8,8	4	0	1,65	9,2	4,1	11,3	3,6	0,2
P 3	977	94	8,8	14	0	1,7	9,6	4,3	12	2,8	0,2
P 4	980	88	8,5	12	0	1,7	9,4	4,7	13	3,06	0,2
P 5	987	90	8,5	20	10	1,5	8,4	4,5	12,6	2,9	10,2
P 6	972	79	9	7	10	1,5	9	4,5	7,2	2,62	0,35
P 7	970	25	2,4 (nach 11min >1,3)	4	0	1,1	6,4	4,4	12,2	2,5	0,25
P 8	973	95	9,2	12	0	1,3	7,2	2,8	8,2	1,8	0,2
P 9	980	92	8,6	10	10	1,4	8	4,5	12,6	2,7	0,25
P 10	983	108	10,8	10	9	1,5	8,4	4,7	13	3,13	0,4
P 11	996	85	8,4	5	0	1,65	9,2	4,2	11,6	2,6	0,7
P 12	988	38	33,3	5	Gerät 0 Strei- fen 10		10,2		12,4	3,03	0,4
BP 1	-	15	1,8	-	0	2,7	7,6	2,3	7,6	2,18	1,8
BP 3	-	11	1,3	-	0	2,9	8	1,65	9,2	2,3	2
P 5 II	983	96	9,4	2	10	9,4		14,8		2,7	0,4
P11 II	990	78	7,1	2	25	9,2		11		2,8	0,8

7.1.1.3 Laboranalytik

Tabelle 7-3: Ergebnisse der Laboranalyse der Wasserproben der Gruppe I

Probe	Photometer					Titration			IC			
	NO ₂ ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]	SO ₄ ²⁻ [mg/L]	NH ₄ ⁺ [mg/L]	PO ₄ ³⁻ [mg/L]	Ca ²⁺ [mg/L]	Mg ²⁺ [mg/L]	Cl ⁻ [mg/L]	Li ⁺ [mg/L]	K ⁺ [mg/L]	Na ⁺ [mg/L]	NH ₄ ⁺ [mg/L]
P 1	0,01	9,2	59,0	0,1	0,3	51,3	10,7	2,2	0,4	2,5	20,6	0,05
P 2	0,00	9,7	68,0	0,1	0,4	57,7	16,5	2,4	-	0,5	21,8	-
P 3	0,01	7,0	63,0	0,1	0,3	52,9	16,5	0,7	-	-	20,0	-
P 4	0,03	7,0	53,0	0,1	0,3	51,3	21,4	1,2	-	1,0	12,0	-
P 5	0,02	10,6	60,0	0,1	0,2	52,9	16,5	1,1	-	1,0	8,0	-
P 6	0,01	15,4	58,0	0,0	0,3	52,9	21,4	2,2	-	0,7	5,4	-
P 7	0,07	5,7	60,0	0,4	0,4	52,9	14,6	1,8	-	1,2	8,1	-
P 8	0,01	9,2	47,0	0,0	0,3	46,5	6,8	2,0	-	0,6	8,4	-
P 9	0,02	11,9	63,0	0,1	0,3	54,5	16,5	1,5	-	1,0	7,9	-
P 10	0,01	26,4	57,0	0,0	0,2	52,9	27,2	1,2	-	1,3	4,3	-
P11	0,24	13,2	64,0	0,1	0,9	51,3	20,4	2,1	-	5,0	17,5	-
P12	0,02	10,1	42,0	0,0	-	62,5	18,3	1,8	-	2,0	6,0	-
BP 1	0,01	4,8	45,0	0,0	0,3	38,5	26,3	1,6	-	3,7	14,0	-
BP 3	0,08	0,1	69,0	0,5	0,9	36,9	35,0	2,1	-	4,3	15,0	-
P5 II	0,02	9,7	65,0	0,2	-	48,1	23,2	1,7	-	1,5	9,4	-
P11 II	0,61	16,7	63,0	0,3	-	57,7	21,2	1,9	-	6,1	18,8	-

Tabelle 7-4: Ionenbilanz

Anionen							
Probe	Cl ⁻ [mmol _{eq} /L]	SO ₄ ²⁻ [mmol _{eq} /L]	NO ₂ ⁻ [mmol _{eq} /L]	NO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	PO ₄ ³⁻ [mmol _{eq} /L]	HCO ₃ ⁻ [mmol _{eq} /L]	Σ (Anionen) [mmol _{eq} /L]
P 1	0,06	1,23	0,00	0,15	0,01	3,00	4,45
P 2	0,07	1,42	0,00	0,16	0,01	3,60	5,25
P 3	0,02	1,31	0,00	0,11	0,01	2,80	4,25
P 4	0,03	1,10	0,00	0,11	0,01	3,10	4,36
P 5	0,03	1,25	0,00	0,17	0,01	2,90	4,36
P 6	0,06	1,21	0,00	0,25	0,01	2,60	4,13
P 7	0,05	1,25	0,00	0,09	0,01	2,50	3,91
P 8	0,06	0,98	0,00	0,15	0,01	1,90	3,09
P 9	0,04	1,31	0,00	0,19	0,01	2,70	4,25
P 10	0,03	1,19	0,00	0,43	0,00	3,10	4,75
P11	0,06	1,33	0,01	0,21	0,03	2,60	4,24
P12	0,05	0,87	0,00	0,16	-	3,00	4,09
BP 1	0,05	0,94	0,00	0,08	0,01	2,20	3,27
BP 3	0,06	1,44	0,00	0,00	0,03	2,30	3,83
P 5 II	0,05	1,35	0,00	0,16	-	2,70	4,26
P 11 II	0,05	1,31	0,01	0,27	-	2,77	4,41

Kationen							
Probe	Na ⁺ [mmol _{eq} /L]	K ⁺ [mmol _{eq} /L]	Ca ²⁺ [mmol _{eq} /L]	Mg ²⁺ [mmol _{eq} /L]	NH ₄ ⁺ [mmol _{eq} /L]	Li ⁺ [mmol _{eq} /L]	Σ (Kationen) [mmol _{eq} /L]
P 1	0,53	0,06	2,56	0,88	0,00	0,01	4,04
P 2	0,56	0,01	2,88	1,36	0,00	-	4,81
P 3	0,51	-	2,64	1,36	0,00	-	4,52
P 4	0,31	0,03	2,56	1,76	0,00	-	4,66
P 5	0,20	0,03	2,64	1,36	0,01	-	4,24
P 6	0,14	0,02	2,64	1,76	0,00	-	4,56
P 7	0,21	0,03	2,64	1,20	0,02	-	4,10
P 8	0,21	0,02	2,32	0,56	0,00	-	3,11
P 9	0,20	0,03	2,72	1,36	0,00	-	4,31
P 10	0,11	0,03	2,64	2,24	0,00	-	5,02
P11	0,45	0,13	2,56	1,68	0,00	-	4,82
P12	0,15	0,05	3,12	1,51	0,00	-	4,83
BP 1	0,36	0,09	1,92	2,16	0,00	-	4,53
BP 3	0,38	0,11	1,84	2,88	0,03	-	5,24
P 5 II	0,24	0,04	0,00	0,00	0,00	-	4,60
P 11 II	0,48	0,16	0,00	0,00	0,00	-	5,28

Tabelle 7-5: Fehler der Ionenbilanz

Probe	Σ (Kationen) [mmol _{eq} /L]	Σ (Anionen) [mmol _{eq} /L]	Fehler der Bilanz [%]
P 1	4,0	4,4	-9,5
P 2	4,8	5,3	-8,7
P 3	4,5	4,3	6,0
P 4	4,7	4,4	6,6
P 5	4,2	4,4	-2,8
P 6	4,6	4,1	9,9
P 7	4,1	3,9	4,9
P 8	3,1	3,1	0,6
P 9	4,3	4,3	1,3
P 10	5,0	4,8	5,6
P11	4,8	4,2	12,9
P12	4,8	4,1	16,6
BP 1	4,5	3,3	32,4
BP 3	5,2	3,8	31,2
P 5 II	4,60	4,26	7,7
P 11 II	5,28	4,41	17,9

7.1.1.4 Durchflussmessung

Tabelle 7-6: Daten des Verdünnungsversuches - Tracer 1

Takt	Zeit [s]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Takt	Zeit [s]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Takt	Zeit [s]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Takt	Zeit [s]	LF [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
1	5	376	56	280	543	111	555	378	166	830	377
2	10	376	57	285	532	112	560	378	167	835	377
3	15	376	58	290	520	113	565	378	168	840	377
4	20	376	59	295	505	114	570	378	169	845	377
5	25	376	60	300	490	115	575	378	170	850	377
6	30	376	61	305	480	116	580	378	171	855	377
7	35	376	62	310	466	117	585	378	172	860	377
8	40	376	63	315	456	118	590	378	173	865	377
9	45	376	64	320	446	119	595	378	174	870	377
10	50	376	65	325	438	120	600	378	175	875	377
11	55	376	66	330	431	121	605	378	176	880	377
12	60	376	67	335	424	122	610	378	177	885	377
13	65	376	68	340	419	123	615	378	178	890	377
14	70	376	69	345	413	124	620	378	179	895	377
15	75	376	70	350	408	125	625	378	180	900	377
16	80	376	71	355	405	126	630	378	181	905	377
17	85	376	72	360	401	127	635	378	182	910	377
18	90	376	73	365	399	128	640	378	183	915	377
19	95	376	74	370	396	129	645	378	184	920	377
20	100	376	75	375	394	130	650	378	185	925	377
21	105	376	76	380	392	131	655	378	186	930	377
22	110	376	77	385	390	132	660	378	187	935	377
23	115	376	78	390	389	133	665	378	188	940	377
24	120	376	79	395	387	134	670	377	189	945	377
25	125	376	80	400	386	135	675	377	190	950	377
26	130	376	81	405	385	136	680	377	191	955	377
27	135	376	82	410	384	137	685	377	192	960	377
28	140	376	83	415	383	138	690	377	193	965	377
29	145	376	84	420	383	139	695	377	194	970	377
30	150	376	85	425	382	140	700	377	195	975	377
31	155	376	86	430	382	141	705	377	196	980	377
32	160	376	87	435	381	142	710	377	197	985	377
33	165	377	88	440	381	143	715	377	198	990	377
34	170	378	89	445	381	144	720	377	199	995	377
35	175	377	90	450	380	145	725	377	200	1000	377
36	180	379	91	455	380	146	730	377	201	1005	377
37	185	382	92	460	379	147	735	377	202	1010	377
38	190	388	93	465	379	148	740	377	203	1015	377
39	195	401	94	470	379	149	745	377	204	1020	377
40	200	420	95	475	379	150	750	377	205	1025	377
41	205	440	96	480	379	151	755	377	206	1030	377
42	210	467	97	485	379	152	760	377	207	1035	377
43	215	495	98	490	378	153	765	377	208	1040	377
44	220	517	99	495	378	154	770	377	209	1045	377
45	225	543	100	500	378	155	775	377	210	1050	377
46	230	560	101	505	378	156	780	377	211	1055	377

47	235	578	102	510	378	157	785	377	212	1060	377
48	240	586	103	515	378	158	790	377	213	1065	377
49	245	597	104	520	378	159	795	377	214	1070	377
50	250	594	105	525	378	160	800	377	215	1075	377
51	255	590	106	530	378	161	805	377	216	1080	377
52	260	584	107	535	378	162	810	377	217	1085	377
53	265	572	108	540	378	163	815	377			
54	270	560	109	545	378	164	820	377			
55	275	548	110	550	378	165	825	377			

Tabelle 7-7: Daten des Verdünnungsversuches - Tracer 2

Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]
1	5	392	101	505	410	201	1005	394	301	1505	393
2	10	392	102	510	410	202	1010	394	302	1510	393
3	15	392	103	515	409	203	1015	394	303	1515	393
4	20	392	104	520	408	204	1020	394	304	1520	393
5	25	392	105	525	407	205	1025	394	305	1525	393
6	30	392	106	530	406	206	1030	394	306	1530	393
7	35	392	107	535	406	207	1035	394	307	1535	393
8	40	392	108	540	405	208	1040	394	308	1540	393
9	45	392	109	545	405	209	1045	394	309	1545	393
10	50	392	110	550	404	210	1050	394	310	1550	393
11	55	392	111	555	404	211	1055	394	311	1555	393
12	60	392	112	560	403	212	1060	394	312	1560	393
13	65	392	113	565	403	213	1065	394	313	1565	393
14	70	392	114	570	402	214	1070	394	314	1570	393
15	75	392	115	575	402	215	1075	394	315	1575	393
16	80	392	116	580	402	216	1080	394	316	1580	393
17	85	392	117	585	401	217	1085	394	317	1585	393
18	90	392	118	590	401	218	1090	394	318	1590	393
19	95	392	119	595	401	219	1095	394	319	1595	393
20	100	392	120	600	401	220	1100	394	320	1600	393
21	105	392	121	605	401	221	1105	394	321	1605	393
22	110	392	122	610	400	222	1110	394	322	1610	393
23	115	392	123	615	400	223	1115	394	323	1615	393
24	120	392	124	620	400	224	1120	394	324	1620	393
25	125	392	125	625	399	225	1125	394	325	1625	393
26	130	392	126	630	399	226	1130	394	326	1630	393
27	135	392	127	635	399	227	1135	394	327	1635	393
28	140	392	128	640	399	228	1140	394	328	1640	393
29	145	392	129	645	399	229	1145	394	329	1645	393
30	150	392	130	650	398	230	1150	394	330	1650	393
31	155	392	131	655	398	231	1155	394	331	1655	393
32	160	392	132	660	398	232	1160	394	332	1660	393
33	165	392	133	665	398	233	1165	394	333	1665	393
34	170	392	134	670	398	234	1170	394	334	1670	393
35	175	392	135	675	398	235	1175	394	335	1675	393
36	180	392	136	680	398	236	1180	394	336	1680	393
37	185	392	137	685	397	237	1185	393	337	1685	393
38	190	392	138	690	397	238	1190	394	338	1690	393
39	195	392	139	695	397	239	1195	393	339	1695	393

40	200	394	140	700	397	240	1200	393	340	1700	393
41	205	397	141	705	397	241	1205	394	341	1705	393
42	210	407	142	710	397	242	1210	393	342	1710	393
43	215	423	143	715	397	243	1215	393	343	1715	393
44	220	444	144	720	397	244	1220	393	344	1720	393
45	225	474	145	725	397	245	1225	393	345	1725	393
46	230	515	146	730	396	246	1230	393	346	1730	393
47	235	566	147	735	396	247	1235	393	347	1735	392
48	240	646	148	740	396	248	1240	393	348	1740	393
49	245	733	149	745	396	249	1245	393	349	1745	393
50	250	781	150	750	396	250	1250	393	350	1750	393
51	255	871	151	755	396	251	1255	393	351	1755	393
52	260	913	152	760	396	252	1260	393	352	1760	393
53	265	991	153	765	396	253	1265	393	353	1765	393
54	270	1022	154	770	396	254	1270	393	354	1770	393
55	275	1056	155	775	396	255	1275	393	355	1775	393
56	280	1066	156	780	396	256	1280	393	356	1780	393
57	285	1073	157	785	396	257	1285	393	357	1785	393
58	290	1061	158	790	396	258	1290	393	358	1790	393
59	295	1040	159	795	396	259	1295	393	359	1795	393
60	300	1009	160	800	396	260	1300	393	360	1800	393
61	305	973	161	805	396	261	1305	393	361	1805	393
62	310	946	162	810	396	262	1310	393	362	1810	393
63	315	891	163	815	396	263	1315	393	363	1815	393
64	320	858	164	820	396	264	1320	393	364	1820	393
65	325	809	165	825	395	265	1325	393	365	1825	393
66	330	739	166	830	395	266	1330	393	366	1830	393
67	335	738	167	835	395	267	1335	393	367	1835	393
68	340	709	168	840	395	268	1340	393	368	1840	393
69	345	668	169	845	395	269	1345	393	369	1845	393
70	350	644	170	850	395	270	1350	393	370	1850	393
71	355	622	171	855	395	271	1355	393	371	1855	392
72	360	595	172	860	395	272	1360	393	372	1860	393
73	365	578	173	865	395	273	1365	393	373	1865	393
74	370	559	174	870	395	274	1370	393	374	1870	393
75	375	537	175	875	395	275	1375	393	375	1875	393
76	380	529	176	880	395	276	1380	393	376	1880	392
77	385	512	177	885	395	277	1385	393	377	1885	393
78	390	503	178	890	395	278	1390	393	378	1890	393
79	395	491	179	895	395	279	1395	393	379	1895	393
80	400	486	180	900	395	280	1400	393	380	1900	393
81	405	470	181	905	395	281	1405	393	381	1905	393
82	410	467	182	910	395	282	1410	393	382	1910	393
83	415	461	183	915	395	283	1415	393	383	1915	392
84	420	454	184	920	395	284	1420	393	384	1920	392
85	425	449	185	925	395	285	1425	393	385	1925	393
86	430	443	186	930	395	286	1430	393	386	1930	392
87	435	441	187	935	394	287	1435	393	387	1935	393
88	440	437	188	940	394	288	1440	393	388	1940	393
89	445	432	189	945	394	289	1445	393	389	1945	392
90	450	431	190	950	394	290	1450	393	390	1950	393
91	455	428	191	955	394	291	1455	393	391	1955	392
92	460	425	192	960	394	292	1460	393	392	1960	393

93	465	423	193	965	394	293	1465	393	393	1965	392
94	470	420	194	970	394	294	1470	393	394	1970	392
95	475	419	195	975	394	295	1475	393	395	1975	392
96	480	417	196	980	394	296	1480	393	396	1980	392
97	485	416	197	985	394	297	1485	393			
98	490	414	198	990	394	298	1490	393			
99	495	413	199	995	394	299	1495	393			
100	500	412	200	1000	394	300	1500	393			

Tabelle 7-8: Daten des Verdünnungsversuches - Tracer 3

Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]
1	5	372	121	605	379	241	1205	374	361	1805	374
2	10	372	122	610	379	242	1210	374	362	1810	374
3	15	372	123	615	378	243	1215	374	363	1815	374
4	20	372	124	620	378	244	1220	374	364	1820	374
5	25	372	125	625	378	245	1225	374	365	1825	374
6	30	372	126	630	378	246	1230	374	366	1830	374
7	35	372	127	635	378	247	1235	374	367	1835	374
8	40	372	128	640	378	248	1240	374	368	1840	374
9	45	372	129	645	378	249	1245	374	369	1845	374
10	50	372	130	650	378	250	1250	374	370	1850	374
11	55	372	131	655	378	251	1255	374	371	1855	374
12	60	372	132	660	377	252	1260	374	372	1860	374
13	65	372	133	665	377	253	1265	374	373	1865	374
14	70	372	134	670	377	254	1270	374	374	1870	374
15	75	372	135	675	377	255	1275	374	375	1875	374
16	80	372	136	680	377	256	1280	374	376	1880	374
17	85	372	137	685	376	257	1285	374	377	1885	374
18	90	373	138	690	376	258	1290	374	378	1890	374
19	95	372	139	695	376	259	1295	374	379	1895	374
20	100	372	140	700	376	260	1300	374	380	1900	373
21	105	373	141	705	376	261	1305	374	381	1905	374
22	110	373	142	710	376	262	1310	374	382	1910	374
23	115	373	143	715	376	263	1315	374	383	1915	374
24	120	372	144	720	376	264	1320	374	384	1920	374
25	125	373	145	725	376	265	1325	374	385	1925	374
26	130	373	146	730	376	266	1330	374	386	1930	374
27	135	373	147	735	376	267	1335	374	387	1935	374
28	140	373	148	740	376	268	1340	374	388	1940	374
29	145	373	149	745	376	269	1345	374	389	1945	374
30	150	373	150	750	375	270	1350	374	390	1950	374
31	155	373	151	755	375	271	1355	374	391	1955	374
32	160	373	152	760	375	272	1360	374	392	1960	374
33	165	372	153	765	375	273	1365	374	393	1965	374
34	170	373	154	770	375	274	1370	374	394	1970	374
35	175	372	155	775	375	275	1375	374	395	1975	374
36	180	372	156	780	375	276	1380	374	396	1980	374
37	185	374	157	785	375	277	1385	374	397	1985	374
38	190	373	158	790	375	278	1390	374	398	1990	374
39	195	373	159	795	375	279	1395	374	399	1995	374
40	200	373	160	800	375	280	1400	374	400	2000	374

41	205	373	161	805	375	281	1405	374	401	2005	374
42	210	372	162	810	375	282	1410	374	402	2010	374
43	215	372	163	815	375	283	1415	374	403	2015	374
44	220	372	164	820	375	284	1420	374	404	2020	374
45	225	373	165	825	375	285	1425	374	405	2025	374
46	230	373	166	830	375	286	1430	374	406	2030	374
47	235	373	167	835	375	287	1435	374	407	2035	374
48	240	374	168	840	375	288	1440	374	408	2040	374
49	245	374	169	845	375	289	1445	374	409	2045	374
50	250	378	170	850	375	290	1450	374	410	2050	374
51	255	383	171	855	375	291	1455	374	411	2055	374
52	260	390	172	860	375	292	1460	374	412	2060	374
53	265	403	173	865	375	293	1465	374	413	2065	374
54	270	420	174	870	375	294	1470	374	414	2070	374
55	275	443	175	875	374	295	1475	374	415	2075	374
56	280	470	176	880	374	296	1480	374	416	2080	374
57	285	513	177	885	374	297	1485	374	417	2085	374
58	290	544	178	890	374	298	1490	374	418	2090	374
59	295	586	179	895	374	299	1495	374	419	2095	374
60	300	617	180	900	374	300	1500	374	420	2100	374
61	305	640	181	905	374	301	1505	374	421	2105	374
62	310	665	182	910	374	302	1510	374	422	2110	371
63	315	684	183	915	374	303	1515	374	423	2115	374
64	320	700	184	920	374	304	1520	374	424	2120	374
65	325	705	185	925	374	305	1525	374	425	2125	374
66	330	711	186	930	374	306	1530	374	426	2130	374
67	335	708	187	935	374	307	1535	374	427	2135	374
68	340	703	188	940	374	308	1540	374	428	2140	374
69	345	693	189	945	374	309	1545	374	429	2145	374
70	350	678	190	950	374	310	1550	374	430	2150	374
71	355	663	191	955	374	311	1555	374	431	2155	374
72	360	651	192	960	374	312	1560	374	432	2160	374
73	365	630	193	965	374	313	1565	374	433	2165	374
74	370	612	194	970	374	314	1570	374	434	2170	374
75	375	594	195	975	374	315	1575	374	435	2175	374
76	380	578	196	980	374	316	1580	374	436	2180	374
77	385	562	197	985	374	317	1585	374	437	2185	374
78	390	543	198	990	374	318	1590	374	438	2190	374
79	395	526	199	995	374	319	1595	374	439	2195	374
80	400	518	200	1000	374	320	1600	374	440	2200	374
81	405	502	201	1005	374	321	1605	374	441	2205	374
82	410	490	202	1010	374	322	1610	374	442	2210	374
83	415	477	203	1015	374	323	1615	374	443	2215	374
84	420	468	204	1020	374	324	1620	374	444	2220	374
85	425	458	205	1025	374	325	1625	374	445	2225	374
86	430	451	206	1030	374	326	1630	374	446	2230	374
87	435	441	207	1035	374	327	1635	374	447	2235	374
88	440	434	208	1040	374	328	1640	374	448	2240	374
89	445	428	209	1045	374	329	1645	374	449	2245	374
90	450	424	210	1050	374	330	1650	374	450	2250	374
91	455	418	211	1055	374	331	1655	374	451	2255	374
92	460	414	212	1060	374	332	1660	374	452	2260	374
93	465	411	213	1065	374	333	1665	374	453	2265	374

94	470	408	214	1070	374	334	1670	374	454	2270	374
95	475	404	215	1075	374	335	1675	374	455	2275	374
96	480	402	216	1080	374	336	1680	374	456	2280	374
97	485	400	217	1085	374	337	1685	374	457	2285	374
98	490	397	218	1090	374	338	1690	374	458	2290	374
99	495	395	219	1095	374	339	1695	374	459	2295	374
100	500	393	220	1100	374	340	1700	374	460	2300	374
101	505	392	221	1105	374	341	1705	374	461	2305	374
102	510	391	222	1110	374	342	1710	374	462	2310	374
103	515	389	223	1115	374	343	1715	374	463	2315	374
104	520	388	224	1120	374	344	1720	374	464	2320	374
105	525	387	225	1125	374	345	1725	374	465	2325	374
106	530	387	226	1130	374	346	1730	374	466	2330	374
107	535	385	227	1135	374	347	1735	374	467	2335	374
108	540	385	228	1140	374	348	1740	374	468	2340	374
109	545	384	229	1145	374	349	1745	374	469	2345	374
110	550	383	230	1150	374	350	1750	374	470	2350	374
111	555	383	231	1155	374	351	1755	374	471	2355	374
112	560	383	232	1160	374	352	1760	374	472	2360	374
113	565	382	233	1165	374	353	1765	374	473	2365	374
114	570	381	234	1170	374	354	1770	374	474	2370	374
115	575	381	235	1175	374	355	1775	374	475	2375	374
116	580	381	236	1180	374	356	1780	374	476	2380	374
117	585	380	237	1185	374	357	1785	374	477	2385	374
118	590	380	238	1190	374	358	1790	374	478	2390	374
119	595	379	239	1195	374	359	1795	374	479	2395	374
120	600	379	240	1200	374	360	1800	374	480	2400	374

Tabelle 7-9: Daten des Verdünnungsversuches - Tracer 4

Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]	Takt	Zeit [s]	LF [μ S/cm]
1	5	503	94	470	770	187	935	513	280	1400	510
2	10	503	95	475	761	188	940	513	281	1405	510
3	15	503	96	480	752	189	945	513	282	1410	510
4	20	503	97	485	745	190	950	513	283	1415	509
5	25	503	98	490	738	191	955	513	284	1420	510
6	30	503	99	495	729	192	960	513	285	1425	510
7	35	503	100	500	722	193	965	513	286	1430	510
8	40	503	101	505	714	194	970	512	287	1435	510
9	45	503	102	510	706	195	975	512	288	1440	510
10	50	503	103	515	697	196	980	512	289	1445	510
11	55	503	104	520	689	197	985	512	290	1450	510
12	60	503	105	525	683	198	990	512	291	1455	510
13	65	503	106	530	675	199	995	512	292	1460	509
14	70	503	107	535	668	200	1000	512	293	1465	510
15	75	503	108	540	660	201	1005	512	294	1470	510
16	80	503	109	545	654	202	1010	512	295	1475	510
17	85	503	110	550	647	203	1015	511	296	1480	510
18	90	503	111	555	641	204	1020	511	297	1485	510
19	95	503	112	560	635	205	1025	511	298	1490	510
20	100	504	113	565	629	206	1030	511	299	1495	510
21	105	503	114	570	624	207	1035	511	300	1500	510

22	110	503	115	575	618	208	1040	511	301	1505	510
23	115	503	116	580	613	209	1045	511	302	1510	510
24	120	504	117	585	607	210	1050	511	303	1515	510
25	125	503	118	590	604	211	1055	511	304	1520	510
26	130	504	119	595	598	212	1060	511	305	1525	510
27	135	504	120	600	594	213	1065	511	306	1530	510
28	140	504	121	605	590	214	1070	511	307	1535	510
29	145	504	122	610	585	215	1075	511	308	1540	510
30	150	504	123	615	582	216	1080	511	309	1545	510
31	155	504	124	620	578	217	1085	511	310	1550	510
32	160	504	125	625	576	218	1090	511	311	1555	510
33	165	504	126	630	572	219	1095	511	312	1560	510
34	170	504	127	635	568	220	1100	511	313	1565	510
35	175	504	128	640	565	221	1105	511	314	1570	510
36	180	504	129	645	563	222	1110	511	315	1575	510
37	185	504	130	650	560	223	1115	511	316	1580	510
38	190	504	131	655	558	224	1120	510	317	1585	510
39	195	504	132	660	555	225	1125	510	318	1590	510
40	200	504	133	665	554	226	1130	510	319	1595	510
41	205	504	134	670	551	227	1135	510	320	1600	510
42	210	504	135	675	549	228	1140	510	321	1605	510
43	215	504	136	680	546	229	1145	510	322	1610	510
44	220	504	137	685	545	230	1150	510	323	1615	511
45	225	504	138	690	543	231	1155	510	324	1620	511
46	230	505	139	695	541	232	1160	510	325	1625	511
47	235	505	140	700	540	233	1165	510	326	1630	511
48	240	506	141	705	538	234	1170	510	327	1635	511
49	245	507	142	710	536	235	1175	510	328	1640	511
50	250	509	143	715	535	236	1180	510	329	1645	510
51	255	510	144	720	534	237	1185	510	330	1650	511
52	260	513	145	725	533	238	1190	510	331	1655	511
53	265	517	146	730	531	239	1195	510	332	1660	511
54	270	522	147	735	531	240	1200	510	333	1665	511
55	275	528	148	740	529	241	1205	510	334	1670	511
56	280	537	149	745	529	242	1210	510	335	1675	511
57	285	545	150	750	528	243	1215	510	336	1680	511
58	290	553	151	755	527	244	1220	510	337	1685	511
59	295	567	152	760	526	245	1225	510	338	1690	511
60	300	578	153	765	526	246	1230	510	339	1695	511
61	305	594	154	770	525	247	1235	510	340	1700	511
62	310	607	155	775	524	248	1240	510	341	1705	511
63	315	624	156	780	523	249	1245	510	342	1710	511
64	320	639	157	785	522	250	1250	510	343	1715	511
65	325	653	158	790	522	251	1255	510	344	1720	511
66	330	671	159	795	522	252	1260	510	345	1725	511
67	335	684	160	800	521	253	1265	510	346	1730	511
68	340	703	161	805	521	254	1270	510	347	1735	511
69	345	720	162	810	520	255	1275	510	348	1740	511
70	350	733	163	815	519	256	1280	510	349	1745	511
71	355	744	164	820	519	257	1285	510	350	1750	511
72	360	761	165	825	518	258	1290	510	351	1755	511
73	365	771	166	830	518	259	1295	510	352	1760	511
74	370	781	167	835	518	260	1300	510	353	1765	511

75	375	790	168	840	518	261	1305	510	354	1770	511
76	380	801	169	845	517	262	1310	510	355	1775	511
77	385	807	170	850	517	263	1315	510	356	1780	511
78	390	812	171	855	517	264	1320	510	357	1785	511
79	395	816	172	860	516	265	1325	510	358	1790	511
80	400	819	173	865	516	266	1330	510	359	1795	511
81	405	823	174	870	516	267	1335	510	360	1800	511
82	410	823	175	875	515	268	1340	510			
83	415	824	176	880	515	269	1345	510			
84	420	822	177	885	515	270	1350	510			
85	425	819	178	890	515	271	1355	510			
86	430	816	179	895	514	272	1360	510			
87	435	811	180	900	514	273	1365	510			
88	440	806	181	905	514	274	1370	510			
89	445	802	182	910	514	275	1375	510			
90	450	796	183	915	514	276	1380	510			
91	455	790	184	920	513	277	1385	510			
92	460	783	185	925	513	278	1390	510			
93	465	776	186	930	513	279	1395	510			

7.1.1.5 Pumpversuch

Tabelle 7-10: Messdaten der Absenkung im Brunnen Privatgrundstück Röttig bei konstanter Pumprate von 1 L/s

Zeit ab Beginn [min]	GW-Stand [m u. POK]	Absenkung s [m]	Zeit ab Beginn [min]	GW-Stand [m u. POK]	Absenkung s [m]
0	17,78	0	80	18,33	0,55
0,5	18,07	0,29	90	18,33	0,55
1	18,13	0,35	100	18,345	0,565
1,5	18,15	0,37	110	18,35	0,57
2	18,17	0,39	120	18,355	0,575
2,5	18,18	0,4	140	18,368	0,588
3	18,19	0,41	160	18,38	0,6
3,5	18,2	0,42	180	18,39	0,61
4	18,2	0,42	200	18,4	0,62
4,5	18,21	0,43	220	18,41	0,63
5	18,21	0,43	240	18,42	0,64
6	18,22	0,44	270	18,43	0,65
7	18,23	0,45	300	18,44	0,66
8	18,24	0,46	330	18,45	0,67
9	18,25	0,47	360	18,46	0,68
10	18,25	0,47	420	18,48	0,7
12	18,27	0,49	480	18,49	0,71
14	18,27	0,49	540	18,51	0,73
16	18,27	0,49	600	18,53	0,75
18	18,27	0,49	660	18,55	0,77
20	18,27	0,49	720	18,57	0,79
22	18,27	0,49	780	18,58	0,8
25	18,27	0,49	900	18,61	0,83
30	18,275	0,495	1020	18,64	0,86
35	18,28	0,5	1140	18,66	0,88
40	18,28	0,5	1260	18,68	0,9
50	18,29	0,51	1380	18,71	0,93
60	18,305	0,525	1440	18,725	0,945
70	18,32	0,54	Pumpstopp nach 24 h		

Tabelle 7-11: Vor-Ort-Parameter der während der Grundwasserabsenkung gewonnenen Wasserproben (Elektrodenmessungen)

Zeit ab Beginn [min]	Absenkung [m]	pH	E _r (Rohwert) [mV]	E _h (korrigiert) [mV]	Temperatur [°C]	Sauerstoff		Leitfähigkeit [μS/cm]	Trübung
						[mg/L]	[%Sätt]		
5	18,21	6,6	23	240	10,8	1,4	13	327	klar
10	18,25	6,7	56	273	10,4	1,2	10	320	relativ stark bräunlich
15	18,27	6,7	52	269	10,7	1,8	15	320	relativ stark bräunlich
20	18,27	6,7	49	266	10,4	1,3	12	319	mäßig
25	18,27	6,7	67	284	10,3	1,5	14	319	mäßig bräunlich
30	18,275	6,7	60	277	10,2	1,6	14	317	leicht
35	18,28	6,7	55	272	10,7	1,5	15	319	leicht
40	18,28	6,6	47	264	10,3	1,5	13	320	sehr leicht
50	18,29	6,7	47	264	10,6	1,6	14	319	sehr schwach
60	18,305	6,6	50	267	10,7	1,6	15	320	nahezu klar bis klar
70	18,32	6,6	39	256	10,7	1,5	14	320	sehr schwach
80	18,33	6,6	45	262	11	1,3	12	320	klar
90	18,33	6,6	57	274	11	1,7	15	320	klar
100	18,345	6,7	53	270	10,6	1,6	15	319	klar
110	18,35	6,7	61	278	10,9	1,3	11	320	klar
120	18,355	6,7	52	269	10,4	1,2	11	319	klar
140	18,368	6,7	52	269	10,4	1,3	12	319	klar
160	18,38	6,6	50	267	10,4	1,2	11	320	klar
180	18,39	6,7	53	270	10,8	1,4	13	320	klar
200	18,4	6,7	52	269	10,7	1,4	12	319	klar
220	18,41	6,6	61	278	10,3	1,5	12	319	klar
240	18,42	6,6	48	265	10,3	1,2	11	319	klar
270	18,43	6,6	52	269	10,5	1,2	11	319	klar
300	18,44	6,6	54	271	10,5	1,3	11	319	klar
330	18,45	6,7	57	274	10,6	1,3	11	319	klar
360	18,46	6,6	18	235	10,5	1,2	10	320	klar
420	18,48	6,7	23	240	10,5	1,6	15	319	klar
480	18,49	6,7	23	240	10,5	1,3	12	318	klar, farblos
540	18,51	6,7	17	234	10,4	1,2	11	318	klar, farblos
600	18,53	6,7	6	223	10,4	1,5	13	317	klar, farblos
660	18,55	6,7	7	224	10,4	1,3	12	318	klar, farblos
720	18,57	6,7	8	225	10,2	1,8	16	316	klar, farblos
780	18,58	6,7	5	222	10,2	1,7	16	317	klar, farblos
900	18,61	6,7	3	220	10,1	1,7	15	315	klar, farblos
1020	18,64	6,7	3	220	10,2	1,6	14	367	klar, farblos
1140	18,66	6,7	-11	206	10,2	1,5	13	313	klar, farblos
1260	18,68	6,7	-7	210	10,3	1,4	13	312	klar, farblos
1380	18,71	6,7	-11	206	10,5	1,3	11	313	klar, Geschmack (Geruch metallisch)

Tabelle 7-12: Vor-Ort-Parameter der während der Grundwasserabsenkung gewonnenen Wasserproben (Schnelltests)

Zeit ab Pumpbeginn [min]	negativer p-Wert [mmol/L]	positiver m-Wert [mmol/L]	Gesamthärte		Carbonathärte		Nitrat [mg/L]
			[mmol/L]	[°dH]	[mmol/L]	[°dH]	
15	1,8	2,6	4,6	12,8	1,4	7,6	< BG
30	1,5	2,3	3,6	10	1,8	9,8	< BG
60	1,3	2,6	3,6	10	1,6	8,8	< BG
90	1,7	2,6	3,6	10	1,5	8,4	< BG
120	1,7	2,3	3,8	10,4	1,45	8	< BG
180	1,2	2,4	3	8,2	1,35	7,4	< BG
240	1,2	2,3	3,8	10,4	1,45	8	< BG
300	0,7	2,6	3,3	9,2	1,4	7,6	< BG
360	1,1	2,2	3,2	9	1,35	7,4	< BG
420	1,4	2,4	3,6	10	1,4	7,8	< BG
480	1,7	2,7	3,4	9,5	1,6	8,7	< BG
540	2,1	2,8	3,6	10	1,5	8,4	< BG
600	1,9	2,7	3,5	9,8	1,5	8,2	< BG
660	1,2	2,8	3,2	8,8	1,35	7,4	< BG
720	1,5	2,6	3,3	9,2	1,45	8	< BG
780	1,4	2,4	3,4	9,4	1,3	7,2	< BG
900	1,7	2,5	3,3	9,2	1,5	8,1	< BG
1020	2	2,7	3,8	10,4	1,5	8,2	< BG
1140	1,1	2,6	3,4	9,5	1,5	8	< BG
1260	1,2	2,8	3,5	9,8	1,55	8,6	< BG
1380	2	2,6	3,3	9,2	1,5	8	< BG

Tabelle 7-13: Wiederanstieg des Grundwasserspiegels nach Pumpstopp

Zeit ab Pumpstopp t' [min]	Zeit ab PV-Beginn t [min]	GW-Stand [m u. POK]	Verhältnis t/t'	Restabsenkung s' [m]	Zeit ab Pumpstopp t' [min]	Zeit ab PV-Beginn t [min]	GW-Stand [m u. POK]	Verhältnis t/t'	Restabsenkung s' [m]
0	1440	18,725		0,945	70	1510	18,275	21,6	0,495
0,5	1440,5	18,490	2.881,0	0,710	80	1520	18,270	19,0	0,490
1	1441	18,460	1.441,0	0,680	90	1530	18,260	17,0	0,480
1,5	1441,5	18,445	961,0	0,665	100	1540	18,250	15,4	0,470
2	1442	18,435	721,0	0,655	110	1550	18,245	14,1	0,465
2,5	1442,5	18,430	577,0	0,650	120	1560	18,240	13,0	0,460
3	1443	18,425	481,0	0,645	140	1580	18,230	11,3	0,450
3,5	1443,5	18,420	412,4	0,640	160	1600	18,220	10,0	0,440
4	1444	18,415	361,0	0,635	180	1620	18,210	9,0	0,430
4,5	1444,5	18,410	321,0	0,630	210	1650	18,195	7,9	0,415
5	1445	18,405	289,0	0,625	240	1680	18,180	7,0	0,400
5,5	1445,5	18,400	262,8	0,620	270	1710	18,170	6,3	0,390
6	1446	18,400	241,0	0,620	300	1740	18,160	5,8	0,380
6,5	1446,5	18,395	222,5	0,615	330	1770	18,150	5,4	0,370
7	1447	18,390	206,7	0,610	360	1800	18,135	5,0	0,355
7,5	1447,5	18,390	193,0	0,610	420	1860	18,120	4,4	0,340
8	1448	18,390	181,0	0,610	480	1920	18,100	4,0	0,320
9	1449	18,380	161,0	0,600	540	1980	18,090	3,7	0,310
10	1450	18,375	145,0	0,595	600	2040	18,090	3,4	0,310
11	1451	18,375	131,9	0,595	660	2100	18,070	3,2	0,290
12	1452	18,370	121,0	0,590	720	2160	18,060	3,0	0,280
13	1453	18,370	111,8	0,590	840	2280	18,050	2,7	0,270

14	1454	18,360	103,9	0,580	960	2400	18,030	2,5	0,250
15	1455	18,360	97,0	0,580	1080	2520	18,010	2,3	0,230
16	1456	18,355	91,0	0,575	1200	2640	18,000	2,2	0,220
18	1458	18,350	81,0	0,570	1320	2760	17,990	2,1	0,210
20	1460	18,345	73,0	0,565	1440	2880	17,990	2,0	0,210
22	1462	18,340	66,5	0,560	1680	3120	17,970	1,9	0,190
25	1465	18,355	58,6	0,575	1920	3360	17,945	1,8	0,165
30	1470	18,325	49,0	0,545	2160	3600	17,940	1,7	0,160
35	1475	18,315	42,1	0,535	2730	4170	17,920	1,5	0,140
40	1480	18,310	37,0	0,530	3570	5010	17,880	1,4	0,100
50	1490	18,295	29,8	0,515	4145	5585	17,875	1,3	0,095
60	1500	18,285	25,0	0,505	Ende der Messungen des Wiederanstiegs				

7.1.1.6 Chemische Modellierung mit PHREEQC

Mischung Bachwasser der Probenahmestellen P9 und P10

TITLE Zubrnice_Mischung1

SOLUTION 1 # Messpunkt 9 - Zubrnicky

units ppm

temp 17.9

pH 8.4

pe 6.22 # pe=16,9*EH[V]

Ca 54.51

Mg 16.53

K 1.0

Na 7.9

O(0) 8.6

Alkalinity 79.3 as HCO3 # aus Carbonathärte in

mg/L

S(6) 63 as SO4

Cl 1.49

N(5) 11.88 as NO3

N(+3) 0.02 as NO2

P 0.29 as PO4

N(-3) 0.08 as NH4

Solution_Species

```
#NH4 secondary master species 127
NO3- + 10H+ + 8e- = NH4+ + 3H2O
log_k      119.077
delta_h    -187.055 kcal
```

Solution_Master_Species

```
N(-3)    NH4+          0.0    14.0067
```

EQUILIBRIUM_PHASES

```
O2(g) -0.699
```

SOLUTION 2 # Messpunkt 10 - Einleitung

```
units ppm
temp      14.7
pH        7.6
pe        13.5

Ca         52.91
Mg         27.23
K          1.3
Na         4.3
O(0)      10.8

Alkalinity 85.4          as HCO3
S(6)       57           as SO4
Cl         1.17
N(5)       26.4          as NO3
N(+3)      0.01          as NO2
P          0.15          as PO4
N(-3)      0.01          as NH4
```

Solution_Species

```
#NH4 secondary master species 127
NO3- + 10H+ + 8e- = NH4+ + 3H2O
log_k      119.077
delta_h    -187.055 kcal
```

Solution_Master_Species

N(-3) NH4+ 0.0 14.0067

EQUILIBRIUM_PHASES

O2(g) -0.699

MIX

1 66 # 66% des Mischwassers vom Zubrnicky-Bach

2 34 # 34% des Mischwassers von der Rohreinleitung

SAVE SOLUTION 3

END

Mischung Mischwasser 1 mit Bachwasser des nördlichen Zuflusses (bei P4)

TITLE Zubrnice_Mischung2

SOLUTION 1 # Mischwasser 1

units ppm

temp 16.8

pH 8

pe 13.33 # pe=16,9*EH[V]

Ca 53.99

Mg 20.16

K 1.1

Na 6.68

O(0) 9.5

Alkalinity 81.74 as HCO3 # aus Carbonathärte in mg/L

S(6) 60.93 as SO4

Cl 1.38

N(5) 17.04 as NO3

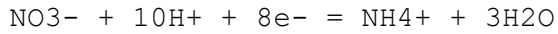
N(+3) 0 as NO2

P 0.24 as PO4

N(-3) 0 as NH4

Solution_Species

#NH4 secondary master species 127



log_k 119.077

delta_h -187.055 kcal

Solution_Master_Species

N(-3) NH4+ 0.0 14.0067

EQUILIBRIUM_PHASES

O2(g) -0.699

SOLUTION 2 # Messpunkt 4

units ppm

temp 15.6

pH 8.3

pe 6.34

Ca 52.91

Mg 21.39

K 1.0

Na 8.0

O(0) 8.5

Alkalinity 103.7 as HCO3

S(6) 53 as SO4

Cl 1.17

N(5) 7.04 as NO3

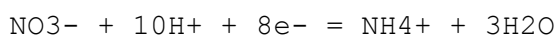
N(+3) 0.03 as NO2

P 0.28 as PO4

N(-3) 0.05 as NH4

Solution_Species

#NH4 secondary master species 127



log_k 119.077

delta_h -187.055 kcal

Solution_Master_Species

N(-3) NH4+ 0.0 14.0067

EQUILIBRIUM_PHASES

O2(g) -0.699

MIX

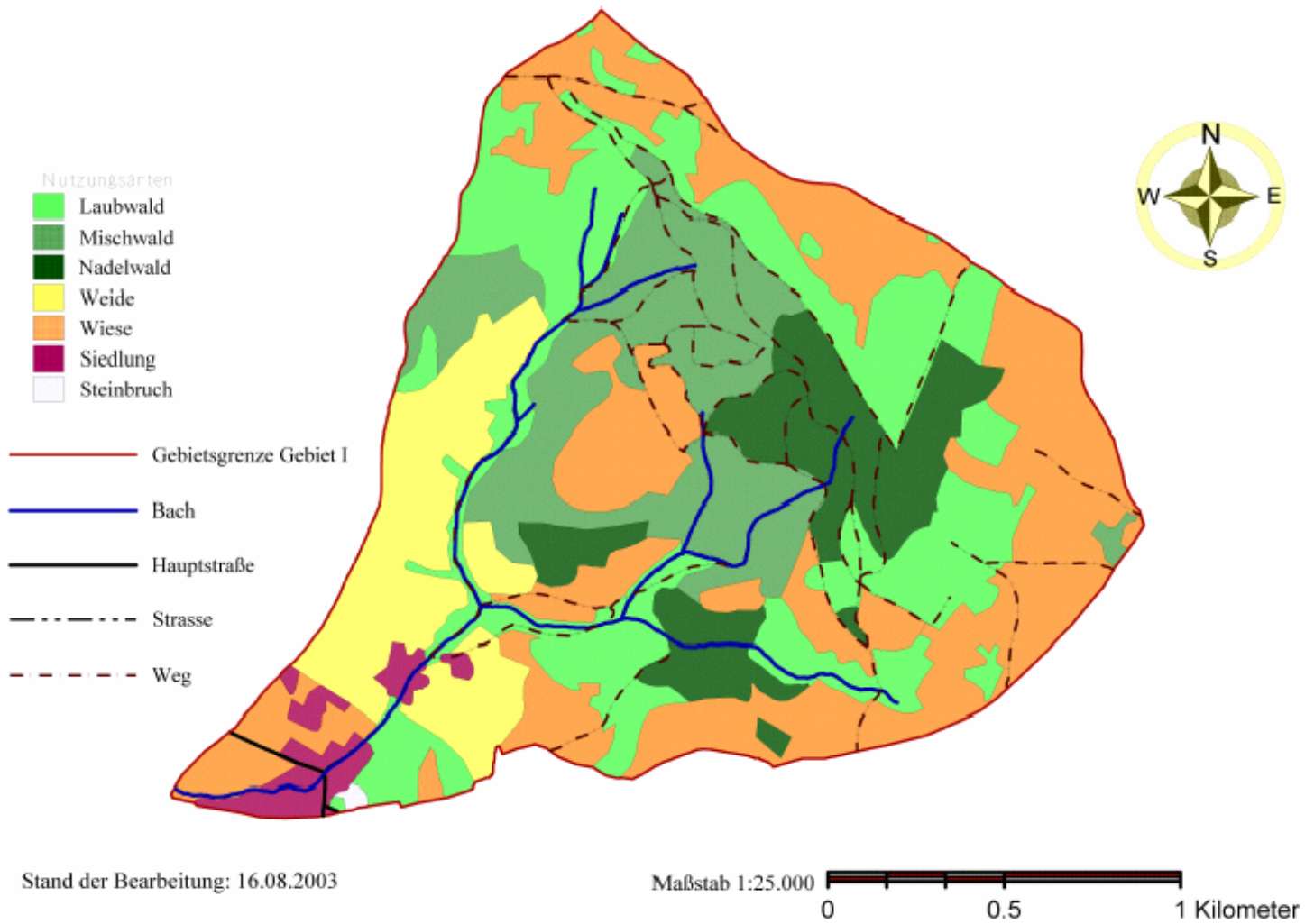
1 63 # 63% des Mischwassers 2 von Mischwasser 1

2 37 # 37% des Mischwassers 2 von nördl. Seitenarm

SAVE SOLUTION 3

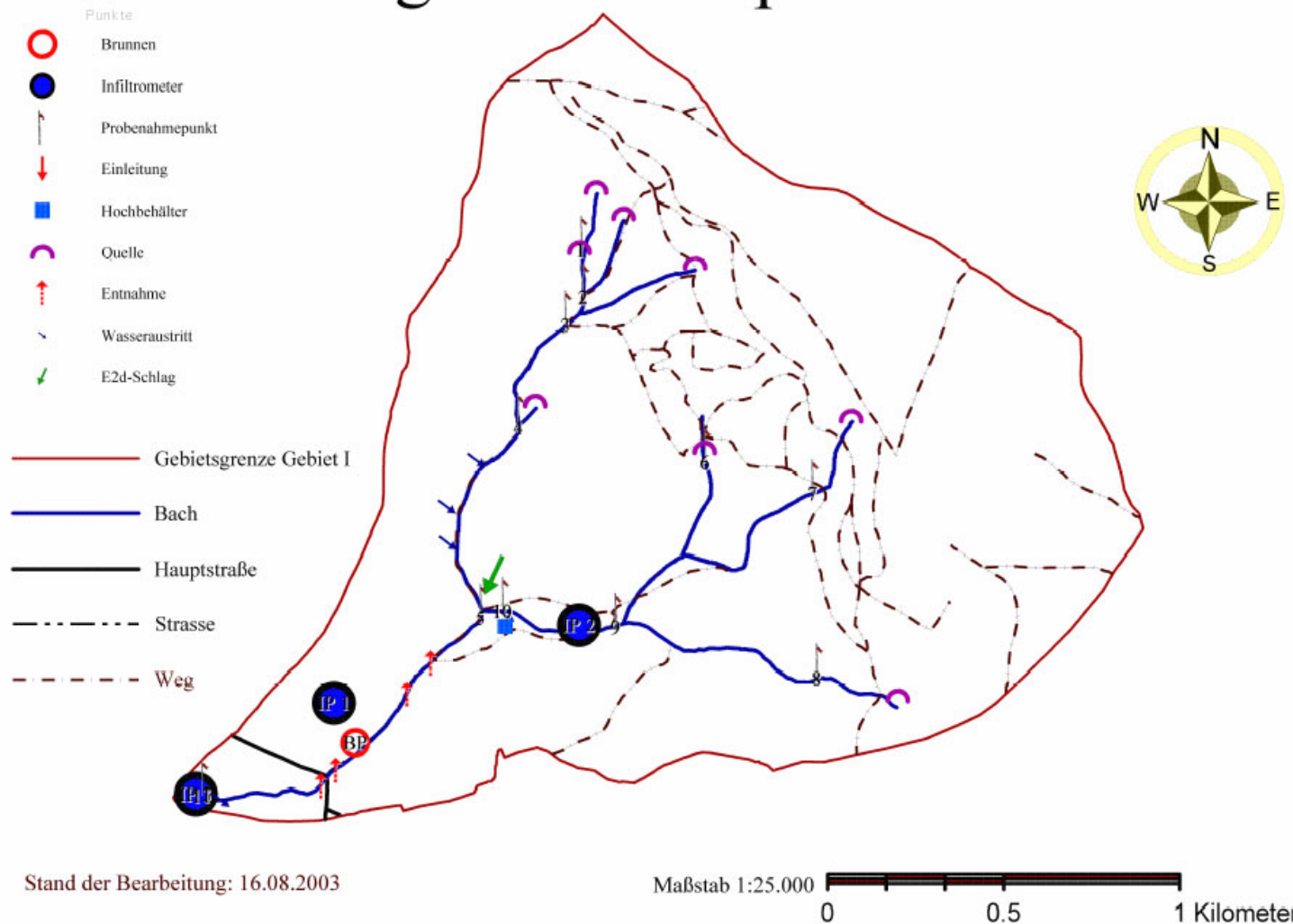
END

Landnutzungskarte I



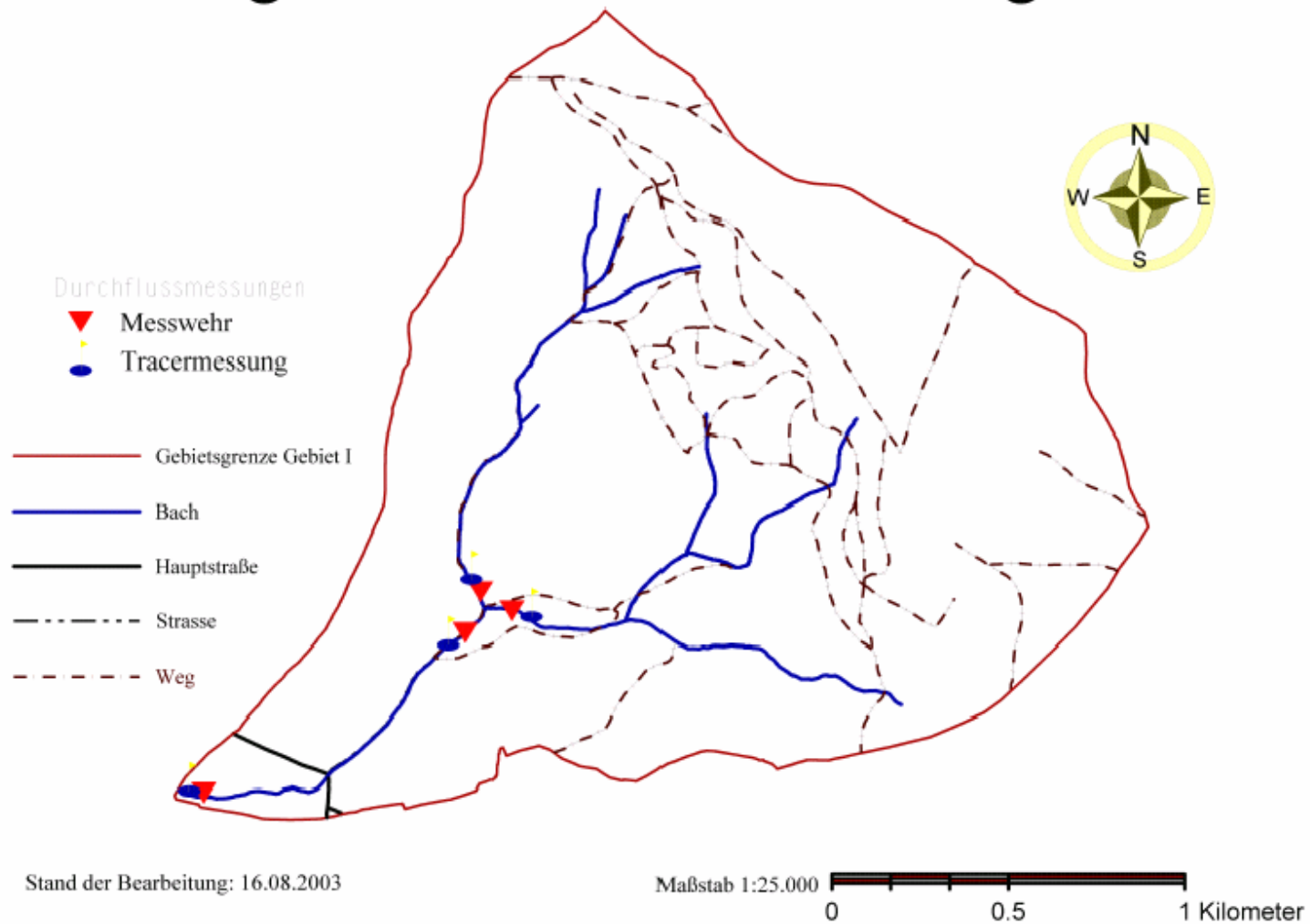
Karte 7-1: Karte der Landnutzungsflächen Kartiergebiet I

Lage der Messpunkte I



Karte 7-2: Lage der Brunnen, Quellen, Wasseraustritte, Probenahmepunkte, Infiltrometersuchpunkte, Entnahme- und Einleitungspunkte sowie des Weidenhanges für die EROSION 2D-Modellierung

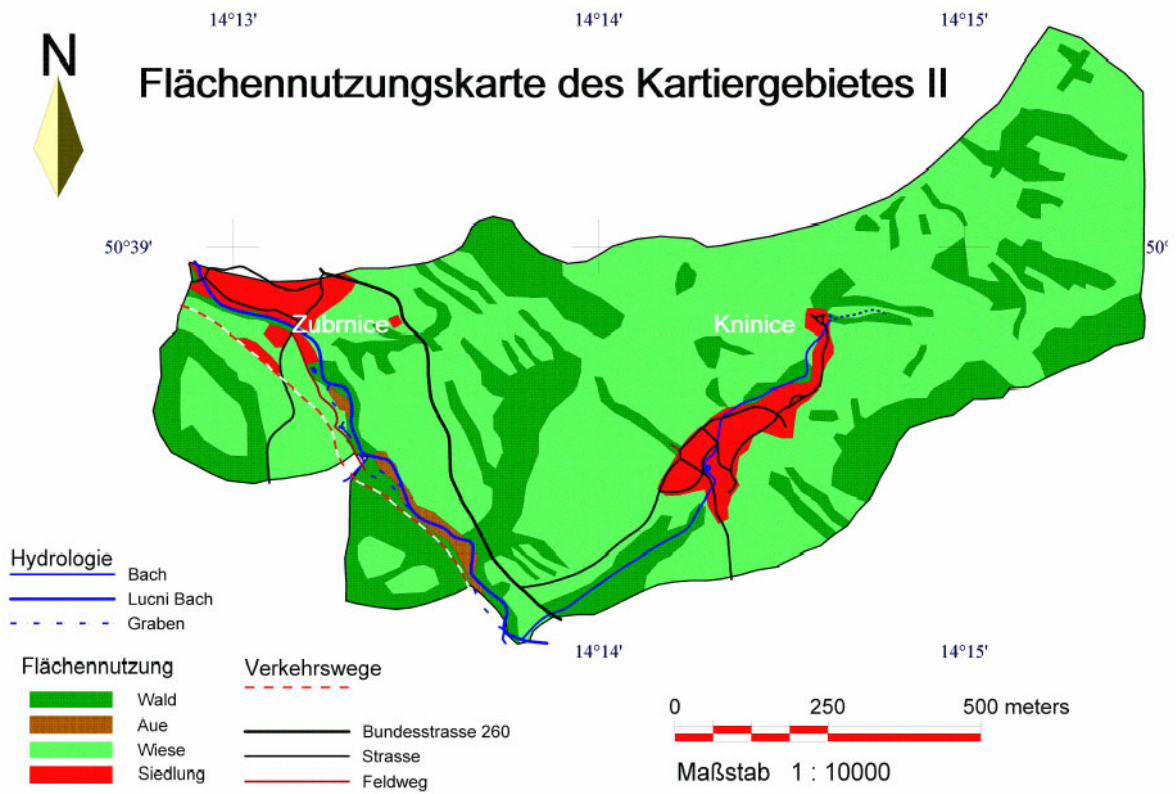
Lage der Durchflussmessungen I



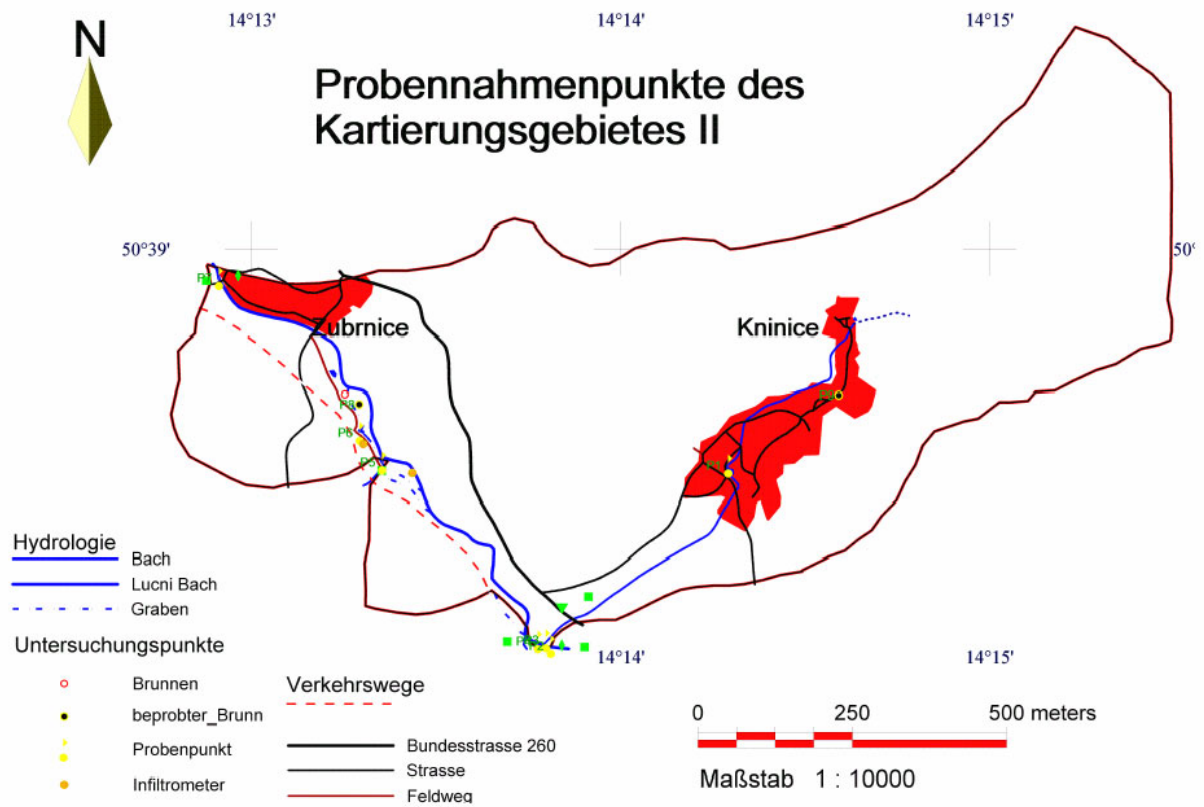
Karte 7-3: Lage der Messwehre und Punkte der Verdünnungsmethode im Untersuchungsgebiet 1

7.2 Kartiergebiet II

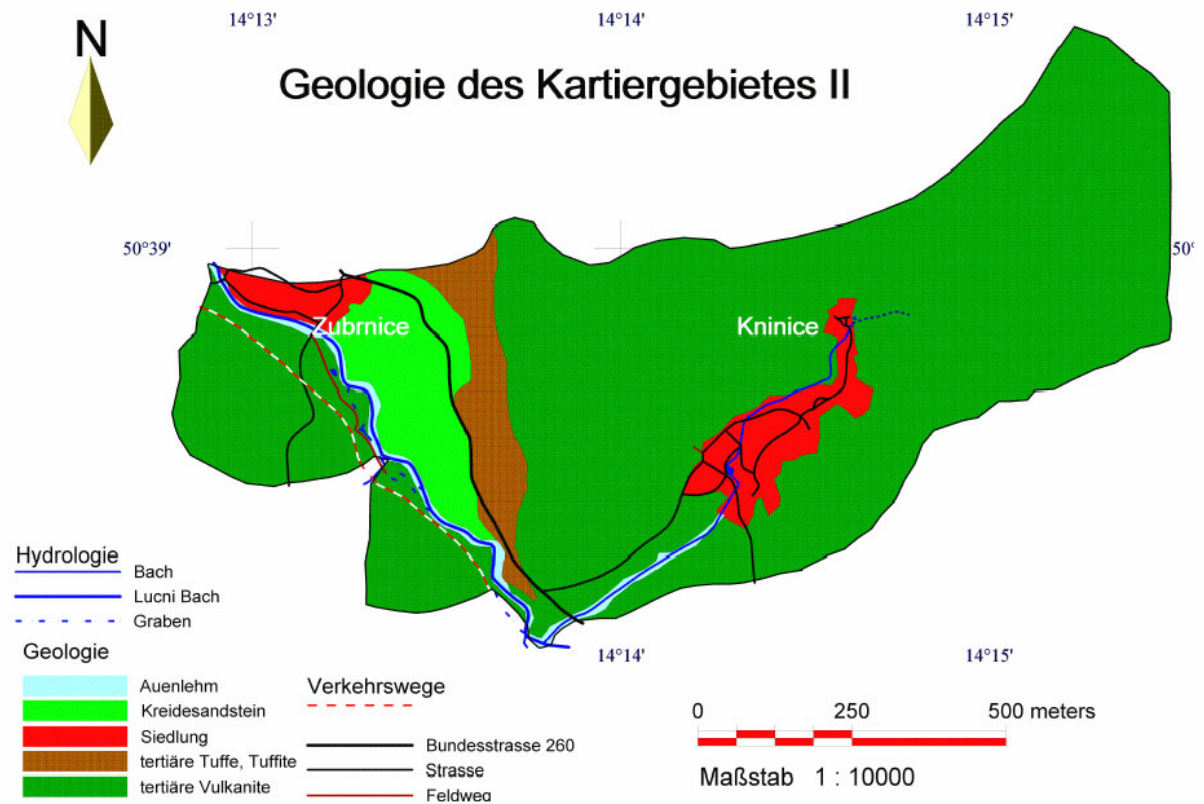
7.2.1 Karten



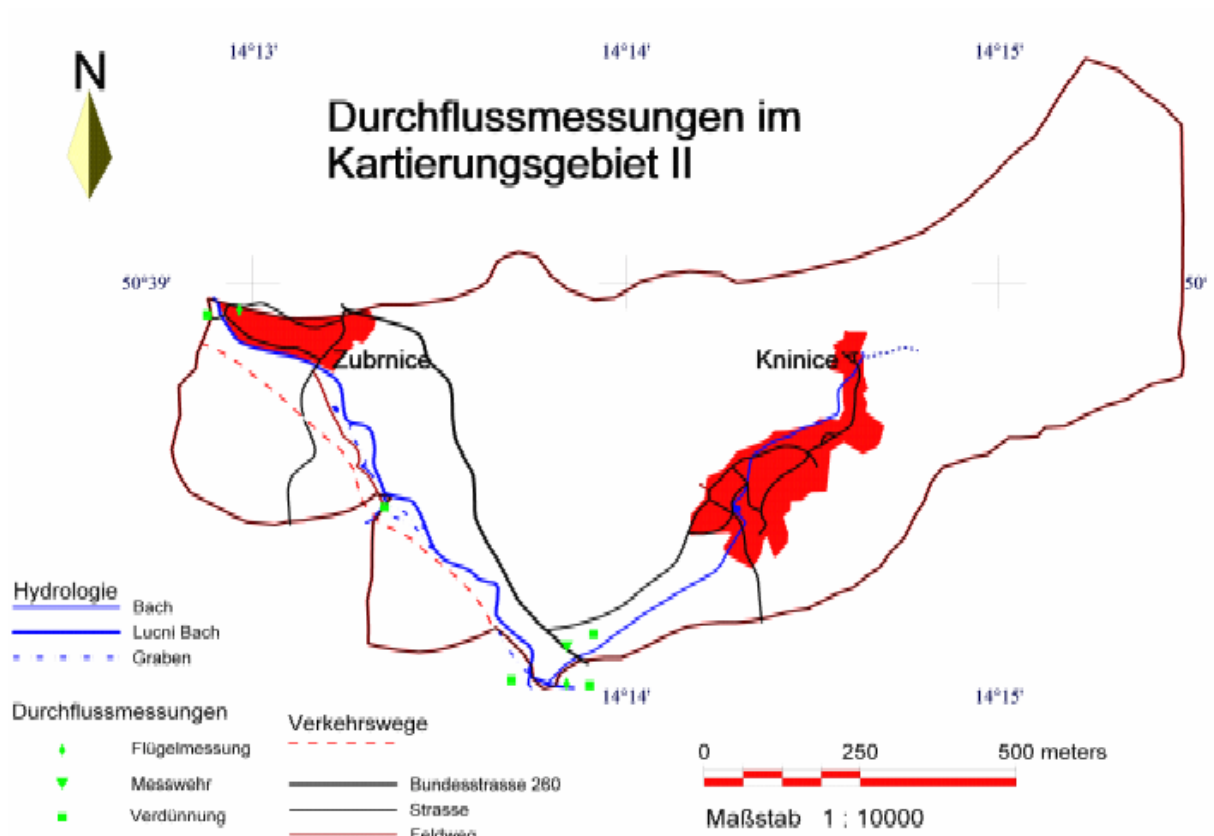
Karte 7-4: Karte der Flächennutzung im Kartiergebiet II



Karte 7-5: Karte der Probennahmepunkte im Kartiergebiet II



Karte 7-6: Karte der Geologie im Kartiergebiet II



Karte 7-7: Karte der Durchflussmessungen im Kartiergebiet II

7.2.2 Abbildungen

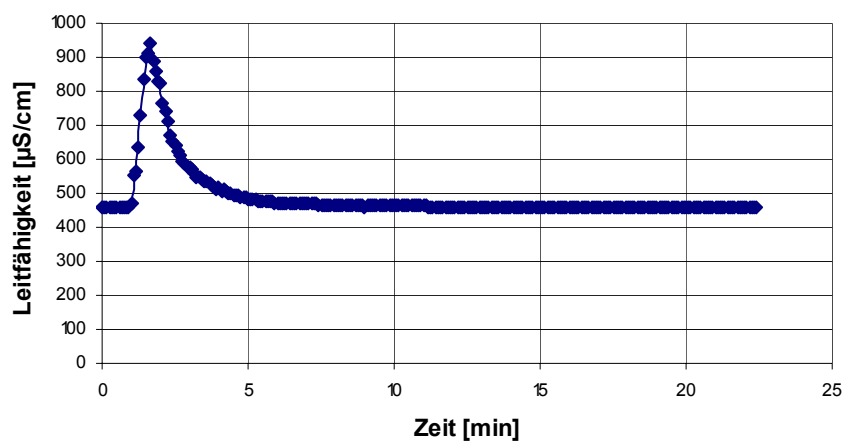


Abbildung 7-1: Verlauf der Leitfähigkeit, Tracerversuch 2

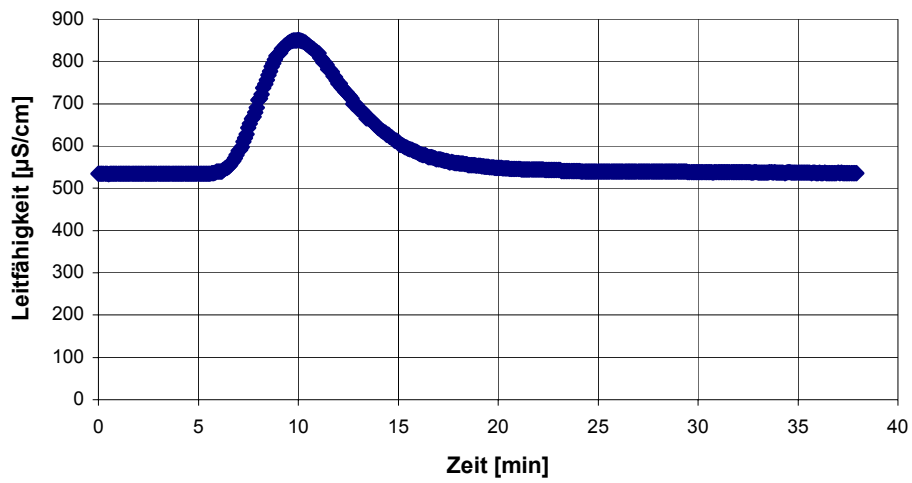


Abbildung 7-2: Verlauf der Leitfähigkeit, Tracerversuch 3

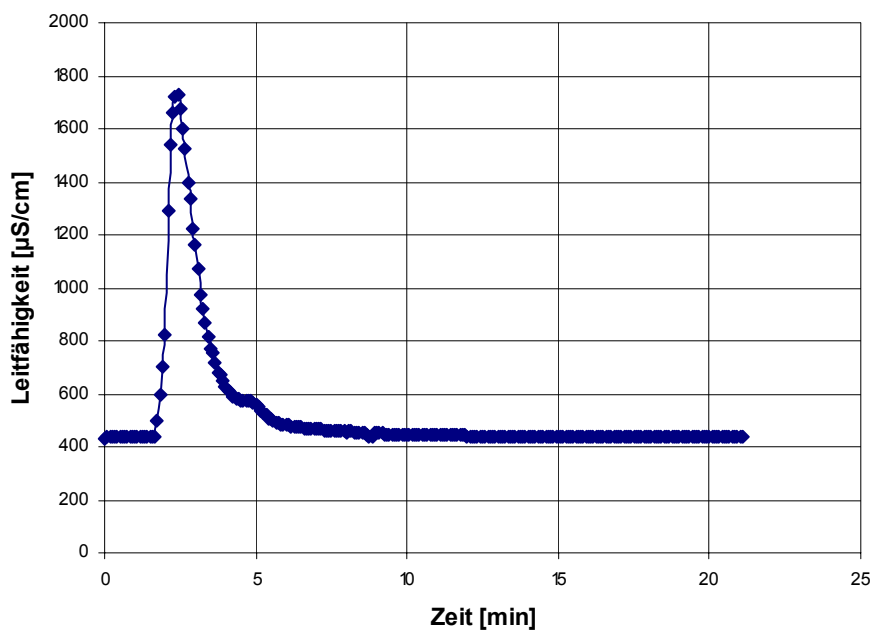


Abbildung 7-3: Verlauf der Leitfähigkeit, Tracerversuch 4

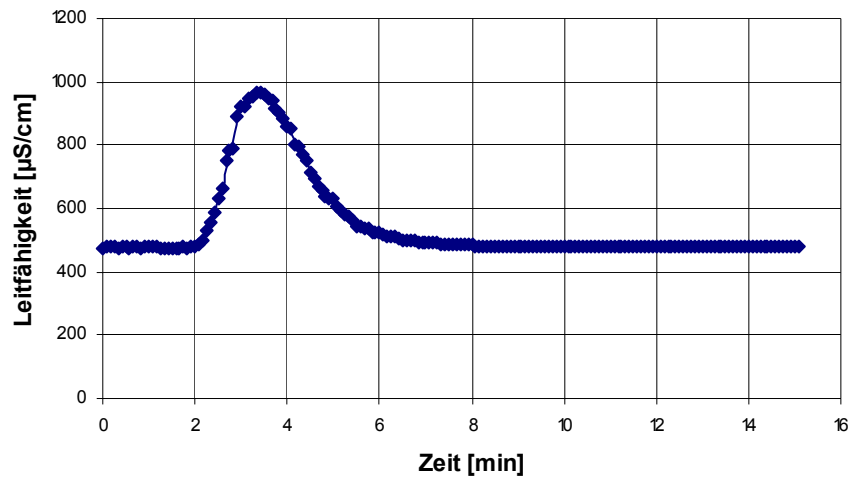


Abbildung 7-4: Verlauf der Leitfähigkeit, Tracerversuch 5

7.2.3 Tabellen

Tabelle 7-14: Vor-Ort-Messung, erster Probenahmetermin

Probennummer	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Datum	09.08.03	09.08.03	09.08.03	09.08.03	09.08.03	09.08.03	09.08.03	11.08.03	13.08.03
Uhrzeit	13:15	14:05	14:15	14:30	14:45	15:15	16:05	14:35	9:10
Witterung	sonnig	sonnig; (beschattet)	sonnig (beschattet)	sonnig (beschattet)	sonnig	sonnig (Halbschatten)	sonnig (Halbschatten)	sonnig, wolkenlos	sonnig
Probennehmer	Ermer	Komischke	Kober	Kober	Ermer	Kober	Komischke	Dietzel	Böhme
Ortsname	Kninice Feuerlöschteich	Mündung Kninice Bach	Lucni Bach vor Mündung Kninice Bach	Lucni Bach nach Mündung Kninice Bach	Zulauf Gehöft in Lucni Bach	Tümpel an den Gleisen	Lucni Bach Ausgang Untersuchungs- gebiet	Grundwasser- messbrunnen	Brunnen im oberern Teil von Kninice
Nördliche Länge	50°38'37,6"	50°38'16,4"	50°38'19,6"	50°38'17,2"	50°38'38,0"	50°38'40,9"	50°38'56,5"	50°38'43,0"	50°38'44,6"
Östliche Breite	14°13'18,0"	14°13'47,7"	14°13'49,0"	14°13'44,6"	14°13'20,9"	14°13'17,3"	14°13'53,9"	14°13'18,2"	14°13'13,6"
Höhe [m ü. NN]	420	360	360	360	305	305	280	292	400
Gewässertyp	Bach	Bach	Bach	Bach	Zulauf Graben	Tümpel	Bach	Brunnen	Brunnen
Ausbau	z.T. mit Naturstein befestigt, zementiert	kaum befestigt	naturbelassen	naturbelassen	mit Naturstein befestigt, zementiert	mit Naturstein befestigt, zementiert	naturbelassen	keine Angaben	sehr alt, nicht genutzt, rostig, Klarpumpen nicht möglich
Probenahmeart	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Pumpe (elektrisch)	Pumpe des Brunnens

Tabelle 7-15: Vor-Ort-Parameter, erster Probenahmetermin

Probennummer	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
pH	7,8	8,1	8,15	8,15	8,2	8	8,1	6,5	7,66
Temperatur [°C]	17,6	18,5	17,4	17,4	17,9	20,9	17,9	12	10,9
Leitfähigkeit [µs/cm]	407	443	450	450	538	534	484	n.b.	307
Sauerstoff-gehalt [mg/l]	8,6	8,6	8,7	8,7	8,7	8,5	8,7	3,5	8,85
Sauerstoff-sättigung [%]	94	96	94,5	94,5	96	101	95	n.b.	85
Redoxpotential [mV]	180	164	166	166	155	158	147	-6	130
korrigiertes Redoxpotential [mV]	390	374	376	376	365	368	357	211	347
-p-Wert [mmol/l] =CO ₂	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	n.b.	0,5
m-Wert [mmol/l] = HCO ₃ ⁻	3,3	3	3,9	3,9	4,1	3,9	3,6	n.b.	2,5
Karbonathärte [mmo/l]	1,6	1,43	1,7	1,7	1,9	1,85	1,7	1,95	1
Gesamthärte [mmol/l]	3,6	3,7	4,8	4,8	5,4	5,8	4,8	n.b.	5
Geruch	kein	kein	kein	kein	kein	kein	kein	kein	leicht
Geschmack	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet
Farbe	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	farblos	rostrot
Trübung	sehr leichte Trübung	sehr leichte Trübung	keine	keine	keine	keine	keine	leicht	sehr stark

Tabelle 7-16: Vor-Ort-Messung, zweiter Probenahmetermin

Probe-nummer	P2	P3	P4	P5	P7	P8	P9
Datum	13.08.03	13.08.03	13.08.03	12.08.03	13.08.03	12.08.03	14.08.03
Uhrzeit	09:35:00	10:55:00	10:10:00	17:00:00	10:30:00	14:20:00	09:45:00
Witterung	sonnig; (beschattet)	sonnig (beschattet)	sonnig (beschattet)	sonnig, leicht bewölkt	sonnig (Halbschatten), leicht bewölkt	sonnig	heiter
Proben-nehmer	Böhme	Kober	Kober	Komischke	Kober	Kober	Kober
Ortsname	Mündung Kninice Bach	Lucni Bach vor Mündung Kninice Bach	Lucni Bach nach Mündung Kninice Bach	Zulauf Gehöft in Lucni Bach	Lucni Bach Ausgang Untersuchungsgebiet	Grundwasser-messbrunnen	Brunnen im oberern Teil von Kninice
Nördliche Länge	50°38'16,4"	50°38'19,6"	50°38'17,2"	50°38'38,0"	50°38'56,5"	50°38'43,0"	50°38'44,6"
Östliche Breite	14°13'47,7"	14°13'49,0"	14°13'44,6"	14°13'20,9"	14°13'53,9"	14°13'18,2"	14°13'13,6"
Höhe [m ü. NN]	360	360	360	305	280	292	
Gewässer- typ	Bach	Bach	Bach	Zulauf / Graben	Bach	Brunnen	Brunnen
Ausbau	kaum befestigt	naturbelassen	naturbelassen	mit Naturstein befestigt, zementiert	naturbelassen	keinen Angaben	sehr alt nicht, nicht genutzt, rostig, Klarpumpen nicht möglich
Probe- nahmeart	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Schöpfer	Pumpe (elektrisch)	Pumpe

Tabelle 7-17: Vor-Ort-Parameter, zweiter Probenahmetermin

Probennummer	P2	P3	P4	P5	P7	P8	P9
pH	8,25	8,23	8,25	8,3	8,2	6,6	7,6
Temperatur [°C]	16,5	15,9	16	18,9	16,5	11,5	10,9
Leitfähigkeit [µs/cm]	453	459	455	517	485	309	314
Sauerstoff-gehalt [mg/l]	13,77	12,66	13,16	14	13	0,31	8,8
Sauerstoff-sättigung [%]	145	132,2	137,7	140	135	2,7	86
Redoxpotential [mV]	215	145	155	102	165	77	133
korrigiertes Redoxpotential [mV]	429	359	369	312	379	294	350
-p-Wert [mmol/l] =CO ₂	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,9	0,1
m-Wert [mmol/l] = HCO ₃ ⁻	3,3	4,2	4,4	3,8	4,2	3,5	2,1
Karbonathärte [mmo/l]	1,4	1,9	1,8	1,9	1,9	1,4	1
Gesamthärte [mmol/l]	5	4,9	4,9	5,2	5	nicht meßbar	3,4
Geruch	kein	leicht modrig	leicht modrig	kein	kein	kein	kein
Geschmack	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet	nicht getestet
Farbe	farblos	farblos	leicht gelblich	farblos	ganz leicht gelblich	farblos	roströt
Trübung	leichte Trübung	leicht	leicht	T-Stück, Bach leicht getrübt, da an der Fassung des zulaufenden Baches gearbeitet wird	keine	keine	sehr stark

Tabelle 7-18: Analysergebnisse Zusammenstellung, erster Probenahmetermin, zuverlässige Nachkommastellen bei Konzentrationsangaben: 1

Probennummer	PO43- [mg/l]	PO43- [mmoleq/l]	NO2- [mg/l]	NO2- [mmoleq/l]	NO3- [mg/l]	NO3- [mmoleq/l]	NH4+ [mg/l]	NH4+ [mmoleq/l]	SO42- [mg/l]	SO42- [mmoleq/l]		
P1	0,79	0,0249552	0,1221	0,0026538	17,6	0,283871	0,3741	0,0207373	71	1,4782428		
P2	0,79	0,0249552	0,0264	0,0005738	19,36	0,3122581	0,0903	0,0050055	58	1,2075786		
P3	2,75	0,0868695	0,0297	0,0006455	12,32	0,1987097	0,258	0,0143016	72	1,4990631		
P4	0,53	0,0167421	0,0264	0,0005738	11,44	0,1845161	0,0645	0,0035754	53	1,103477		
P5	1,08	0,034116	0,0792	0,0017214	32,56	0,5251613	0,0258	0,0014302	66	1,3741412		
P6	0,71	0,0224281	0,0165	0,0003586	12,76	0,2058065	0,0129	0,0007151	55	1,1451176		
P7	0,51	0,0161104	0,0726	0,0015779	14,08	0,2270968	0,1806	0,0100111	37	0,7703519		
P8	0,14	0,0044224	0,0759	0,0016496	16,72	0,2696774	1,8963	0,1051164	23	0,4788674		
P9	n.b.	n.b.	0,0693	0,0015062	14,08	0,2270968	0,0129	0,0007151	42	0,8744535		
Probennummer	Ca2+ [mg/l]	Ca2+ [mmoleq/l]	Cl- [mg/l]	Cl- [mmoleq/l]	Mg2+ [mg/l]	Mg2+ [mmoleq/l]	Na+ [mg/l]	Na+ [mmoleq/l]	K+ [mg/l]	K+ [mmoleq/l]	HCO3- [mmol/l]	HCO3- [mmoleq/l]
P1	56,112	2,8	2,83624	0,08	7,7792	0,6401317	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,3	3,3
P2	56,112	2,8	2,588069	0,073	9,724	0,8001646	38,6	1,6790077	4,1	0,1048647	3	3
P3	62,5248	3,12	3,368035	0,095	13,6136	1,1202304	10	0,4349761	4	0,102307	3,9	3,9
P4	62,5248	3,12	2,162633	0,061	8,7516	0,7201481	8,5	0,3697297	3	0,0767303	3,9	3,9
P5	60,9216	3,04	1,134496	0,032	18,4756	1,5203127	21	0,9134498	3,6	0,0920763	4,1	4,1
P6	65,7312	3,28	1,914462	0,054	13,6136	1,1202304	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	3,9	3,9
P7	60,9216	3,04	4,325266	0,122	11,6688	0,9601975	12	0,5219713	4,2	0,1074224	3,6	3,6
P8	32,064	1,6	1,737197	0,049	17,5032	1,4402962	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
P9	41,6832	2,08	1,630838	0,046	7,7792	0,6401317	2,3	0,1000445	3,4	0,086961	2,5	2,5

Tabelle 7-19: Analysenergebnisse Zusammenstellung, zweiter Probenahmetermin, zuverlässige Nachkommastellen bei Konzentrationsangaben: 1

Probennummer	PO43- [mg/l]	PO43- [mmoleq/l]	NO2- [mg/l]	NO2- [mmoleq/l]	NO3- [mg/l]	NO3- [mmoleq/l]	NH4+ [mg/l]	NH4+ [mmoleq/l]	SO42- [mg/l]	SO42- [mmoleq/l]		
P2	n.b.	n.b.	0,0165	0,0003586	17,6	0,283871	0,0129	0,0007151	46	0,9577347		
P3	n.b.	n.b.	0,0462	0,0010041	10,56	0,1703226	0,9675	0,0536308	55	1,1451176		
P4	n.b.	n.b.	0,0264	0,0005738	11,88	0,1916129	0,0516	0,0028603	45	0,9369144		
P5	n.b.	n.b.	0,0132	0,0002869	25,96	0,4187097	0,0129	0,0007151	59	1,2283989		
P7	n.b.	n.b.	0,0693	0,0015062	15,4	0,2483871	0,0129	0,0007151	50	1,041016		
P8	1,05	0,0331684	0,0099	0,0002152	4,84	0,0780645	0,6708	0,037184	25	0,520508		
P9	n.b.	n.b.	0,0198	0,0004303	12,32	0,1987097	0,0258	0,0014302	66	1,3741412		
Probennummer	Ca2+ [mg/l]	Ca2+ [mmoleq/l]	Cl- [mg/l]	Cl- [mmoleq/l]	Mg2+ [mg/l]	Mg2+ [mmoleq/l]	Na+ [mg/l]	Na+ [mmoleq/l]	K+ [mg/l]	K+ [mmoleq/l]	HCO3- [mmol/l]	HCO3- [mmoleq/l]
P2	54,5088	2,72	1,666291	0,047	11,6688	0,9601975	11,6	0,5045723	5,5	0,1406722	3,3	3,3
P3	57,7152	2,88	1,879009	0,053	17,5032	1,4402962	7,1	0,308833	2,9	0,0741726	4,2	4,2
P4	59,3184	2,96	1,701744	0,048	11,6688	0,9601975	8,5	0,3697297	3,6	0,0920763	4,4	4,4
P5	60,9216	3,04	1,099043	0,031	22,3652	1,8403785	18,9	0,8221048	4	0,102307	3,8	3,8
P7	54,5088	2,72	1,559932	0,044	21,3928	1,7603621	11,7	0,508922	4,3	0,1099801	4,2	4,2
P8	36,8736	1,84	1,099043	0,031	22,3652	1,8403785	6,5	0,2827345	4,9	0,1253261	3,5	3,5
P9	32,064	1,6	1,41812	0,04	13,6136	1,1202304	2,3	0,1000445	2,5	0,0639419	2,1	2,1

Tabelle 7-20: Laboranalysen, erste Probennahme, zuverlässige Nachkommastellen bei Konzentrationsangaben: 1

Probennummer	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ -N [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ -N [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]		
P1	0,79	0,037	0,1221	4	17,6	0,29	0,3741	71		
P2	0,79	0,008	0,0264	4,4	19,36	0,07	0,0903	58		
P3	2,75	0,009	0,0297	2,8	12,32	0,2	0,258	72		
P4	0,53	0,008	0,0264	2,6	11,44	0,05	0,0645	53		
P5	1,08	0,024	0,0792	7,4	32,56	0,02	0,0258	66		
P6	0,71	0,005	0,0165	2,9	12,76	0,01	0,0129	55		
P7	0,51	0,022	0,0726	3,2	14,08	0,14	0,1806	37		
P8	0,14	0,023	0,0759	3,8	16,72	1,47	1,8963	23		
P9	n.b.	0,021	0,0693	3,2	14,08	0,01	0,0129	42		
Probennummer	Ca ²⁺ Verbrauch 0,1m EDTA [ml]	Ca ²⁺ [mmol/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Cl- Verbrauch AgNO ₃ [ml]	Cl- [mg/l]	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ Verbrauch 0,1m EDTA [ml]	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ [mmol/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]
P1	0,35	1,4	56,112	0,8	2,83624	0,43	1,72	7,7792	n.b.	n.b.
P2	0,35	1,4	56,112	0,73	2,588069	0,45	1,8	9,724	38,6	4,1
P3	0,39	1,56	62,5248	0,95	3,368035	0,53	2,12	13,6136	10	4
P4	0,39	1,56	62,5248	0,61	2,162633	0,48	1,92	8,7516	8,5	3
P5	0,38	1,52	60,9216	0,32	1,134496	0,57	2,28	18,4756	21	3,6
P6	0,41	1,64	65,7312	0,54	1,914462	0,55	2,2	13,6136	n.b.	n.b.
P7	0,38	1,52	60,9216	1,22	4,325266	0,5	2	11,6688	12	4,2
P8	0,2	0,8	32,064	0,49	1,737197	0,38	1,52	17,5032	n.b.	n.b.
P9	0,26	1,04	41,6832	0,46	1,630838	0,34	1,36	7,7792	2,3	3,4

Tabelle 7-21: Laboranalysen, zweite Probennahme, zuverlässige Nachkommastellen bei Konzentrationsangaben: 1

Probennummer	PO ₄ ³⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ -N [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ -N [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]		
P2	n.b.	0,005	0,017	4,000	17,600	0,010	0,013	46,000		
P3	n.b.	0,014	0,046	2,400	10,560	0,750	0,968	55,000		
P4	n.b.	0,008	0,026	2,700	11,880	0,040	0,052	45,000		
P5	n.b.	0,004	0,013	5,900	25,960	0,010	0,013	59,000		
P7	n.b.	0,021	0,069	3,500	15,400	0,010	0,013	50,000		
P8	1,050	0,003	0,010	1,100	4,840	0,520	0,671	25,000		
P9	n.b.	0,006	0,020	2,800	12,320	0,020	0,026	66,000		
Probennummert	Ca ²⁺ Verbrauch 0,1m EDTA [ml]	Ca ²⁺ [mmol/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Cl ⁻ Verbrauch AgNO ₃ [ml]	Cl ⁻ [mg/l]	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ Verbrauch 0,1m EDTA [ml]	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ [mmol/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]
P2	0,340	1,360	54,509	0,470	1,666	0,460	1,840	11,669	11,600	5,500
P3	0,360	1,440	57,715	0,530	1,879	0,540	2,160	17,503	7,100	2,900
P4	0,370	1,480	59,318	0,480	1,702	0,490	1,960	11,669	8,500	3,600
P5	0,380	1,520	60,922	0,310	1,099	0,610	2,440	22,365	18,900	4,000
P7	0,340	1,360	54,509	0,440	1,560	0,560	2,240	21,393	11,700	4,300
P8	0,230	0,920	36,874	0,310	1,099	0,460	1,840	22,365	6,500	4,900
P9	0,200	0,800	32,064	0,400	1,418	0,340	1,360	13,614	2,300	2,500

Tabelle 7-22: Tracerversuch 1 am Lucni-Bach

1. Tracerversuch Lucni-Bach

Ort: Ausgang Untersuchungsgebiet, Lucni-Bach

Datum: 10.08.03

Uhrzeit: 9:00

Witterung: sonnig

Tracereingabe: Momentimpuls

Tracermenge: 300g NaCl

Leitfähigkeitsgrundwert: 484 μ S/cm

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
0	0	485
5	0,08	487
10	0,17	487
15	0,25	489
20	0,33	489
25	0,42	491
30	0,50	491
35	0,58	495
40	0,67	499
45	0,75	501
50	0,83	503
55	0,92	510
60	1,00	511
65	1,08	517
70	1,17	520
75	1,25	521
80	1,33	525
85	1,42	530
90	1,50	532
95	1,58	536
100	1,67	536
105	1,75	536
110	1,83	538
115	1,92	539
120	2,00	541
125	2,08	541
130	2,17	541
135	2,25	541
140	2,33	542
145	2,42	543
150	2,50	543
155	2,58	543
160	2,67	543
165	2,75	543
170	2,83	542
175	2,92	543
180	3,00	541
185	3,08	541
190	3,17	541
195	3,25	541
200	3,33	539
205	3,42	539
210	3,50	538
215	3,58	538
t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
440	7,33	515

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
220	3,67	538
225	3,75	538
230	3,83	537
235	3,92	537
240	4,00	536
245	4,08	536
250	4,17	536
255	4,25	534
260	4,33	534
265	4,42	533
270	4,50	533
275	4,58	532
280	4,67	532
285	4,75	531
290	4,83	531
295	4,92	529
300	5,00	529
305	5,08	528
310	5,17	528
315	5,25	528
320	5,33	527
325	5,42	527
330	5,50	526
335	5,58	525
340	5,67	525
345	5,75	524
350	5,83	524
355	5,92	523
360	6,00	523
365	6,08	522
370	6,17	521
375	6,25	521
380	6,33	520
385	6,42	520
390	6,50	518
395	6,58	518
400	6,67	518
405	6,75	520
410	6,83	518
415	6,92	517
420	7,00	516
425	7,08	516
430	7,17	515
435	7,25	515
t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
700	11,67	499

445	7,42	514
450	7,50	514
455	7,58	514
460	7,67	512
465	7,75	512
470	7,83	510
475	7,92	510
480	8,00	509
485	8,08	509
490	8,17	509
495	8,25	508
500	8,33	508
505	8,42	508
510	8,50	508
515	8,58	508
520	8,67	507
525	8,75	507
530	8,83	506
535	8,92	506
540	9,00	506
545	9,08	506
550	9,17	506
555	9,25	506
560	9,33	504
565	9,42	504
570	9,50	504
575	9,58	504
580	9,67	504
585	9,75	503
590	9,83	503
595	9,92	503
600	10,00	503
605	10,08	502
610	10,17	502
615	10,25	502
620	10,33	502
625	10,42	502
630	10,50	502
635	10,58	502
640	10,67	502
645	10,75	501
650	10,83	501
655	10,92	501
660	11,00	501
665	11,08	501
670	11,17	501
675	11,25	501
680	11,33	499
685	11,42	499
690	11,50	499
695	11,58	499

705	11,75	499
710	11,83	498
715	11,92	498
720	12,00	498
725	12,08	498
730	12,17	498
735	12,25	498
740	12,33	496
745	12,42	496
750	12,50	496
755	12,58	496
760	12,67	496
765	12,75	496
770	12,83	496
775	12,92	496
780	13,00	495
785	13,08	495
790	13,17	495
795	13,25	495
800	13,33	495
805	13,42	495
810	13,50	493
815	13,58	494
820	13,67	495
825	13,75	495
830	13,83	495
835	13,92	494
840	14,00	494
845	14,08	494
850	14,17	494
855	14,25	494
860	14,33	494
865	14,42	494
870	14,50	494
875	14,58	494
880	14,67	494
885	14,75	493
890	14,83	493
895	14,92	493
900	15,00	493
905	15,08	493
910	15,17	493
915	15,25	493
920	15,33	493
925	15,42	493
930	15,50	493
935	15,58	493
940	15,67	493
945	15,75	492
950	15,83	492
955	15,92	492

t[s]	t[min]	Lf [μS/cm]
960	16,00	492

t[s]	t[min]	Lf [μS/cm]
1220	20,33	488

965	16,08	492
970	16,17	492
975	16,25	492
980	16,33	492
985	16,42	492
990	16,50	492
995	16,58	492
1000	16,67	490
1005	16,75	492
1010	16,83	492
1015	16,92	490
1020	17,00	492
1025	17,08	492
1030	17,17	492
1035	17,25	492
1040	17,33	492
1045	17,42	492
1050	17,50	492
1055	17,58	490
1060	17,67	490
1065	17,75	490
1070	17,83	490
1075	17,92	490
1080	18,00	490
1085	18,08	492
1090	18,17	490
1095	18,25	491
1100	18,33	490
1105	18,42	490
1110	18,50	490
1115	18,58	490
1120	18,67	490
1125	18,75	490
1130	18,83	490
1135	18,92	490
1140	19,00	490
1145	19,08	490
1150	19,17	490
1155	19,25	490
1160	19,33	490
1165	19,42	490
1170	19,50	490
1175	19,58	490
1180	19,67	490
1185	19,75	490
1190	19,83	490
1195	19,92	490
1200	20,00	490
1205	20,08	488
1210	20,17	488
1215	20,25	488

1225	20,42	488
1230	20,50	488
1235	20,58	488
1240	20,67	488
1245	20,75	488
1250	20,83	488
1255	20,92	488
1260	21,00	488
1265	21,08	488
1270	21,17	488
1275	21,25	488
1280	21,33	488
1285	21,42	488
1290	21,50	488
1295	21,58	488
1300	21,67	488
1305	21,75	488
1310	21,83	488
1315	21,92	488
1320	22,00	488
1325	22,08	488
1330	22,17	488
1335	22,25	488
1340	22,33	488
1345	22,42	488
1350	22,50	488
1355	22,58	488
1360	22,67	488
1365	22,75	488
1370	22,83	488
1375	22,92	488
1380	23,00	488
1385	23,08	488
1390	23,17	487
1395	23,25	488
1400	23,33	488
1405	23,42	487
1410	23,50	487
1415	23,58	487
1420	23,67	487
1425	23,75	487
1430	23,83	487
1435	23,92	486
1440	24,00	486
1445	24,08	486
1450	24,17	486
1455	24,25	486
1460	24,33	486
1465	24,42	486
1470	24,50	486
1475	24,58	486

t[s]	t[min]	Lf [μS/cm]
1480	24,67	486

t[s]	t[min]	Lf [μS/cm]
1740	29,00	484

1485	24,75	486
1490	24,83	486
1495	24,92	486
1500	25,00	486
1505	25,08	486
1510	25,17	486
1515	25,25	486
1520	25,33	486
1525	25,42	486
1530	25,50	487
1535	25,58	486
1540	25,67	486
1545	25,75	486
1550	25,83	486
1555	25,92	486
1560	26,00	486
1565	26,08	486
1570	26,17	486
1575	26,25	486
1580	26,33	486
1585	26,42	486
1590	26,50	484
1595	26,58	485
1600	26,67	486
1605	26,75	486
1610	26,83	486
1615	26,92	486
1620	27,00	486
1625	27,08	486
1630	27,17	486
1635	27,25	486
1640	27,33	486
1645	27,42	486
1650	27,50	484
1655	27,58	485
1660	27,67	486
1665	27,75	486
1670	27,83	486
1675	27,92	486
1680	28,00	485
1685	28,08	485
1690	28,17	485
1695	28,25	485
1700	28,33	485
1705	28,42	485
1710	28,50	485
1715	28,58	484
1720	28,67	484
1725	28,75	485
1730	28,83	485
1735	28,92	485

1745	29,08	485
1750	29,17	485
1755	29,25	483
1760	29,33	484
1765	29,42	484
1770	29,50	484

Tabelle 7-23: Tracerversuch 2 am Lucni-Bach

2. Tracerversuch Lucni-Bach

Ort: Eingang Untersuchungsgebiet, Lucni-Bach

Datum: 10.08.03

Uhrzeit: 12:15

Witterung: sonnig

Tracereingabe: Momentimpuls

Tracermenge: 200g NaCl

Leitfähigkeitsgrundwert: 458 μ S/cm

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
0	0	458
5	0,08	458
10	0,17	460
15	0,25	458
20	0,33	458
25	0,42	460
30	0,50	458
35	0,58	459
40	0,67	459
45	0,75	459
50	0,83	460
55	0,92	460
60	1,00	469
65	1,08	554
70	1,17	566
75	1,25	635
80	1,33	729
85	1,42	838
90	1,50	901
95	1,58	911
100	1,67	942
105	1,75	887
110	1,83	857
115	1,92	830
120	2,00	826
125	2,08	767
130	2,17	744
135	2,25	709
140	2,33	672
145	2,42	655
150	2,50	641
155	2,58	623
160	2,67	612
165	2,75	597
170	2,83	591
175	2,92	579
180	3,00	579
185	3,08	568

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
380	6,33	472

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
190	3,17	561
195	3,25	548
200	3,33	547
205	3,42	539
210	3,50	538
215	3,58	533
220	3,67	527
225	3,75	522
230	3,83	520
235	3,92	511
240	4,00	517
245	4,08	504
250	4,17	511
255	4,25	503
260	4,33	499
265	4,42	498
270	4,50	496
275	4,58	494
280	4,67	492
285	4,75	491
290	4,83	490
295	4,92	488
300	5,00	485
305	5,08	484
310	5,17	483
315	5,25	482
320	5,33	479
325	5,42	479
330	5,50	478
335	5,58	478
340	5,67	477
345	5,75	476
350	5,83	474
355	5,92	473
360	6,00	472
365	6,08	472
370	6,17	472
375	6,25	472

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
615	10,25	463

385	6,42	472
390	6,50	471
395	6,58	471
400	6,67	470
405	6,75	471
410	6,83	470
415	6,92	470
420	7,00	470
425	7,08	470
430	7,17	469
435	7,25	469
440	7,33	469
445	7,42	467
450	7,50	467
455	7,58	466
460	7,67	466
465	7,75	466
470	7,83	466
475	7,92	466
480	8,00	466
485	8,08	465
490	8,17	465
495	8,25	465
500	8,33	465
505	8,42	465
510	8,50	465
515	8,58	465
520	8,67	464
525	8,75	464
530	8,83	464
535	8,92	464
540	9,00	461
545	9,08	464
550	9,17	463
555	9,25	463
560	9,33	463
565	9,42	463
570	9,50	463
575	9,58	463
580	9,67	463
585	9,75	463
590	9,83	463
595	9,92	463
600	10,00	463
605	10,08	463
610	10,17	463

620	10,33	463
625	10,42	463
630	10,50	463
635	10,58	463
640	10,67	463
645	10,75	463
650	10,83	463
655	10,92	463
660	11,00	463
665	11,08	463
670	11,17	461
675	11,25	461
680	11,33	461
685	11,42	461
690	11,50	461
695	11,58	461
700	11,67	461
705	11,75	461
710	11,83	461
715	11,92	461
720	12,00	461
725	12,08	461
730	12,17	461
735	12,25	461
740	12,33	461
745	12,42	461
750	12,50	461
755	12,58	461
760	12,67	461
765	12,75	461
770	12,83	461
775	12,92	461
780	13,00	461
785	13,08	461
790	13,17	461
795	13,25	461
800	13,33	461
805	13,42	461
810	13,50	461
815	13,58	461
820	13,67	461
825	13,75	461
830	13,83	461
835	13,92	461
840	14,00	461
845	14,08	461

850	14,17	461
855	14,25	461

1090	18,17	461
1095	18,25	461

860	14,33	461
865	14,42	461
870	14,50	461
875	14,58	461
880	14,67	461
885	14,75	461
890	14,83	461
895	14,92	461
900	15,00	461
905	15,08	461
910	15,17	461
915	15,25	461
920	15,33	461
925	15,42	461
930	15,50	461
935	15,58	461
940	15,67	461
945	15,75	461
950	15,83	461
955	15,92	461
960	16,00	461
965	16,08	461
970	16,17	461
975	16,25	461
980	16,33	461
985	16,42	461
990	16,50	461
995	16,58	461
1000	16,67	461
1005	16,75	461
1010	16,83	461
1015	16,92	461
1020	17,00	461
1025	17,08	461
1030	17,17	461
1035	17,25	461
1040	17,33	461
1045	17,42	461
1050	17,50	461
1055	17,58	461
1060	17,67	461
1065	17,75	461
1070	17,83	461
1075	17,92	461
1080	18,00	461
1085	18,08	461

1100	18,33	461
1105	18,42	461
1110	18,50	461
1115	18,58	461
1120	18,67	461
1125	18,75	461
1130	18,83	461
1135	18,92	461
1140	19,00	461
1145	19,08	461
1150	19,17	461
1155	19,25	461
1160	19,33	461
1165	19,42	461
1170	19,50	461
1175	19,58	461
1180	19,67	461
1185	19,75	461
1190	19,83	460
1195	19,92	461
1200	20,00	461
1205	20,08	461
1210	20,17	461
1215	20,25	461
1220	20,33	461
1225	20,42	461
1230	20,50	461
1235	20,58	461
1240	20,67	461
1245	20,75	461
1250	20,83	461
1255	20,92	461
1260	21,00	461
1265	21,08	461
1270	21,17	461
1275	21,25	461
1280	21,33	461
1285	21,42	461
1290	21,50	461
1295	21,58	461
1300	21,67	461
1305	21,75	461
1310	21,83	461
1315	21,92	461
1320	22,00	461
1325	22,08	461

1330	22,17	461
1335	22,25	461

1340	22,33	461
1345	22,42	461

Tabelle 7-24: Tracerversuch 3 am Zulauf zum Lucni-Bach

3. Tracerversuch Zulauf zum Lucni-Bach

Ort: Zulauf zum Lucni, Gehöft Zubrnice
 Datum: 10.08.03
 Uhrzeit: 16:00
 Witterung: sonnig
 Tracereingabe: Momentimpuls
 Tracermenge: 100g NaCl
 Leitfähigkeitsgrundwert: 534 $\mu\text{S/cm}$

t[s]	t[min]	Lf [$\mu\text{S/cm}$]
0	0	534
5	0,08	534
10	0,17	534
15	0,25	534
20	0,33	534
25	0,42	534
30	0,50	533
35	0,58	534
40	0,67	534
45	0,75	534
50	0,83	534
55	0,92	534
60	1,00	534
65	1,08	534
70	1,17	534
75	1,25	534
80	1,33	534
85	1,42	534
90	1,50	534
95	1,58	534
100	1,67	534
105	1,75	534
110	1,83	534
115	1,92	534
120	2,00	534
125	2,08	534
130	2,17	534
135	2,25	534
140	2,33	534
145	2,42	534
150	2,50	534
155	2,58	534
160	2,67	534
165	2,75	534
170	2,83	534

t[s]	t[min]	Lf [$\mu\text{S/cm}$]
175	2,92	534
180	3,00	534
185	3,08	534
190	3,17	534
195	3,25	534
200	3,33	534
205	3,42	534
210	3,50	534
215	3,58	534
220	3,67	534
225	3,75	534
230	3,83	534
235	3,92	534
240	4,00	534
245	4,08	534
250	4,17	534
255	4,25	534
260	4,33	534
265	4,42	534
270	4,50	534
275	4,58	534
280	4,67	534
285	4,75	534
290	4,83	534
295	4,92	534
300	5,00	534
305	5,08	534
310	5,17	535
315	5,25	535
320	5,33	535
325	5,42	535
330	5,50	535
335	5,58	535
340	5,67	536
345	5,75	536

t[s]	t[min]	Lf [$\mu\text{S/cm}$]
350	5,83	537
355	5,92	539

t[s]	t[min]	Lf [$\mu\text{S/cm}$]
610	10,17	848
615	10,25	847

360	6,00	540
365	6,08	540
370	6,17	540
375	6,25	543
380	6,33	547
385	6,42	548
390	6,50	551
395	6,58	555
400	6,67	561
405	6,75	565
410	6,83	571
415	6,92	579
420	7,00	589
425	7,08	591
430	7,17	598
435	7,25	610
440	7,33	619
445	7,42	628
450	7,50	643
455	7,58	653
460	7,67	664
465	7,75	669
470	7,83	680
475	7,92	691
480	8,00	708
485	8,08	712
490	8,17	722
495	8,25	738
500	8,33	746
505	8,42	756
510	8,50	768
515	8,58	776
520	8,67	788
525	8,75	795
530	8,83	804
535	8,92	813
540	9,00	818
545	9,08	821
550	9,17	829
555	9,25	832
560	9,33	837
565	9,42	840
570	9,50	843
575	9,58	846
580	9,67	848
585	9,75	850
590	9,83	850
595	9,92	850
600	10,00	851
605	10,08	850

620	10,33	844
625	10,42	841
630	10,50	838
635	10,58	834
640	10,67	832
645	10,75	830
650	10,83	825
655	10,92	823
660	11,00	819
665	11,08	809
670	11,17	806
675	11,25	798
680	11,33	797
685	11,42	791
690	11,50	782
695	11,58	780
700	11,67	775
705	11,75	765
710	11,83	763
715	11,92	755
720	12,00	747
725	12,08	747
730	12,17	739
735	12,25	735
740	12,33	729
745	12,42	726
750	12,50	721
755	12,58	717
760	12,67	712
765	12,75	699
770	12,83	700
775	12,92	697
780	13,00	687
785	13,08	686
790	13,17	683
795	13,25	679
800	13,33	676
805	13,42	666
810	13,50	666
815	13,58	663
820	13,67	659
825	13,75	656
830	13,83	651
835	13,92	648
840	14,00	643
845	14,08	640
850	14,17	636
855	14,25	634
860	14,33	631
865	14,42	627

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
870	14,50	626
875	14,58	622

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
1130	18,83	554
1135	18,92	553

880	14,67	620
885	14,75	616
890	14,83	613
895	14,92	612
900	15,00	609
905	15,08	603
910	15,17	602
915	15,25	600
920	15,33	598
925	15,42	596
930	15,50	594
935	15,58	592
940	15,67	591
945	15,75	589
950	15,83	587
955	15,92	586
960	16,00	583
965	16,08	581
970	16,17	580
975	16,25	579
980	16,33	578
985	16,42	576
990	16,50	574
995	16,58	574
1000	16,67	573
1005	16,75	572
1010	16,83	571
1015	16,92	569
1020	17,00	568
1025	17,08	568
1030	17,17	567
1035	17,25	566
1040	17,33	565
1045	17,42	565
1050	17,50	564
1055	17,58	561
1060	17,67	562
1065	17,75	561
1070	17,83	560
1075	17,92	560
1080	18,00	560
1085	18,08	559
1090	18,17	558
1095	18,25	558
1100	18,33	557
1105	18,42	557
1110	18,50	555
1115	18,58	555
1120	18,67	555
1125	18,75	554

1140	19,00	553
1145	19,08	553
1150	19,17	552
1155	19,25	552
1160	19,33	551
1165	19,42	551
1170	19,50	551
1175	19,58	550
1180	19,67	550
1185	19,75	550
1190	19,83	548
1195	19,92	548
1200	20,00	548
1205	20,08	548
1210	20,17	548
1215	20,25	547
1220	20,33	547
1225	20,42	547
1230	20,50	547
1235	20,58	546
1240	20,67	546
1245	20,75	546
1250	20,83	546
1255	20,92	546
1260	21,00	546
1265	21,08	546
1270	21,17	545
1275	21,25	545
1280	21,33	545
1285	21,42	545
1290	21,50	545
1295	21,58	545
1300	21,67	544
1305	21,75	544
1310	21,83	544
1315	21,92	544
1320	22,00	544
1325	22,08	544
1330	22,17	544
1335	22,25	544
1340	22,33	543
1345	22,42	543
1350	22,50	543
1355	22,58	543
1360	22,67	543
1365	22,75	543
1370	22,83	543
1375	22,92	543
1380	23,00	543
1385	23,08	543

t[s]	t[μ min]	Lf [μ S/cm]
1390	23,17	541
1395	23,25	541

t[s]	t[μ min]	Lf [μ S/cm]
1650	27,50	539
1655	27,58	539

1400	23,33	541
1405	23,42	541
1410	23,50	541
1415	23,58	541
1420	23,67	541
1425	23,75	541
1430	23,83	541
1435	23,92	541
1440	24,00	541
1445	24,08	541
1450	24,17	540
1455	24,25	540
1460	24,33	540
1465	24,42	540
1470	24,50	540
1475	24,58	540
1480	24,67	540
1485	24,75	540
1490	24,83	540
1495	24,92	540
1500	25,00	540
1505	25,08	540
1510	25,17	540
1515	25,25	540
1520	25,33	540
1525	25,42	540
1530	25,50	540
1535	25,58	540
1540	25,67	540
1545	25,75	540
1550	25,83	540
1555	25,92	540
1560	26,00	540
1565	26,08	540
1570	26,17	540
1575	26,25	540
1580	26,33	540
1585	26,42	540
1590	26,50	540
1595	26,58	539
1600	26,67	539
1605	26,75	539
1610	26,83	539
1615	26,92	539
1620	27,00	539
1625	27,08	539
1630	27,17	539
1635	27,25	539
1640	27,33	539
1645	27,42	539

1660	27,67	539
1665	27,75	539
1670	27,83	539
1675	27,92	539
1680	28,00	539
1685	28,08	539
1690	28,17	539
1695	28,25	539
1700	28,33	539
1705	28,42	539
1710	28,50	539
1715	28,58	539
1720	28,67	539
1725	28,75	539
1730	28,83	539
1735	28,92	539
1740	29,00	539
1745	29,08	539
1750	29,17	539
1755	29,25	539
1760	29,33	539
1765	29,42	539
1770	29,50	538
1775	29,58	538
1780	29,67	538
1785	29,75	538
1790	29,83	538
1795	29,92	538
1800	30,00	538
1805	30,08	538
1810	30,17	538
1815	30,25	538
1820	30,33	538
1825	30,42	538
1830	30,50	538
1835	30,58	538
1840	30,67	538
1845	30,75	537
1850	30,83	538
1855	30,92	538
1860	31,00	538
1865	31,08	538
1870	31,17	538
1875	31,25	538
1880	31,33	538
1885	31,42	538
1890	31,50	538
1895	31,58	538
1900	31,67	538
1905	31,75	538

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
1910	31,83	538
1915	31,92	538

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
2170	36,17	536
2175	36,25	536

1920	32,00	538
1925	32,08	538
1930	32,17	538
1935	32,25	538
1940	32,33	538
1945	32,42	538
1950	32,50	538
1955	32,58	538
1960	32,67	537
1965	32,75	537
1970	32,83	538
1975	32,92	538
1980	33,00	537
1985	33,08	537
1990	33,17	537
1995	33,25	537
2000	33,33	537
2005	33,42	537
2010	33,50	537
2015	33,58	538
2020	33,67	538
2025	33,75	537
2030	33,83	538
2035	33,92	537
2040	34,00	537
2045	34,08	537
2050	34,17	537
2055	34,25	537
2060	34,33	536
2065	34,42	537
2070	34,50	538
2075	34,58	538
2080	34,67	537
2085	34,75	537
2090	34,83	537
2095	34,92	537
2100	35,00	537
2105	35,08	537
2110	35,17	537
2115	35,25	537
2120	35,33	537
2125	35,42	537
2130	35,50	537
2135	35,58	537
2140	35,67	536
2145	35,75	537
2150	35,83	537
2155	35,92	536
2160	36,00	536
2165	36,08	537

2180	36,33	537
2185	36,42	536
2190	36,50	536
2195	36,58	536
2200	36,67	536
2205	36,75	536
2210	36,83	536
2215	36,92	536
2220	37,00	537
2225	37,08	536
2230	37,17	537
2235	37,25	536
2240	37,33	536
2245	37,42	536
2250	37,50	536
2255	37,58	536
2260	37,67	536
2265	37,75	536
2270	37,83	536
2275	37,92	536

Tabelle 7-25: Tracerversuch 4 am Lucni-Bach
4. Tracervesuch Lucni-Bach

Ort: Kninice Bach, kurz vor Zufluss in Lucni Bach
 Datum: 10.08.03
 Uhrzeit: 18:00
 Witterung: sonnig
 Tracereingabe: Momentimpuls
 Tracermenge: 100g NaCl
 Leitfähigkeitsgrundwert: 433 μ S/cm

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
0	0	433
5	0,08	434
10	0,17	434
15	0,25	434
20	0,33	434
25	0,42	434
30	0,50	434
35	0,58	434
40	0,67	434
45	0,75	434
50	0,83	434
55	0,92	434
60	1,00	434
65	1,08	434
70	1,17	434
75	1,25	434
80	1,33	434
85	1,42	434
90	1,50	434
95	1,58	435
100	1,67	437
105	1,75	498
110	1,83	595
115	1,92	705
120	2,00	820
125	2,08	1288
130	2,17	1541
135	2,25	1662
140	2,33	1719
145	2,42	1725
150	2,50	1676
155	2,58	1601
160	2,67	1522
165	2,75	1398
170	2,83	1333
175	2,92	1226
180	3,00	1166
185	3,08	1072
190	3,17	976
195	3,25	917
200	3,33	865

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
205	3,42	814
210	3,50	769
215	3,58	753
220	3,67	720
225	3,75	679
230	3,83	671
235	3,92	650
240	4,00	628
245	4,08	613
250	4,17	604
255	4,25	591
260	4,33	583
265	4,42	581
270	4,50	576
275	4,58	574
280	4,67	575
285	4,75	575
290	4,83	571
295	4,92	568
300	5,00	559
305	5,08	549
310	5,17	539
315	5,25	525
320	5,33	520
325	5,42	508
330	5,50	505
335	5,58	498
340	5,67	494
345	5,75	491
350	5,83	485
355	5,92	484
360	6,00	483
365	6,08	480
370	6,17	479
375	6,25	476
380	6,33	474
385	6,42	473
390	6,50	472
395	6,58	471
400	6,67	470
405	6,75	469

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
410	6,83	468
415	6,92	465
420	7,00	465

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
670	11,17	442
675	11,25	442
680	11,33	442

425	7,08	465
430	7,17	465
435	7,25	464
440	7,33	463
445	7,42	462
450	7,50	461
455	7,58	460
460	7,67	460
465	7,75	459
470	7,83	457
475	7,92	457
480	8,00	456
485	8,08	457
490	8,17	457
495	8,25	454
500	8,33	452
505	8,42	453
510	8,50	453
515	8,58	451
520	8,67	449
525	8,75	440
530	8,83	438
535	8,92	450
540	9,00	455
545	9,08	450
550	9,17	450
555	9,25	448
560	9,33	448
565	9,42	447
570	9,50	447
575	9,58	446
580	9,67	446
585	9,75	446
590	9,83	445
595	9,92	445
600	10,00	445
605	10,08	445
610	10,17	444
615	10,25	444
620	10,33	444
625	10,42	444
630	10,50	444
635	10,58	443
640	10,67	443
645	10,75	443
650	10,83	443
655	10,92	443
660	11,00	442
665	11,08	442

685	11,42	442
690	11,50	442
695	11,58	442
700	11,67	442
705	11,75	442
710	11,83	442
715	11,92	442
720	12,00	440
725	12,08	440
730	12,17	440
735	12,25	440
740	12,33	440
745	12,42	440
750	12,50	440
755	12,58	440
760	12,67	440
765	12,75	440
770	12,83	440
775	12,92	440
780	13,00	439
785	13,08	439
790	13,17	439
795	13,25	439
800	13,33	439
805	13,42	439
810	13,50	439
815	13,58	439
820	13,67	439
825	13,75	439
830	13,83	439
835	13,92	439
840	14,00	439
845	14,08	439
850	14,17	439
855	14,25	438
860	14,33	439
865	14,42	438
870	14,50	438
875	14,58	438
880	14,67	438
885	14,75	438
890	14,83	438
895	14,92	438
900	15,00	438
905	15,08	438
910	15,17	438
915	15,25	438
920	15,33	438
925	15,42	438

t[s]	t[μ min]	Lf [μ S/cm]
930	15,50	438
935	15,58	438
940	15,67	438

t[s]	t[μ min]	Lf [μ S/cm]
1190	19,83	437
1195	19,92	437
1200	20,00	437

945	15,75	438
950	15,83	438
955	15,92	438
960	16,00	438
965	16,08	438
970	16,17	438
975	16,25	438
980	16,33	438
985	16,42	438
990	16,50	437
995	16,58	438
1000	16,67	437
1005	16,75	437
1010	16,83	437
1015	16,92	437
1020	17,00	437
1025	17,08	437
1030	17,17	437
1035	17,25	437
1040	17,33	437
1045	17,42	437
1050	17,50	437
1055	17,58	437
1060	17,67	437
1065	17,75	437
1070	17,83	437
1075	17,92	437
1080	18,00	437
1085	18,08	437
1090	18,17	437
1095	18,25	437
1100	18,33	437
1105	18,42	437
1110	18,50	437
1115	18,58	437
1120	18,67	437
1125	18,75	437
1130	18,83	437
1135	18,92	437
1140	19,00	437
1145	19,08	437
1150	19,17	437
1155	19,25	437
1160	19,33	437
1165	19,42	437
1170	19,50	437
1175	19,58	437
1180	19,67	437
1185	19,75	437

1205	20,08	437
1210	20,17	437
1215	20,25	437
1220	20,33	437
1225	20,42	437
1230	20,50	437
1235	20,58	437
1240	20,67	437
1245	20,75	437
1250	20,83	437
1255	20,92	437
1260	21,00	437
1265	21,08	437

Tabelle 7-26: Tracerversuch 5 am Lucni-Bach
5. Tracerversuch Lucni-Bach

Ort: südlicher Bach

Datum: 14.08.03
 Uhrzeit: 10:30
 Witterung: leicht bewölkt
 Tracereingabe: Momentimpuls
 Tracermenge: 75g NaCl
 Leitfähigkeitsgrundwert: 477 μ S/cm

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
0	0	476
5	0,08	477
10	0,17	477
15	0,25	477
20	0,33	476
25	0,42	477
30	0,50	477
35	0,58	476
40	0,67	477
45	0,75	477
50	0,83	476
55	0,92	477
60	1,00	477
65	1,08	477
70	1,17	477
75	1,25	476
80	1,33	475
85	1,42	475
90	1,50	476
95	1,58	475
100	1,67	476
105	1,75	477
110	1,83	476
115	1,92	478
120	2,00	479
125	2,08	489
130	2,17	498
135	2,25	533
140	2,33	558
145	2,42	589
150	2,50	630
155	2,58	663
160	2,67	753
165	2,75	781
170	2,83	789
175	2,92	891
180	3,00	921
185	3,08	924
190	3,17	946
195	3,25	955
200	3,33	964
205	3,42	966

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
420	7,00	492
425	7,08	491
430	7,17	491
435	7,25	490

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
210	3,50	958
215	3,58	950
220	3,67	943
225	3,75	914
230	3,83	902
235	3,92	886
240	4,00	861
245	4,08	852
250	4,17	804
255	4,25	795
260	4,33	771
265	4,42	753
270	4,50	716
275	4,58	696
280	4,67	667
285	4,75	658
290	4,83	638
295	4,92	630
300	5,00	629
305	5,08	605
310	5,17	594
315	5,25	582
320	5,33	577
325	5,42	564
330	5,50	544
335	5,58	546
340	5,67	536
345	5,75	537
350	5,83	525
355	5,92	525
360	6,00	522
365	6,08	521
370	6,17	513
375	6,25	510
380	6,33	509
385	6,42	507
390	6,50	502
395	6,58	499
400	6,67	497
405	6,75	497
410	6,83	495
415	6,92	493

t[s]	t[min]	Lf [μ S/cm]
680	11,33	479
685	11,42	479
690	11,50	479
695	11,58	478

440	7,33	489
445	7,42	487
450	7,50	486
455	7,58	486
460	7,67	485
465	7,75	485
470	7,83	485
475	7,92	484
480	8,00	484
485	8,08	482
490	8,17	482
495	8,25	482
500	8,33	482
505	8,42	481
510	8,50	481
515	8,58	481
520	8,67	481
525	8,75	481
530	8,83	481
535	8,92	481
540	9,00	481
545	9,08	480
550	9,17	480
555	9,25	480
560	9,33	480
565	9,42	480
570	9,50	480
575	9,58	480
580	9,67	480
585	9,75	480
590	9,83	480
595	9,92	480
600	10,00	480
605	10,08	480
610	10,17	480
615	10,25	479
620	10,33	479
625	10,42	479
630	10,50	479
635	10,58	479
640	10,67	479
645	10,75	479
650	10,83	479
655	10,92	479
660	11,00	479
665	11,08	479
670	11,17	479
675	11,25	479

700	11,67	478
705	11,75	479
710	11,83	479
715	11,92	478
720	12,00	478
725	12,08	478
730	12,17	478
735	12,25	478
740	12,33	477
745	12,42	478
750	12,50	477
755	12,58	477
760	12,67	477
765	12,75	477
770	12,83	477
775	12,92	477
780	13,00	477
785	13,08	477
790	13,17	477
795	13,25	477
800	13,33	477
805	13,42	477
810	13,50	477
815	13,58	477
820	13,67	477
825	13,75	477
830	13,83	477
835	13,92	477
840	14,00	477
845	14,08	477
850	14,17	477
855	14,25	477
860	14,33	477
865	14,42	477
870	14,50	477
875	14,58	477
880	14,67	477
885	14,75	477
890	14,83	477
895	14,92	477
900	15,00	477
905	15,08	477

Tabelle 7-27: Ergebnisse der Flügelmessungen
Flügelmessung I Lucni-Bach

Ort: Ausgang Untersuchungsgebiet, Lugni-Bach
Datum: 10.08.03

Uhrzeit:
 9:45
 Witterung: sonnig
 Schaufelnummer: 1-46371
 Schaufeldurchmesser: 44 mm
 hydraulische Steigung der Schaufel = 0.05 m
 Flügelgleichung:
 $n < 2,22 \quad v = 0,0589 * n + 0,017$
 Gewässerbreite = 2.25 m
 Lamellenanzahl = 7
 Lamellenbreite = 0.3-0.4 m

i	$t_{m,i}$ [m]	b_i [m]	A_i [m ²]	n_i [s ⁻¹]	n_2 [s ⁻¹]
1	0,150	0,300	0,045	Messflügel dreht sich nicht	
2	0,230	0,400	0,092	0,833	
3	0,300	0,300	0,090	0,617	1,683
4	0,340	0,300	0,102	0,633	2,017
5	0,390	0,300	0,117	0,400	1,233
6	0,340	0,300	0,102	0,267	0,250
7	0,250	0,350	0,088	0,483	

i	v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	v_m [m/s]	Q_i [m ³ /s]	Q_i [l/s]
1	Messflügel dreht sich nicht				
2	0,066		0,066	0,006	6,080
3	0,053	0,116	0,085	0,008	7,626
4	0,054	0,136	0,095	0,010	9,694
5	0,041	0,090	0,065	0,008	7,617
6	0,033	0,032	0,032	0,003	3,286
7	0,045		0,045	0,004	3,978
				Qges	38,2815408

Flügelmessung II Lucni Bach

Ort: Eingang Untersuchungsgebiet, Lugni-Bach

Datum:

Uhrzeit:

Witterung: sonnig

Schaufelnummer: 1-46371

Schaufeldurchmesser: 44 mm

hydraulische Steigung der Schaufel = 0.05 m

Gewässerbreite = 0,75

Lamellenanzahl = 3

Lamellenbreite = 0,25m

i	$t_{m,i}$ [m]	b_i [m]	A_i [m ²]	n_1 [s ⁻¹]	n_2 [s ⁻¹]
1	0,165	0,25	0,04125	0,92	0,73
2	0,21	0,25	0,0525	1,08	0,98
3	0,21	0,25	0,0525	1,17	0,67

i	v_1 [m/s]	v_2 [m/s]	v_m [m/s]	Q_i [m ³ /s]	Q_i [l/s]
1	0,07	0,06	0,07	0,00	2,71
2	0,08	0,07	0,08	0,00	4,09
3	0,09	0,06	0,07	0,00	3,73
				Q_{ges} [m ³ /s]	0,01
					10,52

Tabelle 7-28: Absenkung während des Pumpversuches

Absenkung

Zeit s	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]	Zeit s	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]	Zeit s	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]
0	3.27	0	27	3.41	0.14	65	3.425	0.155
0.5	3.29	0.02	28	3.411	0.141	66	3.425	0.155
1	3.31	0.04	29	3.411	0.141	76	3.425	0.155
1.5	3.32	0.05	30	3.413	0.143	86	3.425	0.155
2	3.32	0.05	31	3.415	0.145	96	3.425	0.155
2.5	3.335	0.065	32	3.415	0.145	109	3.427	0.157
3	3.34	0.07	33	3.416	0.146	119	3.427	0.157
3.5	3.34	0.07	34	3.416	0.146	129	3.427	0.157
4	3.35	0.08	35	3.416	0.146	139	3.427	0.157
4.5	3.335	0.065	36	3.418	0.148	149	3.43	0.16
5	3.315	0.045	37	3.418	0.148	179	3.43	0.16
5.5	3.335	0.065	38	3.418	0.148	209	3.43	0.16
6	3.345	0.075	39	3.418	0.148	239	3.43	0.16
6.5	3.355	0.085	40	3.42	0.15	269	3.433	0.163
7	3.36	0.09	41	3.42	0.15	329	3.435	0.165
7.5	3.36	0.09	42	3.42	0.15	389	3.438	0.168
8	3.365	0.095	43	3.42	0.15	449	3.44	0.17
8.5	3.37	0.1	44	3.42	0.15	464	3.46	0.19
9	3.375	0.105	45	3.42	0.15	479	3.55	0.28

9.5	3.375	0.105	46	3.42	0.15	509	3.57	0.3
10	3.375	0.105	47	3.42	0.15	539	3.575	0.305
10.5	3.38	0.11	48	3.42	0.15	569	3.58	0.31
11	3.38	0.11	49	3.42	0.15	599	3.585	0.315
12	3.383	0.113	50	3.42	0.15	629	3.585	0.315
13	3.385	0.115	51	3.42	0.15	689	3.585	0.315
14	3.39	0.12	52	3.42	0.15	749	3.588	0.318
15	3.39	0.12	53	3.42	0.15	809	3.588	0.318
16	3.395	0.125	54	3.421	0.151	869	3.588	0.318
17	3.397	0.127	55	3.421	0.151	929	3.588	0.318
18	3.4	0.13	56	3.421	0.151	989	3.61	0.34
19	3.402	0.132	57	3.423	0.153	1049	3.62	0.35
20	3.403	0.133	58	3.423	0.153	1109	3.63	0.36
21	3.405	0.135	59	3.423	0.153	1169	3.635	0.365
22	3.405	0.135	60	3.423	0.153	1229	3.635	0.365
23	3.405	0.135	61	3.425	0.155	1289	3.64	0.37
24	3.408	0.138	62	3.425	0.155	1349	3.64	0.37
25	3.409	0.139	63	3.425	0.155	1409	3.64	0.37
26	3.41	0.14	64	3.425	0.155	1439	3.64	0.37

Tabelle 7-29: Wiederanstieg während des Pumpversuches

Wiederanstieg

Zeit [s]	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]	Zeit [s]	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]	Zeit [s]	Höhe unter POK [m]	Ab- senkung [m]
1439.08	3.62	0.35	1443.33	3.465	0.195	1466.67	3.37	0.1
1439.17	3.61	0.34	1443.42	3.465	0.195	1467.67	3.365	0.095
1439.25	3.59	0.32	1443.5	3.46	0.19	1468.67	3.36	0.09
1439.33	3.58	0.31	1443.58	3.46	0.19	1469.67	3.36	0.09
1439.42	3.57	0.3	1443.67	3.46	0.19	1470.67	3.36	0.09
1439.5	3.565	0.295	1443.75	3.46	0.19	1471.67	3.355	0.085
1439.58	3.55	0.28	1443.83	3.46	0.19	1472.67	3.355	0.085
1439.67	3.55	0.28	1443.92	3.46	0.19	1473.67	3.35	0.08
1439.75	3.545	0.275	1444	3.455	0.185	1474.67	3.35	0.08
1439.83	3.54	0.27	1444.08	3.455	0.185	1475.67	3.35	0.08
1439.92	3.535	0.265	1444.17	3.455	0.185	1476.67	3.35	0.08
1440	3.535	0.265	1444.25	3.45	0.18	1477.67	3.345	0.075
1440.08	3.53	0.26	1444.33	3.45	0.18	1478.67	3.342	0.072
1440.17	3.53	0.26	1444.42	3.45	0.18	1479.67	3.342	0.072
1440.25	3.525	0.255	1444.5	3.45	0.18	1480.67	3.34	0.07
1440.33	3.525	0.255	1444.58	3.45	0.18	1481.67	3.34	0.07
1440.42	3.52	0.25	1444.67	3.45	0.18	1482.67	3.338	0.068
1440.5	3.52	0.25	1445.17	3.445	0.175	1483.67	3.335	0.065
1440.58	3.515	0.245	1445.67	3.44	0.17	1484.67	3.332	0.062
1440.67	3.515	0.245	1446.17	3.44	0.17	1485.67	3.332	0.062
1440.75	3.51	0.24	1446.67	3.435	0.165	1486.67	3.332	0.062
1440.83	3.51	0.24	1447.17	3.43	0.16	1487.67	3.33	0.06
1440.92	3.51	0.24	1447.67	3.43	0.16	1488.67	3.33	0.06
1441	3.505	0.235	1448.17	3.43	0.16	1489.67	3.33	0.06
1441.08	3.5	0.23	1448.67	3.425	0.155	1490.67	3.33	0.06
1441.17	3.5	0.23	1449.17	3.42	0.15	1491.67	3.33	0.06
1441.25	3.5	0.23	1449.67	3.42	0.15	1492.67	3.33	0.06
1441.33	3.5	0.23	1450.17	3.42	0.15	1497.67	3.32	0.05

1441.42	3.495	0.225	1450.67	3.415	0.145	1502.67	3.318	0.048
1441.5	3.495	0.225	1451.17	3.41	0.14	1507.67	3.312	0.042
1441.58	3.49	0.22	1451.67	3.41	0.14	1512.67	3.31	0.04
1441.67	3.49	0.22	1452.17	3.405	0.135	1517.67	3.305	0.035
1441.75	3.49	0.22	1452.67	3.405	0.135	1522.67	3.302	0.032
1441.83	3.485	0.215	1453.17	3.4	0.13	1532.67	3.3	0.03
1441.92	3.485	0.215	1453.67	3.4	0.13	1542.67	3.297	0.027
1442	3.485	0.215	1454.17	3.4	0.13	1552.67	3.295	0.025
1442.08	3.485	0.215	1454.67	3.4	0.13	1562.67	3.285	0.015
1442.17	3.48	0.21	1455.17	3.395	0.125	1572.67	3.285	0.015
1442.25	3.48	0.21	1455.67	3.395	0.125	1582.67	3.28	0.01
1442.33	3.48	0.21	1456.17	3.395	0.125	1592.67	3.278	0.008
1442.42	3.48	0.21	1456.67	3.39	0.12	1602.67	3.275	0.005
1442.5	3.475	0.205	1457.17	3.39	0.12	1612.67	3.272	0.002
1442.58	3.475	0.205	1457.67	3.39	0.12	1622.67	3.271	0.001
1442.67	3.475	0.205	1458.67	3.385	0.115	1632.67	3.27	0
1442.75	3.475	0.205	1459.67	3.38	0.11	1642.67	3.268	-0.002
1442.83	3.47	0.2	1460.67	3.38	0.11	1672.67	3.262	-0.008
1442.92	3.47	0.2	1461.67	3.38	0.11	1702.67	3.26	-0.01
1443	3.47	0.2	1462.67	3.375	0.105	1732.67	3.26	-0.01
1443.08	3.47	0.2	1463.67	3.375	0.105	1762.67	3.255	-0.015
1443.17	3.465	0.195	1464.67	3.37	0.1			
1443.25	3.465	0.195	1465.67	3.37	0.1			

Tabelle 7-30: Auswertung des Pumpversuches

Zeit nach Pumpstop t' [min]	Recovery s-s' [m]	Zeit nach Pumpstop t' [min]	Recovery s-s' [m]	Zeit nach Pumpstop t' [min]	Recovery s-s' [m]
0.08	0.02	4.33	0.175	27.67	0.27
0.17	0.03	4.42	0.175	28.67	0.275
0.25	0.05	4.50	0.18	29.67	0.28
0.33	0.06	4.58	0.18	30.67	0.28
0.42	0.07	4.67	0.18	31.67	0.28
0.50	0.075	4.75	0.18	32.67	0.285
0.58	0.09	4.83	0.18	33.67	0.285
0.67	0.09	4.92	0.18	34.67	0.29
0.75	0.095	5.00	0.185	35.67	0.29
0.83	0.1	5.08	0.185	36.67	0.29
0.92	0.105	5.17	0.185	37.67	0.29
1.00	0.105	5.25	0.19	38.67	0.295
1.08	0.11	5.33	0.19	39.67	0.298
1.17	0.11	5.42	0.19	40.67	0.298
1.25	0.115	5.50	0.19	41.67	0.3
1.33	0.115	5.58	0.19	42.67	0.3
1.42	0.12	5.67	0.19	43.67	0.302
1.50	0.12	6.17	0.195	44.67	0.305
1.58	0.125	6.67	0.2	45.67	0.308
1.67	0.125	7.17	0.2	46.67	0.308
1.75	0.13	7.67	0.205	47.67	0.308
1.83	0.13	8.17	0.21	48.67	0.31
1.92	0.13	8.67	0.21	49.67	0.31
2.00	0.135	9.17	0.21	50.67	0.31
2.08	0.14	9.67	0.215	51.67	0.31

2.17	0.14	10.17	0.22	52.67	0.31
2.25	0.14	10.67	0.22	53.67	0.31
2.33	0.14	11.17	0.22	58.67	0.32
2.42	0.145	11.67	0.225	63.67	0.322
2.50	0.145	12.17	0.23	68.67	0.328
2.58	0.15	12.67	0.23	73.67	0.33
2.67	0.15	13.17	0.235	78.67	0.335
2.75	0.15	13.67	0.235	83.67	0.338
2.83	0.155	14.17	0.24	93.67	0.34
2.92	0.155	14.67	0.24	103.67	0.343
3.00	0.155	15.17	0.24	113.67	0.345
3.08	0.155	15.67	0.24	123.67	0.355
3.17	0.16	16.17	0.245	133.67	0.355
3.25	0.16	16.67	0.245	143.67	0.36
3.33	0.16	17.17	0.245	153.67	0.362
3.42	0.16	17.67	0.25	163.67	0.365
3.50	0.165	18.17	0.25	173.67	0.368
3.58	0.165	18.67	0.25	183.67	0.369
3.67	0.165	19.67	0.255	193.67	0.37
3.75	0.165	20.67	0.26	203.67	0.372
3.83	0.17	21.67	0.26	233.67	0.378
3.92	0.17	22.67	0.26	263.67	0.38
4.00	0.17	23.67	0.265	293.67	0.38
4.08	0.17	24.67	0.265	323.67	0.385
4.17	0.175	25.67	0.27		
4.25	0.175	26.67	0.27		

Tabelle 7-31: chemisch-physikalische Parameter der Wasserproben des Brunnenwassers während des Pumpversuches

Zeit [min]	pH-Wert	E _{Rgem} [mV]	E _{h_{kor}} [mV]	O ₂ [mg/l]	Zeit [min]	pH-Wert	E _{Rgem} [mV]	E _{h_{kor}} [mV]	O ₂ [mg/l]
0	6.5	-6	211	3.5	144	6.6	15	232	0.17
6	6.5	-53	164	0.6	150	6.6	50	267	0.14
10	6.8	-77	140	0.38	180	6.6	14	231	0.18
16	6.9	-75	142	0.3	210	6.6	9	226	0.2
20	6.9	-56	161	0.18	240	6.6	19	236	0.26
26	6.8	-11	206	0.15	270	6.6	42	259	0.22
30	6.8	-12	205	0.14	330	6.6	27	244	0.21
36	6.7	-15	202	0.14	390	6.6	66	283	0.23
40	6.7	-18	199	0.15	450	6.6	72	289	0.28
46	6.7	-20	197	0.2	480	6.6	42	259	0.22
50	6.7	-21	196	0.16	510	6.6	40	257	0.22
56	6.6	44	261	0.16	540	6.6	43	260	0.23
60	6.7	45	262	0.15	570	6.6	49	266	0.22
66	6.6	76	293	0.19	600	6.6	40	257	0.22
70	6.6	n.b.	n.b.	0.2	630	6.6	45	262	0.22
76	6.6	22	239	0.15	690	6.6	55	272	0.22
80	6.6	22	239	0.14	750	6.6	65	282	0.21
89	6.6	25	242	0.15	810	6.6	70	287	0.23
94	6.6	51	268	0.16	870	6.6	60	277	0.11
99	6.6	58	275	0.17	930	6.6	57	274	0.23
104	6.6	61	278	0.17	990	6.6	63	280	0.2
109	6.6	62	279	0.15	1050	6.6	65	282	0.19
114	6.6	63	280	0.16	1110	6.6	60	277	0.36
119	6.6	64	281	0.17	1170	6.6	71	288	0.32
124	6.6	23	240	0.16	1230	6.6	63	280	0.39
129	6.6	15	232	0.17	1290	6.6	69	286	0.29
134	6.6	22	239	0.17	1350	6.6	72	289	0.33
139	6.6	22	239	0.17	1410	6.6	77	294	0.31

Tabelle 7-32: statistische Auswertung der wasserchemischen Untersuchungen (Teil 1)

	P2		P3		P4	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.00
NO ₃ ⁻ [mg/l]	18.5	0.7	11.5	0.7	11.5	0.7
NH ₄ ⁺ [mg/l]	0.05	0.06	0.62	0.50	0.06	0.01
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	52.0	8.5	63.5	12.0	49.0	5.7
Ca ²⁺ [mg/l]	55.5	0.7	60.5	3.5	61.0	2.8
Cl ⁻ [mg/l]	2.2	0.6	2.7	1.1	2.0	0.4
Mg ²⁺ [mg/l]	10.7	1.4	15.6	2.8	10.3	2.1
Na ⁺ [mg/l]	25.1	19.1	8.6	2.1	8.5	0.0
K ⁺ [mg/l]	4.8	1.0	3.5	0.8	3.3	0.4
HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	3.15	0.212	4.05	0.212	4.15	0.354

Tabelle 7-33: statistische Auswertung der wasserchemischen Untersuchungen (Teil 2)

	P5		P7	
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0.05	0.05	0.07	0.00
NO ₃ ⁻ [mg/l]	29.5	4.9	14.5	0.7
NH ₄ ⁺ [mg/l]	0.02	0.01	0.10	0.12
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	62.5	4.9	43.5	9.2
Ca ²⁺ [mg/l]	61.0	0.0	58.0	4.2
Cl ⁻ [mg/l]	1.1	0.0	3.0	1.9
Mg ²⁺ [mg/l]	20.5	2.8	16.6	6.9
Na ⁺ [mg/l]	20.0	1.5	11.9	0.2
K ⁺ [mg/l]	3.8	0.3	4.3	0.1
HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	4.0	0.2	3.9	0.4

Tabelle 7-34: statistische Auswertung der wasserchemischen Untersuchungen (Teil 3)

	P8		P9	
	Mittelwert	Standard-abweichung	Mittelwert	Standard-abweichung
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0.04	0.05	0.04	0.03
NO ₃ ⁻ [mg/l]	11.0	8.5	13.0	1.4
NH ₄ ⁺ [mg/l]	1.29	0.87	0.02	0.01
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	24.0	1.4	54.0	17.0
Ca ²⁺ [mg/l]	34.5	3.5	37.0	7.1
Cl ⁻ [mg/l]	1.4	0.4	1.5	0.1
Mg ²⁺ [mg/l]	20.0	3.5	10.7	4.1
Na ⁺ [mg/l]	keine Doppelbestimmung		2.3	0.0
K ⁺ [mg/l]	keine Doppelbestimmung		3.0	0.6
HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	keine Doppelbestimmung		2.3	0.3

Tabelle 7-35: Ergebnisse Infiltrometersversuch Aue

Q [m ³]	Zeit [s]	k _f -Wert [m/s]	k _f -Wert [m/s]
0,0009	140	2,1E-04	2,1E-04
0,0009	148	2,0E-04	
0,0009	136	2,2E-04	

Tabelle 7-36: Ergebnisse Infiltrometersversuch Wiese

Q [m ³]	Zeit [s]	k _f -Wert [m/s]	k _f -Wert [m/s]
0,0009	270	1,1E-04	0,00009
0,0009	370	8,1E-05	
0,0009	355	8,5E-05	
0,0009	320	9,4E-05	
0,0009	325	9,2E-05	
0,0009	360	8,3E-05	

Tabelle 7-37: Ergebnisse der PHREEQC-Modellierung
TITLE Lucni Kninice Bach (Modellierung Probe 4)

SOLUTION 1

units ppm

temp 15.9

pH 8.2

pe 6.26

Ca 57.7

Mg 17.5

K 2.9

Na 7.1 charge

Alkalinity 256.2 as HCO3

S(6) 55 as SO4

Cl 1.88

N(5) 10.56 as NO3

N(+3) 0.05 as NO2

EQUILIBRIUM_PHASES

O2(g) -0.699

SOLUTION 2

units ppm

temp 16.5

pH 8.3

pe 7.47

Ca 54.5

Mg 11.7

K 5.5

Na 11.6 charge

Alkalinity	201.3	as HCO ₃
S(6)	46	as SO ₄
Cl	1.7	
N(5)	17.6	as NO ₃
N(+3)	0.02	as NO ₂

EQUILIBRIUM_PHASES

O₂(g) -0.699

MIX

1 50

2 50

SAVE SOLUTION 3

END

8 LITERATURVERZEICHNIS

BENDER, F.[Hrsg.] (1981): Angewandte Geowissenschaften, Band 1, Stuttgart: Enke Verlag

BERICHT: HYDROGEOLOGISCHES GELÄNDEPRAKTIKUM (2002): Lehrstuhl für Hydrogeologie, Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg

BERICHT: HYDROGEOLOGISCHES GELÄNDEPRAKTIKUM (1998): Lehrstuhl für Hydrogeologie, Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg

BERICHT: HYDROGEOLOGISCHES GELÄNDEPRAKTIKUM (2001): Lehrstuhl für Hydrogeologie, Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg

BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland [Hrsg.] (1994): KA 4, Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermilcher), 4. Auflage

BREUER, H. (1997): dtv- Atlas zur Chemie, Tafeln und Texte, München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 7. Auflage

DUNGER, V. (1998): Grundlagen der Hydrologie, Freiberg: Vorlesungsskript zur Lehrveranstaltung, 2. Auflage

DUNGER, V. (2000): Hydrologie I für Geoökologen: Vorlesungsscript zur Lehrveranstaltung

DUNGER, V. (2000): Hydrologie II für Geoökologen: Vorlesungsscript zur Lehrveranstaltung

DUNGER, V. (1994): Einführung in die Hydrogeologie Freiberg: Vorlesungsskript zur Vorlesungsreihe

DUNGER, V. (1993): Grundwassererkundung und -erschließung: Vorlesungsskript zur Vorlesungsreihe

DVWG (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. [Hrsg.]) (1995): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser, DVWG Regelwerk, Technische Regel, Arbeitsblatt W 101 Eschborn: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. [Hrsg.]) (1979): Empfehlungen zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 111, Hamburg: Parey

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. [Hrsg.]) (1996): DVWK Schriften, Heft 110, Hydrochemische Stoffsysteme, Teil 1

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. [Hrsg.]) (1999): DVWK Schriften, Heft 125, Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit, Bonn: Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser

DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie, Berlin: Verlag für Bauwesen, 3. Auflage

GEOLOGISCHES JAHRBUCH: Bundessanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland [Hrsg.] (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung, Hannover, E Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

GEOLOGISCHE KARTE: Ustredni ustav geologicky [Hrsg.] (1990): Geologicka Mapa CR, List 02-41, Usti nad Labem, 1 : 50 000

HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte

- Hydrogeologie, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 5. Auflage
- HÜTTER, L. A (1994): Wasser und Wasseruntersuchungen, Frankfurt a. M.: Otto Salle Verlag, 6. Auflage
- HYDROGEOLOGISCHE KARTE: CESKY GEOLOGICKY USTAV [Hrsg.] (1991): Hydrogeologicka Mapa CR, List 02-41, Usti nad Labem, 1 :50 000
- INGENIEURGEOLOGISCHE KARTE: Ustredni ustav geologicky [Hrsg.] (1990): Mapa Inzenyrskogeologickeho, Rajonovani CR, List 02-41, Usti nad Labem, 1 : 50 000
- JANDER, G. & BLASIUS, E. (1995): Einführung in das anorganisch - chemische Praktikum, Stuttgart, Hirzel Verlag
- JORDAN, H. & WEDER, H.-J. (1995): Hydrogeologie: Grundlagen und Methoden; regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 2. Auflage
- LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R. (1980): Hydrogeologische Methoden, Heidelberg: Springer Verlag
- MERKEL, B. & PLANER-FRIEDRICH, B.(2001): Vorlesung Grundwasserbeschaffenheit, : Vorlesungsskript zur Lehrveranstaltung, Freiberg
- MERKEL, B & PLANER- FRIEDRICH, B (2002): Grundwasserchemie, Berlin Heidelberg: Springer Verlag
- MERKEL, B: Hydrogeologie III, Script zur Vorlesung, Freiberg
- MERKEL, B. & PLANER-FRIEDRICH, B.(2001): Blockkurs GeoInformationsSysteme in der Umwelt- und Hydrogeologie, Skript zum Kurs, Freiberg
- MÜLLER, T. (1999): Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie, Deutsch Englisch, Berlin Heidelberg: Springer Verlag

RÖTTIG, P. (2002): Hydrogeologický průzkum pro zajištění podzemní vody jako zdroje geotermální energie. Bresno.

VOIGT, H.-J. (1990) : Hydrogeochemie, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie

9 COMPUTERPROGRAMME

ADOBE PHOTOSHOP 4.0. Version D1-4.0.1. Copyright 1989-1996 Adobe Systems, Incorporated.

COREL DRAW8. Version 8.369. Copyright 1988-1998 Corel Corporation.

CORELPHOTO-PAINT. Version 8.369. Copyright 1988-1998 Corel Corporation

EROSION 2D. Version

MICROSOFT OFFICE 95. bis MICROSOFT OFFICE 2000, Copyright 1983-1997 Microsoft Corporation

PHREEQC FOR WINDOWS. Version 1.5.01. A hydrogeochemical transport model by D. L. Parkhurst and C. A. J. Appelo. Graphical user interface by V.E.A.Post.

TNTlite 6.6. Copyright 1988-2001 MicroImages, Inc.