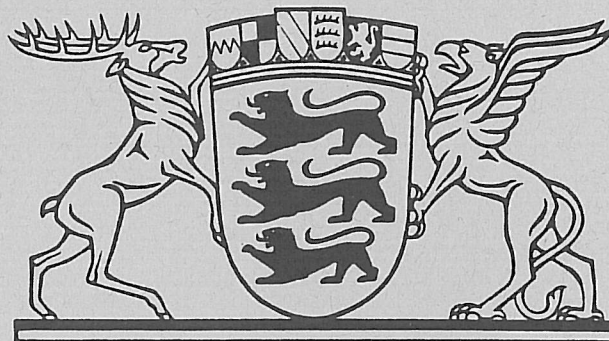


Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Klettgau

Erläuterungen

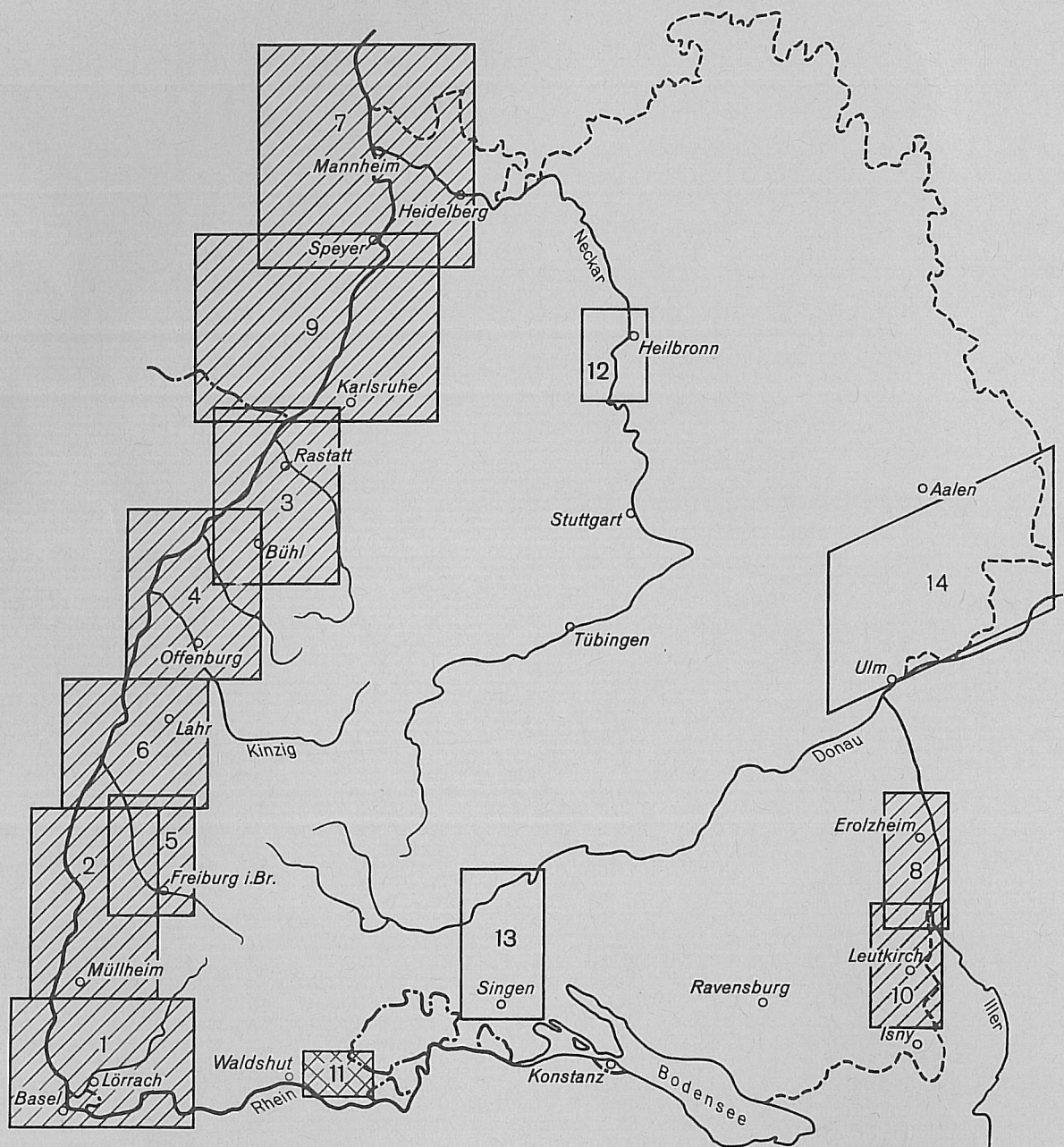


Hergestellt vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Br.,
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
und dem Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Waldshut.

Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

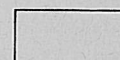
mit Erläuterungen (Erscheinungsjahr)



bisher erschienen



neu



in Bearbeitung

- 0 Grundwasserlandschaften (1985)
- 1 Dinkelberg-Hochrhein (1975)
- 2 Kaiserstuhl-Markgräflerland (1978)
- 3 Raum Rastatt (1978)
- 4 Buhl-Offenburg (1979)
- 5 Freiburger Bucht (1979)

- 6 Raum Lahr (1979)
- 7 Rhein-Neckar-Raum
- Stufe 1 (1978)
- Stufe 2 (1987)
- 8 Erolzheimer Feld (1979)
- 9 Karlsruhe-Speyer (1988)

- 10 Leutkircher Heide (1990)
- 11 Klettgau (1992)
- 12 Heilbronner Mulde
- 13 Singener Kiesfeld/Aachgebiet
- 14 Ostalb
- 15 Tiefe Trinkwasserstockwerke im Molassebecken

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Klettgau

Erläuterungen

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br.
Bearbeiter: E. KÜHNLE-BAIKER, H. PLUM

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg ,
Karlsruhe
Bearbeiter: Th. GUDERA

Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz, Waldshut
Bearbeiter: W. PABST, K. J. SPRAUER, H. STRAUB

1992

© Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz
Freiburg, Karlsruhe, Waldshut 1992

Redaktion: D. H. STORCH

Satz, Gestaltung: H. MERKT

Druck: Kartographisches Institut H. FUCHS
7290 Leonberg

Vertrieb: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
Albertstraße 5, D-7800 Freiburg i. Br.
☎ 0761/204-4430, Fax 0761/204-4438

Oktober 1992

VORWORT

Die Hydrogeologische Kartierung des Landes Baden-Württemberg hat zur Aufgabe, alle bekannten hydrogeologischen, hydrologischen und hydrochemischen Fakten sowie die Ergebnisse diesbezüglicher Spezialuntersuchungen zusammenzufassen und den aktuellen Kenntnisstand darzustellen. Sie ist zugleich Teil der geowissenschaftlichen Landesaufnahme. Die Hydrogeologische Kartierung erfaßt bisher schwerpunktmäßig Gebiete mit großen Grundwasservorkommen, die für die Trinkwasserversorgung des Landes besonders bedeutsam sind. Sie ist eine Gemeinschaftsarbeit von Hydrogeologen, Hydrologen und Ingenieuren.

Die Hydrogeologischen Karten (HGK) umfassen jeweils mehrere Einzelkarten unterschiedlicher Themenstellung, hydrogeologische Schnitte, Ergebnisse mathematischer Grundwassermodelechnungen und ein Erläuterungsheft. Sie werden gemeinsam vom Geologischen Landesamt und von der Landesanstalt für Umweltschutz bis zur Druckreife bearbeitet und vom Wirtschaftsministerium sowie vom Umweltministerium Baden-Württemberg herausgegeben. An der Bearbeitung der HGK Klettgau war zudem das Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut maßgeblich beteiligt.

Die Gemeinden Dettighofen, Eggingen, Hohentengen, Klettgau, Küssaberg, Lauchringen, Ühlingen-Birkendorf und Wutöschingen sowie die Stadt Waldshut-Tiengen unterstützten dankenswerterweise die Untersuchungen für die HGK Klettgau finanziell.

Besonderer Dank gilt den Schweizer Behörden, die umfangreiches Datenmaterial für die HGK Klettgau zur Verfügung stellten.

Die Hydrogeologischen Karten sind zu einer gefragten und bewährten Arbeits- und Planungsgrundlage für alle auf dem Grundwassersektor Tätigen geworden. Sie bilden die Basis für eine planvolle und naturverträgliche Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen des Landes und dienen damit der Sicherung der Wasserversorgung und dem Grundwasserschutz.

Präsident der Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg



Dr. A. Kiess

Präsident des Geologischen Landesamts
Baden-Württemberg



Dr. H. Schneider

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Klettgau

Inhalt

	Seite
Verzeichnis der Karten	7
Verzeichnis der Abbildungen	7
Verzeichnis der Tabellen	9
1 Vorbemerkungen	11
2 Untersuchungsgebiet	11
2.1 Lage und naturräumliche Gliederung	11
2.2 Flächennutzung	14
3 Geologie	14
3.1 Einführung	14
3.2 Geologische Geschichte der Klettgaurinne	15
3.3 Struktur der quartären Rinne	16
3.4 Aufbau der Rinnenfüllung	18
3.5 Präquartärer Untergrund	18
3.6 Überdeckung	21
4 Hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters	22
4.1 Pumpversuche in der Klettgaurinne	22
4.1.1 Pumpversuch Hardtwald	22
4.1.2 Pumpversuch Eichwald	23
4.2 Markierungsversuch Klettgau-Grießen	24
4.3 Kennwerte des Grundwasserleiters	26
4.3.1 Transmissivität	26
4.3.2 Durchlässigkeit	27
4.3.3 Porenvolumen	28
4.4 Brunnenergiebigkeit	29
5 Hydrologie	29
5.1 Hydrologisches Meßnetz	29
5.1.1 Niederschlags- und Klimastationen	29
5.1.2 Grundwassermeßstellen und Quellen	29
5.1.3 Pegel an oberirdischen Gewässern	30
5.2 Klima	30

	Seite
5.3 Oberirdische Gewässer	31
5.3.1 Wutach	31
5.3.2 Klingengraben	32
5.3.3 Schwarzbach	32
5.3.4 Seegraben	33
5.3.5 Kotbach	33
5.4 Grundwasser	33
5.4.1 Grundwasseroberfläche	33
5.4.2 Schwankungen der Grundwasseroberfläche	33
5.4.3 Grundwassermächtigkeit	40
5.4.4 Grundwasserflurabstände	40
5.5 Grundwasserentnahmen	41
5.6 Grundwasserhaushalt	42
5.6.1 Einzugsgebiet	43
5.6.2 Abfluß	43
5.6.3 Grundwasserneubildung	45
5.6.4 Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne	46
5.6.5 Bilanz	47
6 Grundwasserbeschaffenheit	48
6.1 Allgemeine chemische Charakteristik	49
6.2 Grundwassertemperatur	50
6.3 Gesamtlösungsinhalt, elektrische Leitfähigkeit	51
6.4 Kalzium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, pH-Wert	51
6.5 Sulfat	52
6.6 Gesamthärte, Karbonathärte, Nichtkarbonathärte	52
6.7 Redoxverhältnisse, Eisen, Mangan	52
6.8 Natrium, Kalium, Chlorid	53
6.9 Nitrat, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel	54
6.10 Kohlenwasserstoffe, leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe	55
7 Isotope des Wassers	56
7.1 Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O)	56
7.2 Tritium (^3H)	58
8 Biologischer Gütezustand der Fließgewässer	60
9 Mathematisches Grundwassermodell Klettgau	61
9.1 Aufbau und Arbeitsweise	61
9.2 Eingangskenngrößen, Modellkalibrierung und Grundwasserbilanz	61
9.3 Einsatzmöglichkeiten	63
10 Zusammenfassung und Folgerungen	65
10.1 Untersuchungsgebiet	65

	Seite
10.2 Geologie	65
10.3 Hydrogeologie	65
10.4 Oberirdische Gewässer	66
10.5 Grundwasserbeschaffenheit	66
10.6 Grundwassermodell	67
10.7 Folgerungen für die Grundwassernutzung	67
11 Literatur	68
12 Anhang	70
12.1 Bohrdatei	70
12.2 Quellendatei	80
12.3 Datei der Probenahmepunkte an oberirdischen Gewässern	81
12.4 Chemiedatei	82

Verzeichnis der Karten

I	Hydrologische Grundkarte
II	Hydrogeologische Grundkarte
III	Abgedeckte geologische Karte und Quartärbasis
IVa	Hydrogeologischer Längsschnitt
IV b	Hydrogeologische Querschnitte
V	Karte der Grundwasseroberfläche
VI	Karte der Grundwassermächtigkeit mit Durchlässigkeitsbeiwerten
VII	Karte der Grundwasserflurabstände
VIII	Karte zur Grundwasserbilanz
IX	Karte der Grundwasserbeschaffenheit elektrische Leitfähigkeit, Sulfat, Gesamthärte, Karbonathärte
X	Karte der Grundwasserbeschaffenheit Chlorid, Nitrat, Tetrachlorethen, Tritium
XI	Karte der Grundwassergefährdung

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Lage und morphologische Übersicht über den Klettgau. Aus BAUSCH (1988)	12
Abb. 2:	Geologische Übersicht über das Gebiet des Hochrheins zwischen Waldshut und Schaffhausen. Ergänzt nach BAUSCH (1988)	13
Abb. 3:	Lage der geophysikalischen Meßprofile und der geophysikalisch vermessenen Bohrungen	17
Abb. 4:	Geologisches Profil, gamma-Log und Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen der Erkundungsbohrung KB 3 (165 273)	19
Abb. 5:	Kornverteilungskurven für Proben der Erkundungsbohrung KB 3 (165 273); Entnahmetiefe: Pr. 7: 30,0 – 30,2 m; Pr. 9: 32,0 – 32,2 m; Pr. 12: 41,7 – 41,8 m; Pr. 14: 46,3 – 46,5 m; Pr. 16: 52,3 – 52,4 m; die Kornverteilungskurven der	

übrigen 10 Proben zwischen 3,0 und 52,4 m liegen im schraffierten Bereich (für die Entnahmetiefen vergl. Abb. 4)	20
Abb. 6: Kornverteilungskurven der rißeiszeitlichen Seesedimente (Pr. 1, 2, 3 und 4) und des Kiesverwitterungslehms (Pr. 5, 6 und 7); Herkunft der Proben: Pr. 1: B 4 (166 273) 6 – 7 m; Pr. 2: B 8 (168 273) 9 – 10 m; Pr. 3: B 4 (166 273) 13 – 14 m; Pr. 4: B 7 (164 273) 5 – 6 m; Pr. 5: KB 3 (165 273) 0,5 – 0,6 m; Pr. 6: B 2 (170 273) 2 – 3 m; Pr. 7: B 5 (167 273) 0,0 – 1,0 m	21
Abb. 7: Pumpversuch im TB Eichwald (243 223); Lageplan des Meßstellennetzes und doppelt- logarithmische Zeit-Absenkungs-Kurven; Auswertung mittels Typkurven nach BOULTON; Einfluß der Wutach als Anreicherungsgränze nach ca. 50 bis 100 h Pumpzeit	24
Abb. 8: Markierungsversuch Klettgau-Grießen; Lageplan des Versuchsfelds und Farbdurchgangskurve der Meßstelle 210 273; Auswertung mittels Typkurve	25
Abb. 9: Transmissivitäten und Durchlässigkeitsbeiwerte; Ergebnisse der Auswertung von Pumpversuchen in der Klettgaurinne, im unteren Wutachtal und im unteren Schlüchtal ..	27
Abb. 10: Leistungscharakteristiken der Brunnen in der Klettgaurinne und im unteren Wutachtal	28
Abb. 11: Jahresniederschläge an der Klimastation Hallau für den Zeitraum 1941 – 1989; Mittelwerte für den Zeitraum 1941 – 1989 und 1975 – 1989 (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)	31
Abb. 12: Langfristige Grundwasserstandsganglinien ausgewählter Meßstellen und Brunnen aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)	34
Abb. 13: Summenlinie der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag minus potentielle Evapotranspiration) und deren Abweichung vom 15jährigen Mittel; Daten der Klimastation Hallau	36
Abb. 14: Grundwasserstandsganglinie des TB Trasadingen (CH) und Abweichungen von den 15jährigen Monatsmittelwerten (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)	36
Abb. 15: Monatliche Mittelwerte des Niederschlags, der klimatischen Wasserbilanz (P-ETP) der Klimastation Hallau und des Grundwasserstands im TB Trasadingen (CH) für den Zeitraum 1975 – 1989	37
Abb. 16: Grundwasserstandsganglinien von Grundwassermeßstellen im deutschen Teil der Klettgaurinne östlich der Einmündung des Wutachtals (vergl. Karte I)	38
Abb. 17: Grundwasserstandsganglinien von Grundwassermeßstellen im deutschen Teil der Klettgaurinne westlich der Einmündung des Wutachtals (vergl. Karte I)	39
Abb. 18: Komponenten der Wasserbilanz in der Klettgaurinne, schematisch	42
Abb. 19: Abflußganglinien für die Pegel Kotbach (Oberlauchringen) und Klingengraben (Oberlauchringen); Beobachtungszeitraum Feb. 1989 – Feb. 1990	44
Abb. 20: Piper-Diagramm mit den Wasseranalysen aus der Klettgaurinne; relative Verteilung der Massenionen; Werte der Stichtagsbeprobung Juli 1987	48
Abb. 21: Ganglinien der Grundwassertemperatur in ausgewählten Grundwassermeßstellen, der Temperatur der Wutach sowie der Lufttemperatur (Klimastation Hallau)	50

Abb. 22: Ganglinien der elektrischen Leitfähigkeit ausgewählter Grundwassermeßstellen sowie der Wutach	51
Abb. 23: Konzentration von Natrium und Kalium in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration; Grundwässer aus der Klettgaurinne und Quellwässer aus den angrenzenden Hochgebieten	53
Abb. 24: Ganglinien der Nitratkonzentrationen ausgewählter Brunnen aus dem Kartiergebiet	54
Abb. 25: Ganglinien der Nitratkonzentrationen ausgewählter Brunnen aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne	55
Abb. 26: $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ -Diagramm; Grundwässer, Quellwässer und oberirdische Gewässer aus der Klettgaurinne und den angrenzenden Gebieten; Stichtagsbeprobung April 1987; Labor Hydroisotop, Attenkirchen	57
Abb. 27: Ganglinien der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für die Wutach und ausgewählte Grundwassermeßstellen ...	58
Abb. 28: Aufbau des Grundwassermodells Klettgau und stationär berechnete Potentialverteilung für Eichbedingungen (Ergebnisse der Stichtagsmessung vom 6.11.89)	62

Verzeichnis der Tabellen:

Tab. 1: Grundwasserleiterkennwerte für den Pumpversuch im Tiefbrunnen Hardtwald (36 273) vom 28.2. – 11.3.1987	23
Tab. 2: Grundwasserleiterkennwerte für den Pumpversuch im Tiefbrunnen Eichwald, Wutöschingen (243 223) vom 8.3. – 22.3.1983	23
Tab. 3: Ergebnisse des Markierungsversuchs Klettgau-Grießen vom 9.2.1989	26
Tab. 4: Übersicht über die Ergebnisse der Auswertung von Pumpversuchen in der Klettgaurinne .	26
Tab. 5: Übersicht über die Fassungen und Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet im Jahr 1989; Entnahmen für private Nutzung ab 10 000 m ³	41
Tab. 6: Größe der oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete im Bilanzgebiet; für die Lage der Profilschnitte vergl. Karte VIII	43
Tab. 7: Ergebnisse der Abflußmessungen im Kotbach und Klingengraben im Zeitraum Feb. 1989 – Feb. 1990	45
Tab. 8: Ergebnisse der Bilanzierung der aktuellen Evapotranspiration nach HAUDE und RENGIER für die meteorologischen Daten der Klimastationen Waldshut, Wutöschingen und Hallau; Bilanzzeitraum 1975 – 1989	46
Tab. 9: Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne auf fünf ausgewählten Profilen (Karte VIII); durchströmte Fläche F und hydraulisches Gefälle i für mittlere Grundwasserstände (1975 – 1989)	47
Tab. 10: Wasserbilanz für die Klettgaurinne für den Zeitraum 1975 – 1989; für die Lage der Profilschnitte vergl. Karte VIII, für die Abkürzungen Abb. 18 sowie Kap. 5.6.5	47
Tab. 11: Statistische Übersicht über die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen; Stichtagsbeprobungen Juli 1987 und November 1989; Grundwasserproben aus der Klettgaurinne; Analytik: Geologisches Landesamt (Proben Juli 1987) und Chemisches Labor Heppeler, Lörrach (Proben Nov. 1989)	49

Tab. 12:	Arithmetrische Mittel der $\delta^{2}\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für Grundwasser-, Quellwasser- und Oberflächenwasserproben aus der Klettgaurinne und den angrenzenden Gebieten; Stichtagsmessungen Juli 1987 und April 1988; Grundwasserproben getrennt nach Lage auf TK 8315 und TK 8316; Labor Hydroisotop, Attenkirchen	56
Tab. 13:	Statistische Übersicht über die Ergebnisse der ^3H -Bestimmungen an Grundwasser-, Quellwasser- und Fließgewässerproben; Angaben in T.U.; Stichtagsmessung Juli 1987 incl. Nachbeprobungen; Labor Hydroisotop, Attenkirchen	59
Tab. 14:	Grundwasserbilanz für das gesamte Kartiergebiet; Stichtag 6.11.1989; Ergebnis der Modellkalibrierung; die Modellgrenzen stimmen nicht mit den Grenzen des Bilanzgebiets in Kap. 5.6.5 überein.	63

1 Vorbemerkungen

Die Hydrogeologische Kartierung Klettgau begann 1986 mit dem Ziel, für den deutschen Teil der Klettgaurinne eine zusammenfassende Übersicht zu erarbeiten. Das Untersuchungsgebiet war zu Beginn auf den östlichen Teil des Klettgaus beschränkt, wurde jedoch im Verlauf der Bearbeitung nach Westen bis zur Einmündung der Klettgaurinne in das heutige Rheintal ausgedehnt. Dies führte dazu, daß der westliche Teil nicht mit der gleichen Intensität untersucht werden konnte wie der wasserwirtschaftlich bedeutsamere östliche Teil.

Obwohl eine erste Sichtung der vorhandenen Unterlagen eine große Anzahl von Aufschlüssen und Meßdaten zu Tage förderte, erwies sich die räumliche und zeitliche Verteilung als sehr heterogen, so daß zur Ergänzung und Verdichtung der Informationen ein zusätzliches Untersuchungsprogramm erforderlich war. Den Ausgangspunkt für alle weiteren Untersuchungen bildeten geoelektrische Tiefensondierungen, die 1986 durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung in Ergänzung zu früheren Messungen durchgeführt wurden. Auf der Grundlage der daraus resultierenden Ergebnisse wurden 13 neue Grundwassermeßstellen und ein Testbrunnen errichtet. Diese und weitere 6 bereits vorhandene Bohraufschlüsse wurden geophysikalisch vermessen.

Zur Ermittlung der Grundwasserleiterkennwerte wurden Pumpversuche in den bereits bestehenden Brunnen Rechberg, Maidlewag und Bechtel & Szilagyi sowie im neuen Testbrunnen KB 3 durchgeführt, ferner ein Markierungsversuch im Testfeld bei KB 3. Auskunft über die Lage der Grundwasseroberfläche lieferten mehrere Stichtagsmessungen. Für die Beurteilung der zeitlichen Schwankungen der Grund-

wasseroberfläche liegen langjährige Meßreihen aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne vor. Weiterhin wurde die chemische und isotonenphysikalische Beschaffenheit des Grundwassers in der Klettgaurinne durch Stichtagsbeprobungen und zeitlich gestaffelte Probennahmen untersucht.

Die hydrogeologische Auswertung der Daten erfolgte durch Herrn Dipl.-Geol. E. KÜHNLE-BAIKER im Rahmen einer Dissertation (KÜHNLE-BAIKER 1992). Die Arbeiten wurden fachlich durch das Geologische Landesamt betreut.

Die bei der Auswertung des umfangreichen Datenmaterials gewonnenen Ergebnisse wurden in einem Grundwassermodell zusammengeführt. Die Modellarbeiten hat die Landesanstalt für Umweltschutz betreut.

Besonders hilfreich bei der Bearbeitung waren Kontakte zu den Behörden der Schweiz, die in großzügiger Weise eigene Meßdaten für eine Auswertung zur Verfügung stellten. Diese Zusammenarbeit führte auf Anregung des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut 1989 zur Gründung der Deutsch-Schweizerischen Raumordnungskommission, in der grenzüberschreitende wasserwirtschaftliche Fragen diskutiert und Lösungsmöglichkeiten gesucht werden.

Der Bedarf an gesicherten Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Planung kommt auch durch die starke finanzielle Beteiligung der Gemeinden Dettighofen, Eggingen, Hohentengen, Klettgau, Küssaberg, Lauchringen, Ühlingen-Birkendorf und Wutöschingen sowie der Stadt Waldshut-Tiengen an dem durchgeführten Untersuchungsprogramm zum Ausdruck.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und naturräumliche Gliederung

Zwischen dem Randen im Norden, dem südwestlichen Ausläufer der Schwäbischen Alb, und dem Schweizer bzw. Aargauer Jura im Süden erstreckt sich die Klettgaurinne vom Durchbruch der Engi westlich Schaffhausen bis nach Lauchringen, wo sie

sich mit dem Wutachtal vereinigt und schließlich bei Waldshut-Tiengen in das heutige Rheintal einmündet (Abb. 1).

Die Herkunft der Bezeichnung „Klettgau“ ist unsicher. So wird einerseits eine Ableitung von der römischen Bezeichnung „latobrigum altum“ für die Landschaft nördlich des Rheins bis zum Schwarzwaldrand angenommen, aus der „Klacobrigum“ und später „Klec-göw“ entstanden sein soll. Nach einer anderen Deu-

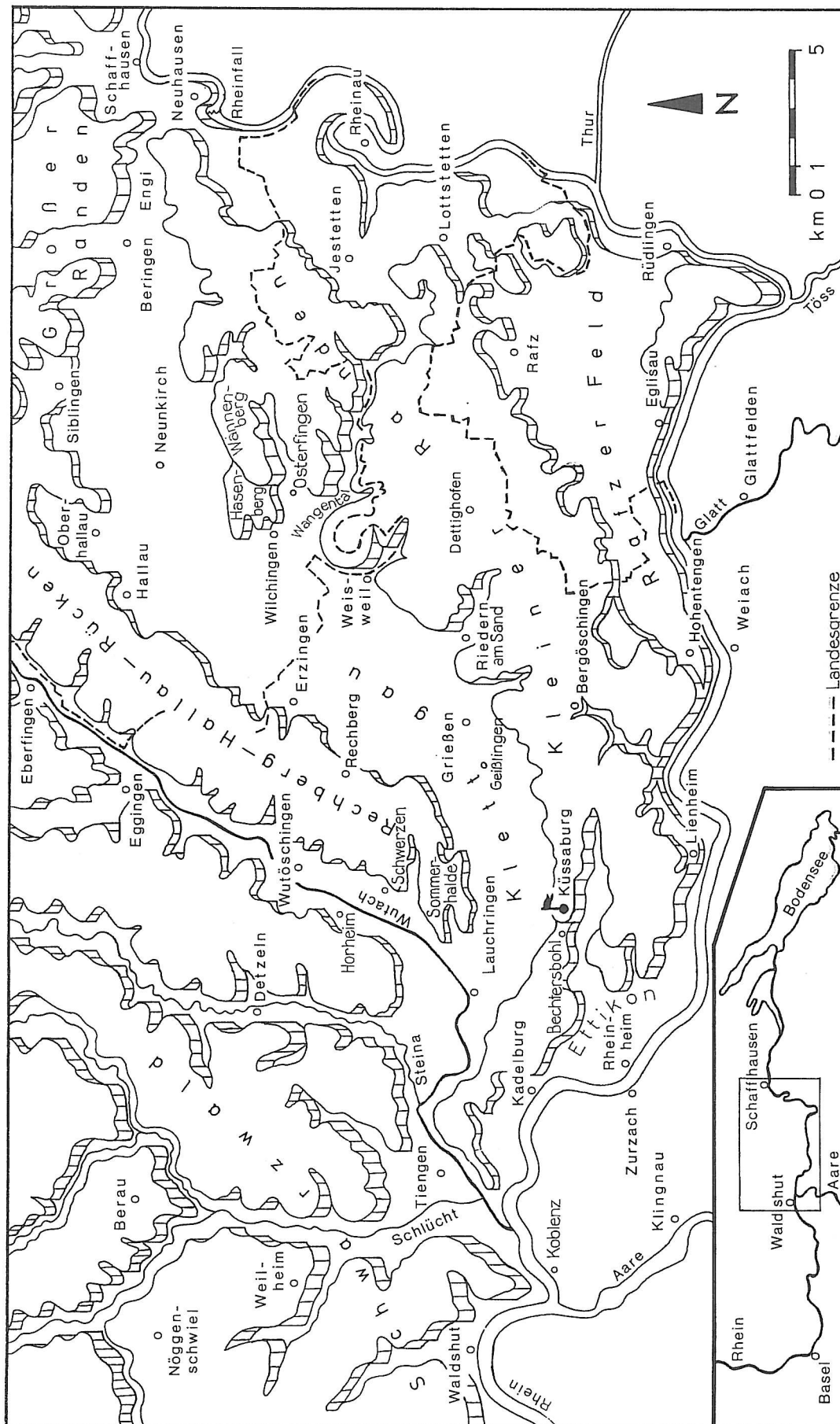


Abb. 1: Lage und morphologische Übersicht über den Klettgau. Aus BAUSCH (1988)

tung stammt der Name von dem keltischen Wort „Chlat“ für Ufer, wobei „Chlatgau“ das am Ufer des Rheins gelegene Land bezeichnet.

Die Klettgaurinne nimmt den größten Teil des Klettgaus ein. Es handelt sich um eine große, pleistozäne Schmelzwasserrinne, die mit Schottern verfüllt und in der ausgehenden Rißeiszeit vom Rhein verlassen wurde. Das Grundwasservorkommen im deutschen Teil der Klettgaurinne ist Gegenstand der vorliegenden Karte.

Von Schaffhausen aus verläuft die Klettgaurinne nach Westen, biegt bei Neunkirch nach Südwesten um und schwenkt bei Geißlingen wieder in die westliche Richtung ein. Die größte Breite erreicht das Tal mit rd. 3 km im Abschnitt zwischen Hallau und Erzingen, die gesamte Länge beträgt rd. 33 km. Im mittleren und östlichen Teil ist die Rinne morphologisch durch einen Rücken aus rißeiszeitlichen Seesedimenten zweigeteilt, der sich rd. 25 m über das Talniveau erhebt.

Nach Norden wird die Klettgaurinne vom Rechberg-Hallau-Rücken begrenzt, der aus Gesteinen des Oberen Muschelkalks, des Keupers sowie des Schwarzen und Braunen Juras aufgebaut wird. Nach Südwesten taucht der Rechberg-Hallau-Rücken unter lehmbedeckte mindel- und rißeiszeitliche Schotter ab.

Im Süden und Südwesten begleitet der Kleine Rand die Klettgaurinne. Dieser am Wannenberg südlich Geißlingen bis 690 m hohe Bergrücken bildet eine zum Rhein hin geneigte Hochfläche, aufgebaut aus Weißjurakalken, die teilweise von tertiären und quartären Ablagerungen bedeckt sind. Gequert wird der Kleine Rand von zwei kleinen pleistozänen Schmelzwasserrinnen, dem Wangental zwischen Osterfingen und Jestetten sowie dem Schwarzbachtal östlich Griesen, die beide in die Klettgaurinne einmünden (vergl. Karte I).

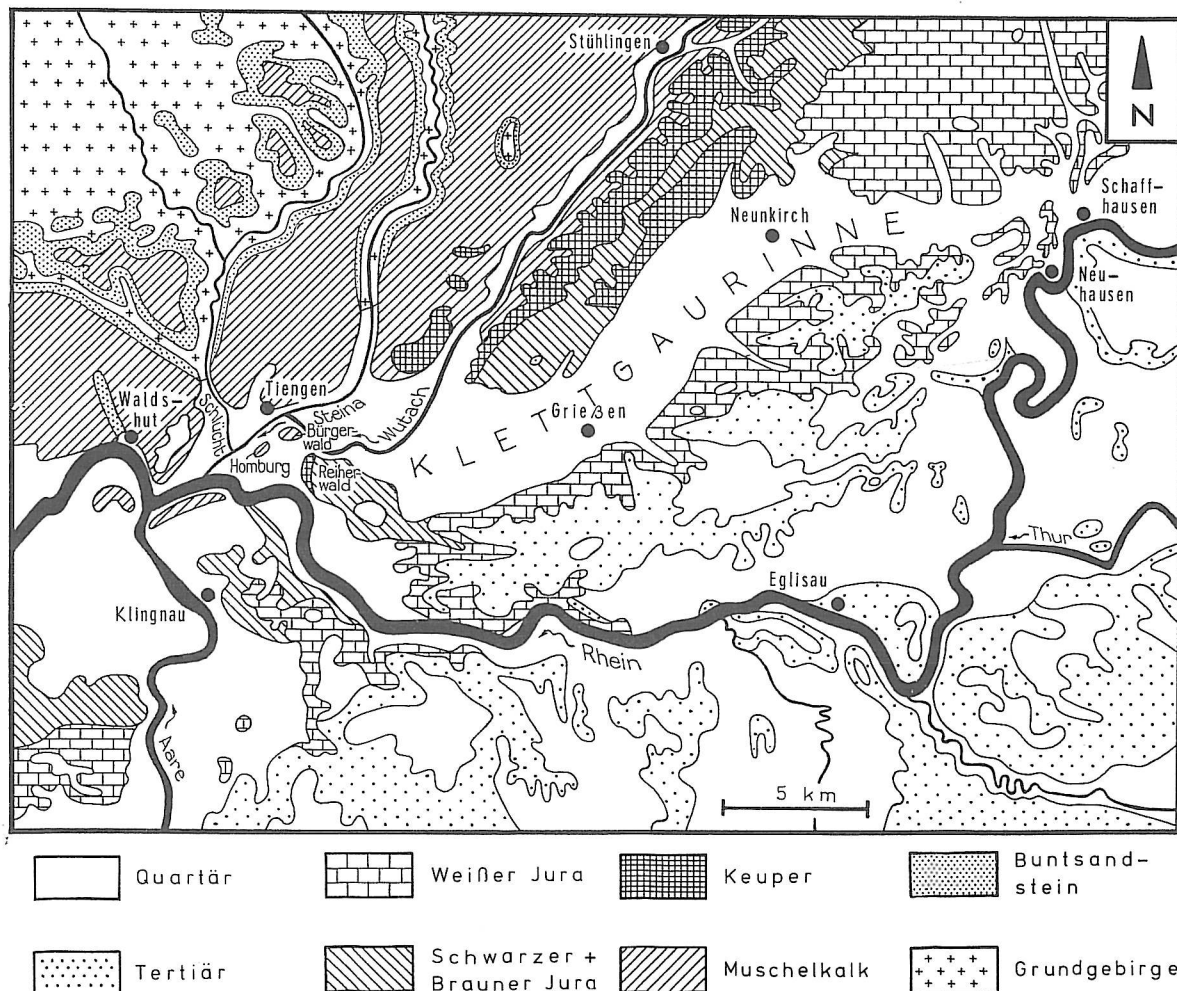


Abb. 2: Geologische Übersicht über das Gebiet des Hochrheins zwischen Waldshut und Schaffhausen. Ergänzt nach BAUSCH (1988)

Auf der Höhe von Lauchringen vereinigen sich Klettgaurinne und Wutachrinne. Das Grundgebirge des Schwarzwalds wird auf seiner Südostabdachung von Gesteinen des Buntsandsteins, des Muschelkalks und stellenweise des Keupers überlagert, in die sich die Täler von Wutach, Schlücht und Steina tief eingeschnitten haben. Nach Südwesten steht die Klettgaurinne hydrogeologisch mit dem Gebiet Ettikon/Kadelburg in Verbindung, einer von jungquartären Schottern bedeckten Ebene, die durch die Terrassen des Rheins gegliedert ist. Morphologische Erhebungen bilden die Muschelkalkfelsen des Bürgerwalds und des Homburgs, die aus den quartären Ablagerungen herausragen (Karte II).

Die die Klettgaurinne oberirdisch entwässernden Bäche, Klingengraben, Seegraben und Schwarzbach sind nur noch kümmerliche Überreste des einstmals mächtigen Schmelzwasserstroms im Vorland der Alpenglotscher.

Die höchste Erhebung im deutschen Teil der Klettgaurinne bildet mit 442,5 m ü.NN der Hüller bei Weisweil, dessen geologischer Aufbau bisher nicht geklärt ist. Im Bereich des Höhenzugs im zentralen Teil der Klettgaurinne liegt die höchste Erhebung im Hardtwald bei 430 m ü.NN. Die Talsohle des Klettgaus fällt von 405 m ü.NN auf Höhe der Deutsch-Schweizer Grenze bis auf rd. 315 m ü.NN im Bereich der Wutachmündung ab.

2.2 Flächennutzung

Die Klettgaurinne wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Die Bewirtschaftung reicht in der Regel bis an die bewaldeten Talflanken heran. Insgesamt zeigt die Verteilung der Bodennutzung heute noch ein für den Grundwasserschutz relativ günstiges Bild:

- 35 % Wald
- 30 % Grünland
- 25 % Ackerland
- 10 % Baugebiete, Straßen u.a.

Die Waldgebiete befinden sich – abgesehen von einigen kleinen Teilstücken – im wesentlichen an den

steilen Talflanken am Nord- und Südrand des Untersuchungsgebiets und auf einem kleinen Höhenrückengebiet zwischen Erzingen und Weisweil. Die landwirtschaftliche Nutzfläche teilt sich etwa hälftig auf in Ackerland und Dauergrünland, wobei beim Ackerbau Getreide und Mais dominieren. Im Norden von Erzingen liegt ein relativ kleines, geschlossenes Weinbaugebiet. Die Böden sind mittelschwer und neigen besonders am Nordrand des Untersuchungsgebiets zu Staunässe.

Wegen der überwiegend großen Grundwasserflurabstände findet man im Klettgau nahezu keine Feuchtgebiete. Lediglich nördlich von Weisweil sind in einer langgestreckten Senke Feuchtwiesen entstanden, die bei Hochwasser vom Seegraben überflutet werden. In früheren Zeiten gab es auch am Fuß des nördlichen Talhangs etwa zwischen Rechberg und Bahnhof Grießen Feuchtwiesen. Heute werden diese Gebiete durch Drainagesysteme entwässert.

Westlich Geißlingen wird auf einer Fläche von ca. 100 ha Kies trocken abgebaut. Im schweizerischen Teil der Klettgaurinne wird der Kiesabbau wesentlich intensiver betrieben. Dort sind ca. 10 Kiesgruben unterschiedlicher Größe in Betrieb.

Wohnsiedlungen, Gewerbe- und Industriegebiete nehmen einen geringen Teil der eigentlichen Klettgaurinne in Anspruch. Dazu gehören u.a. die Ortschaften Erzingen, Weisweil, Grießen und Geißlingen, die zusammen mit drei weiteren Teilorten die Gemeinde Klettgau bilden. Größere Wohn- und Gewerbegebiete befinden sich hingegen im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets im Bereich der Gemeinden Lauchringen und Waldshut-Tiengen, wo annähernd die gesamte Talniederung besiedelt bzw. gewerblich genutzt ist.

Der Straßenverkehr belastet den Siedlungsraum Waldshut-Tiengen/Lauchringen überwiegend als Durchgangsverkehr erheblich. In Lauchringen teilt sich der Verkehrsstrom, einerseits zur B 314 und A 81 Richtung Stuttgart und andererseits zur B 34 Richtung Schaffhausen/Zürich. Zielkonflikte zeichnen sich zwischen der geplanten Autobahn A 98 und den Forderungen des Grundwasserschutzes für zukünftige Grundwassergewinnungen in der Klettgaurinne ab.

3 Geologie

3.1 Einführung

Die systematische Erarbeitung der geologischen Grundlagen im Bereich der Klettgaurinne erfolgte zu

Beginn des 20. Jahrhunderts, als SCHALCH erstmals einen großen Teil von Südost-Baden im Maßstab 1:25 000 kartierte (1912, 1916, 1921, 1922). Eine neuere Bearbeitung der Geologischen Karte

1:25 000 Blatt Klettgau erfolgte durch BAUSCH (1988) und SCHÖBER (1989). Darüber hinaus liegen Übersichtskartierungen im Maßstab 1:50 000 von HANTKE et al. (1967) und im Maßstab 1:100 000 von MÜLLER et al. (1984) vor. Publikationen zur Beschreibung und Gliederung des Quartärs im Klettgau stammen u.a. von FREI (1912), ERB (1936), SCHREINER (1968, 1974) und VERDERBER (1992). Die Flußgeschichte des Hochrheins und der Schwarzwaldflüsse ist eingehend in LINIGER (1966), PAUL (1971) und VILLINGER (1986, 1989) beschrieben. Weiterführende Literatur ist den genannten Arbeiten zu entnehmen.

Parallel zur Erforschung der Geologie erfolgte die Erkundung des Grundwassers in der Klettgaurinne. Die hydrogeologischen Erkenntnisse, die im Zusammenhang mit dem Bau der heute bestehenden Wasserversorgungsbrunnen, der Untersuchung von Altlasten und Schadensfällen usw. gewonnen wurden, sind in einer Veröffentlichung des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut (SPRAUER & STRAUB 1988) sowie in zahlreichen internen Berichten und Gutachten des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg (1987a, 1987b, 1988, 1989a, 1989b, 1990) dokumentiert.

Eine erste zusammenfassende Darstellung der hydrogeologischen Erkenntnisse im Schweizer Teil der Klettgaurinne wurde von VON MOOS & NÄNNY (1970) publiziert. Eine Fortschreibung dieser Arbeit erfolgte durch BÜCHI & MÜLLER (1985).

3.2 Geologische Geschichte der Klettgaurinne

Erste Anzeichen für die Existenz einer Erosionsrinne im Klettgau liefern die Vorkommen von Älteren Deckenschottern auf dem Buechbühl westlich von Neuhausen und auf dem Berchenwald östlich Kadelburg, die altersmäßig der Günzeiszeit zugeordnet werden. Die Schotterbasis liegt in einem Niveau von 550 bzw. 500 m ü. NN. Von den südöstlich von Zurzach gelegenen Vorkommen von Älteren Deckenschottern unterscheiden sie sich deutlich in ihrer Geröllzusammensetzung (FREI 1912, HOFMANN 1977). Offensichtlich trennte bereits zur damaligen Zeit der Kleinen Randen als Wasserscheide das ehemalige Rheinsystem, zu dem die Klettgaurinne gehörte, von dem weiter südlich gelegenen Thursystem, zu dem das heutige Tal des Hochrheins zählt.

Nach Ablagerung der Älteren Deckenschotter folgten Erosionsphasen, in deren Verlauf diese weitgehend wieder abgetragen und die Talsysteme weiter vertieft wurden. Im Zusammenhang mit dem Vorstoß

der Gletscher in der Mindelzeit kam es zur Aufschotterung in den Tälern und dabei zur Ablagerung der Jüngeren Deckenschotter. Diese finden sich in größeren Relikten im Klettgau zwischen Neunkirch, Wilchingen und Osterfingen sowie am südwestlichen Ende des Rechberg-Hallau-Rückens. Die Basis dieser Schotter liegt in Wilchingen bei rd. 450 m ü. NN, am Südwestrand des Rechberg-Hallau-Rückens bei 430 bis 420 m ü. NN und am Aarberg bei Waldshut bei 410 m ü. NN. Ein weiteres Deckenschottervorkommen auf den Kernenwiesen südwestlich Bechtelsbohl wird aufgrund seiner Geröllzusammensetzung dem Thursystem zugeordnet.

Die weitere geologische Entwicklung ist geprägt durch kräftige Erosionsphasen zwischen Mindel- und Rißzeit, bei der die Jüngeren Deckenschotter zum größten Teil ausgeräumt und zusätzlich die Talsysteme wesentlich vertieft wurden. Aus der Höhendifferenz zwischen der Oberkante der Mindelschotter und der Basis der Rißschotter ergibt sich für den zentralen Teil der Klettgaurinne eine Tiefenerosion von rd. 180 m. In diesen Zeitraum fällt die eigentliche Entstehung der Klettgaurinne.

Im Verlauf der Rißzeit wurde die Klettgaurinne wiederum mit bis zu 100 m mächtigen Schottern aufgefüllt. Die Hochterrasse erreicht nordöstlich von Weisweil ein Niveau von ca. 453 m ü. NN, auf der Südseite des Schwarzbachtals bei Riedern am Sand 440 m ü. NN und westsüdwestlich Horheim noch 430 m ü. NN. Im unteren Teil der Klettgaurinne bestand zwischen Reiherwald und Bürgerwald zeitweise eine Verbindung zum Gebiet um Ettikon, wie durch Bohrungen nachgewiesene Schottervorkommen belegen.

Den flächenmäßig größten Anteil an der Verbreitung der Rißschotter im Klettgau nimmt ein Terrassenkörper ein, dessen Oberkante südlich Wilchingen bei 430 m ü. NN, auf der Höhe von Riedern a. Sand bei 415 m ü. NN, bei Geißlingen um 400 m ü. NN und südwestlich Horheim bei 390 m ü. NN liegt (Karte II). Ob diese tiefere Rißterrasse ein Erosions- oder ein Akkumulationsniveau darstellt, konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden (BAUSCH et. al. 1989).

Die rißzeitlichen Schotter des Klettgaus werden bereichsweise von mächtigen, gelblichen bis ockerfarbenen, feinklastischen Sedimenten überlagert, die als „Klettgau-Löß“ bezeichnet werden (SCHALCH 1922). Neuere Untersuchungen kommen zu dem Schluß, daß es sich dabei nicht um äolische Ablagerungen, sondern um Seesedimente handelt (FINCK 1988, HOFMANN 1977, 1981). Die Bildung dieser Sedimente steht im Zusammenhang mit dem Vorstoß des Aaregletschers, der im Jüngeren Riß auf der Höhe von Lauchringen bis in den unteren Klettgau vordrang und das Tal schließlich versperrte (VERDERBER

1992). Im Gegensatz dazu stießen Rhein- und Linthgletscher nur bis an den Ost- bzw. Südostrand des Kleinen Randen vor.

Gegen Ende der Rißeiszeit wurde der Rhein bei Schaffhausen nach Süden in das Thurtal umgelenkt, wodurch die Klettgaurinne weitgehend trockenfiel.

Parallel zum nördlichen und südlichen Hang der Klettgaurinne bildeten sich im Riß-Würm-Interglazial Täler aus, wobei die Erosion in erster Linie den „Klettgau-Löß“ ausräumte, jedoch z. T. auch die unterlagernden rißeiszeitlichen Kiese. Das nordwestliche Tal verläuft von Neunkirch über Erzingen bis west-südwestlich von Geißlingen, wo es sich mit dem süd-östlichen Ast, der seinen Ursprung im Wangental nimmt, vereinigt und von dort in Richtung Waldshut weiterzieht. Im Bereich Bürgerwald/Reiherwald wurde zu dieser Zeit nur noch die nördliche Teilrinne durchflossen. Während die Erosionsleistung östlich der Einmündung des Wutachtals auf rd. 10 m geschätzt wird, wurden westlich davon die zuvor abgelagerten Rißschotter vermutlich bis auf die Basis erodiert (SCHÖBER 1989).

Im Verlauf der Würmeiszeit lag die Klettgaurinne im periglazialen Vorfeld der Gletscher. Die nach Westen abfließenden Schmelzwässer führten wiederum zu einer Aufschotterung der im Riß/Würm-Interglazial angelegten Täler bis zum Niveau der Niederterrasse. Diese weist im nordwestlichen Talzug ein Gefälle von 3 bis 3,5 ‰ auf, im südlichen Talzug nur ein Gefälle von 2,5 bis 3 ‰.

Im Holozän wird durch die Flüsse verwittertes Gestein von den angrenzenden Hochgebieten in die Klettgaurinne verfrachtet und vor den Talausgängen als Schwemmkegel abgelagert. Daneben neigen vor allem der Mittlere Muschelkalk, der Opalinuston und die Oxfordmergel zur Bildung von Rutschmassen, wohingegen die pleistozäne Nagelfluh, die Jurana-gelfluh, der Obere Muschelkalk und die Oxfordkalke Block- und Hangschuttlieferanten sind.

3.3 Struktur der quartären Rinne

Zur Erkundung der Struktur der Klettgaurinne sind im deutschen Teil bis heute in acht Feldkampagnen 359 geoelektrische Tiefensondierungen auf 30 Profillinien durchgeführt worden, des weiteren im Raum Kadelburg und östlich Lauchringen hammerschlagseismische Tiefensondierungen mit 91 Schlagpunkten auf 11 Profilen (Abb. 3). Als Ergebnis der geophysikalischen Messungen wurde vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (1979) eine Quartärbasiskarte für den Bereich zwischen Grießen und Wilchingen (CH) entworfen, die nahtlos an die

Strukturkarte von VON MOOS & NÄNNY (1970) anschließt, die ebenfalls im wesentlichen auf den Ergebnissen geoelektrischer Messungen basiert (GILLAND 1970). Der Isolinenplan zeigt, vergleichbar der heutigen Morphologie, innerhalb der Klettgaurinne zwei parallele Rinnen, die durch eine Aufragung in der Quartärbasis getrennt sind.

Die vier Erkundungsbohrungen, die auf dem geoelektrischen Profil Nr.3/7 (Abb. 3) abgeteufte wurden, bestätigten jedoch die geophysikalisch ermittelte Morphologie der Rinnensohle nicht, sondern ließen eine einheitliche Rinnenstruktur ohne weitere Differenzierung erkennen. Die dadurch nachgewiesene Fehlinterpretation der geoelektrischen Meßdaten dürfte im wesentlichen auf den großen Grundwasserflurabstand im östlichen Teil der Klettgaurinne und die dadurch bedingte ungünstige Meßsituation sowie auf den nur schwer zu kompensierenden Einfluß des Seesedimentrückens zurückzuführen sein.

Als Konsequenz dieser Erkenntnisse wurde die Quartärbasiskarte (Karte III) ausschließlich auf der Grundlage der vorhandenen tiefen Aufschlußbohrungen konstruiert. Insgesamt standen ca. 200 Bohraufschlüsse der Kiesbasis zur Verfügung, von denen die meisten im Raum Ettikon/Kadelburg im Zusammenhang mit der Planung der Rheinstautufe bei Koblenz sowie der Trasse für die A 98 südlich des Bürgerwalds abgeteufte wurden. Trotz dieser regionalen Konzentration konnte mit Hilfe der neuen Aufschlußbohrungen eine ausreichende Belegdichte im gesamten Bereich der Klettgaurinne erreicht werden.

Die Quartärbasiskarte zeigt im östlichen Teil eine einheitliche Rinnenstruktur mit wenig bewegter Morphologie, die jedoch im Westen u. a. durch den Zusammenschluß mit den Rinnen von Wutach, Steina und Schlücht eine weitreichende Differenzierung erfährt.

Ausgehend von der Deutsch-Schweizer Grenze läßt sich die Rinnenachse über Grießen und Geißlingen bis Lauchringen verfolgen, wobei sie sich aus einer zentralen Lage allmählich zum Südhang verlagert. Westlich von Grießen ergibt sich dadurch ein asymmetrisches Rinnenprofil mit einer flachen Nordflanke und einer steilen Südflanke. Das Sohlgefälle beträgt auf diesem Abschnitt rd. 1,3 ‰, wobei das Sohlniveau von 320 m ü. NN im Osten auf ca. 310 m ü. NN im Westen abfällt (vergl. Karte IVa).

Die Einmündung der Wutach in die Klettgaurinne führt auf der Höhe von Lauchringen zu einer weiteren Verlagerung der Rinnenachse nach Süden, so daß südlich von Lauchringen ein ausgeprägter Steilhang ausgebildet ist. Als Folge der verstärkten Wasserführung nach dem Eintritt der Wutach in die Klettgaurinne erhöht sich das Sohlgefälle in diesem Abschnitt stellenweise bis auf 6,7 ‰. Da die Wutach im Mün-

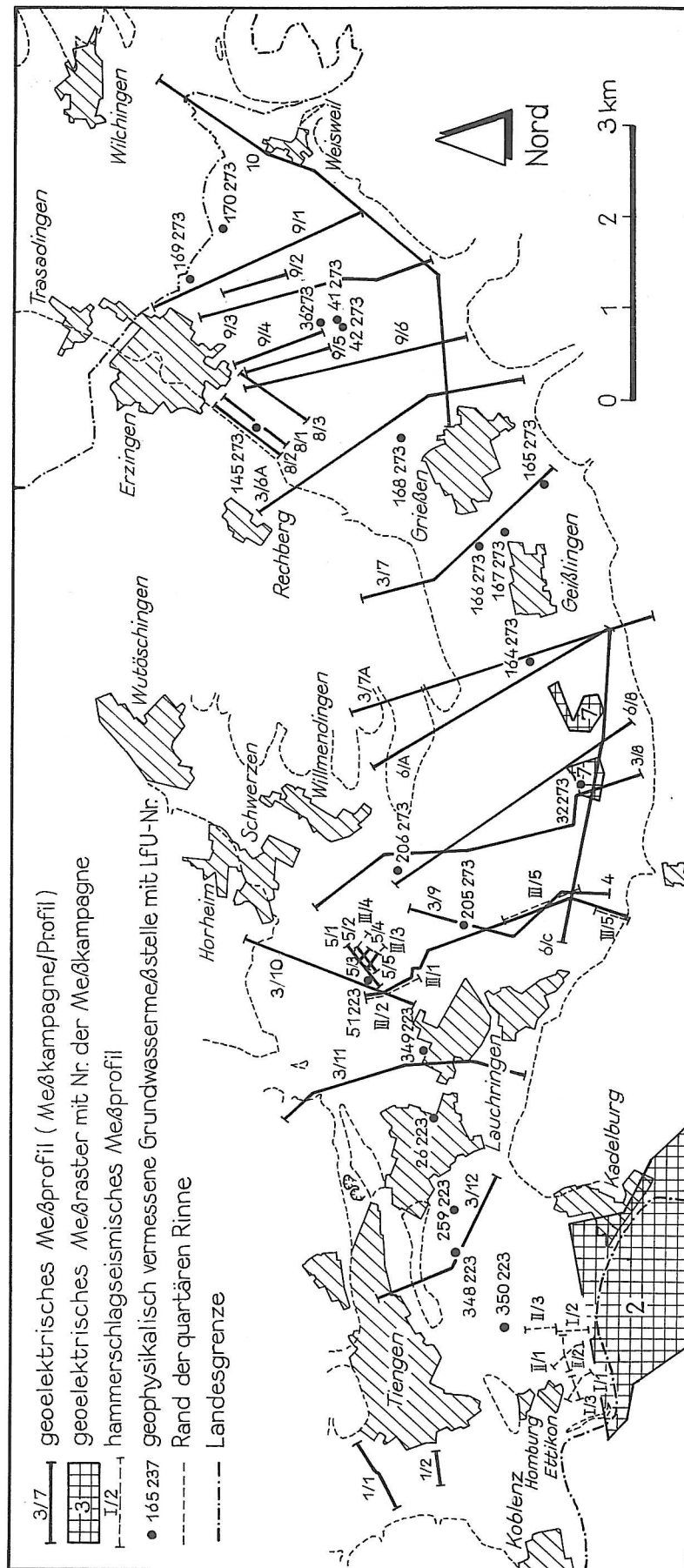


Abb. 3: Lage der geophysikalischen Meßprofile und der geophysikalisch vermessenen Bohrungen

Meßkampagnen Geoelektrik:

- 1 Grundwassererschließung; 19 Tiefensondierungen auf 2 Profilen; Okt. 1971 (NLfB)
- 2 Rheinstautufe; 308 Tiefensondierungen; Dez. 1958 – März 1959 (CGG)
- 3 HGK Klettgau; 96 Tiefensondierungen auf 8 Profilen (NLfB)
- 4 geologische Erkundung; 31 Tiefensondierungen auf 1 Profil; Mai 1964 (NLfB)
- 5 Grundwassererschließung; 26 Tiefensondierungen auf 6 Profilen; Feb. 1964 (NLfB)
- 6 Salzprospektion; 65 Tiefensondierungen auf 3 Profilen; Aug. + Sept. 1958 (CGG)
- 7 Kiessabbau; 37 Tiefensondierungen; Okt. + Nov. 1970 (Fa. Herrmann)
- 8 Grundwassererschließung; 31 Tiefensondierungen auf 3 Profilen; Sept. + Okt. 1965 (NLfB)
- 9 Grundwassererschließung; 60 Tiefensondierungen auf 6 Profilen; Mai + Sept. 1979 (NLfB)
- 10 Grundwassererschließung; 20 Tiefensondierungen auf 1 Profil; Okt. 1955 (NLfB)

Bohrkampagne Seismik:

- I Grundwassererschließung; 23 Schlagpunkte auf 3 Profilen; Okt. 1973 (NLfB)
- II Grundwassererschließung; 28 Schlagpunkte auf 3 Profilen; Mai 1974 (NLfB)
- III Grundwassererschließung; 40 Schlagpunkte auf 5 Profilen; Mai 1974 (NLfB)

dungsbereich offensichtlich zeitweise ihren Lauf änderte, entstanden hier inmitten der Rinne einzelne Hochgebiete.

Von Lauchringen aus schwenkt die Rinnenachse nach Nordwesten und verläuft nördlich der Muschelkalkaufragungen des Bürgerwalds und des Homburgs, wo die Rinne sich canyonartig in den präquartären Untergrund eingetieft hat. Das Sohlgefälle beträgt hier 2,5 ‰. Östlich von Koblenz endet die Klettgaurinne am heutigen Rheintal.

Die Verbindung südlich des Bürgerwalds zum Gebiet Ettikon/Kadelburg, die zu einem frühen Stadium der Rinnenentwicklung bestand, fiel trocken, als ein Erosionsniveau von rd. 320 m ü. NN erreicht war.

3.4 Aufbau der Rinnenfüllung

Die riß- und würmeiszeitlichen Schotter in der Klettgaurinne, die heute einen ausgedehnten, ergiebigen Grundwasserleiter bilden, wurden im Vorfeld von Rhein- und Linthgletscher durch Schmelzwasserströme abgelagert. Durch die ständige Verlagerung der Abflußrinnen änderten sich die Sedimentationsbedingungen von Ort zu Ort sehr schnell, was sich in einem entsprechend inhomogenen Aufbau des Kieskörpers widerspiegelt.

Der Wechsel in der Kornzusammensetzung wurde beispielhaft an der Erkundungsbohrung KB 3 (165 273) untersucht (NEUSCHEL 1987), die als Kernbohrung abgeteuft wurde (Abb. 4). Bei den untersuchten Bohrproben handelt es sich überwiegend um sandige Kiese mit Schluffgehalten zwischen 5 und 25 % (Abb. 5). Daneben wurden auch ein gut sortierter Mittelsand (Probe 7) sowie an der Basis ein schwach kiesiger, schwach schluffiger Sand (Probe 16) angetroffen. Die relativ große Variationsbreite der Kornzusammensetzung der einzelnen Horizonte, die sich u. a. in den unterschiedlichen Medianwerten der Kornverteilungen zwischen $Md = 0,26$ mm und $Md = 7,6$ mm widerspiegelt, speziell der unterschiedliche Feinkornanteil, lassen auf eine ausgeprägte vertikale Anisotropie der Durchlässigkeit der Schichtenfolge schließen.

Die Kiese der Bohrung KB 3 (165 273) waren mit Ausnahme einer 0,10 m mächtigen Lage bei 35 m Tiefe ebenso wie die Kiese in den Bohrungen B1 (169 273), B4 (166 273), B5 (167 273) und B7 (164 273) unverfestigt. In den übrigen Erkundungsbohrungen B2 (170 273), B6 (259 223) und B8 (168 273) wurden vereinzelt verfestigte Lagen von wenigen Dezimetern Mächtigkeit angetroffen. Demgegenüber sind aus anderen Aufschlußbohrungen

und aus Kiesgruben in der Klettgaurinne z.T. mächtige Nagelfluheinschaltungen bekannt. Es handelt sich dabei um Kiese, die durch karbonatisches Bindemittel zu harten Konglomeraten verfestigt sind. Nach den Befunden im Meßstellennetz des Brunnens Hardtwald (36 273) treten derartig verkittete Bereiche möglicherweise bevorzugt im Grundwasserschwankungsbereich sowie an der Basis des Grundwasserleiters auf. Die Durchlässigkeit dürfte in den verfestigten Partien gegenüber den unverfestigten Kiesen deutlich erniedrigt sein.

Analysen des Rundungsgrades, die über die Transportweite der Schotter Auskunft geben, lassen im Profil eine Dreiteilung erkennen, mit uneinheitlich gerundeten Schottern im oberen Teil bis ca. 15 m, schlecht gerundeten Schottern im mittleren Teil bis rd. 35 m und gut gerundeten Schottern im unteren Teil (Abb. 4). Die Grenze bei 15 m dürfte der Grenze Riß/Wurm entsprechen.

Petrographische Analysen belegen für die Geröllzusammensetzung ein relativ einheitliches Spektrum mit einem hohen Anteil an alpinen Kalken von 65 bis 75 %, während kieselige Gerölle mit 15 – 20 %, Kristallin mit 5 – 10 % sowie Weißjura- und Dolomitgerölle mit 0 – 3 % vertreten sind (Abb. 4). Die festgestellten Unterschiede stehen im Zusammenhang mit unterschiedlichen Schüttungen bei Ablagerungs-, Umlagerungs- und Akkumulationsprozessen, wechselnder Geröllzufuhr aus den Seitentälern und von den Hangbereichen sowie unterschiedlichen Verwitterungsbedingungen. Vor allem im westlichen Teil der Klettgaurinne, der nicht eingehender untersucht wurde, dürfte das Geröllspektrum maßgeblich durch Einschwemmungen von Schwarzwaldmaterial über Wutach, Steina und Schlücht geprägt sein.

Trotz der kleinräumig ausgeprägten Inhomogenitäten erweist sich die Füllung der Klettgaurinne im großräumigen Maßstab als eine relativ einheitliche Sedimentfolge, in der durchhaltende Leithorizonte fehlen. Weder die petrographischen und sedimentologischen Merkmale, noch die in einer Reihe von Bohrungen durchgeführten gamma-Log-Messungen (Abb. 4) liefern eindeutige Anhaltspunkte für eine Differenzierung der Kiesfolge.

3.5 Präquartärer Untergrund

Grundlage für die Beurteilung der Gesteine im Untergrund der Klettgaurinne bildet einerseits die geologische Situation außerhalb der Rinne, die kürzlich im Rahmen einer Revisionskartierung neu bearbeitet wurde (BAUSCH 1988, SCHÖBER 1989). Daneben kann auf einige tiefe Rohstofferkundungsbohrungen zurückgegriffen werden, die im Jahr 1938 im Raum

Erkundungsbohrung KB 3 (165 273)

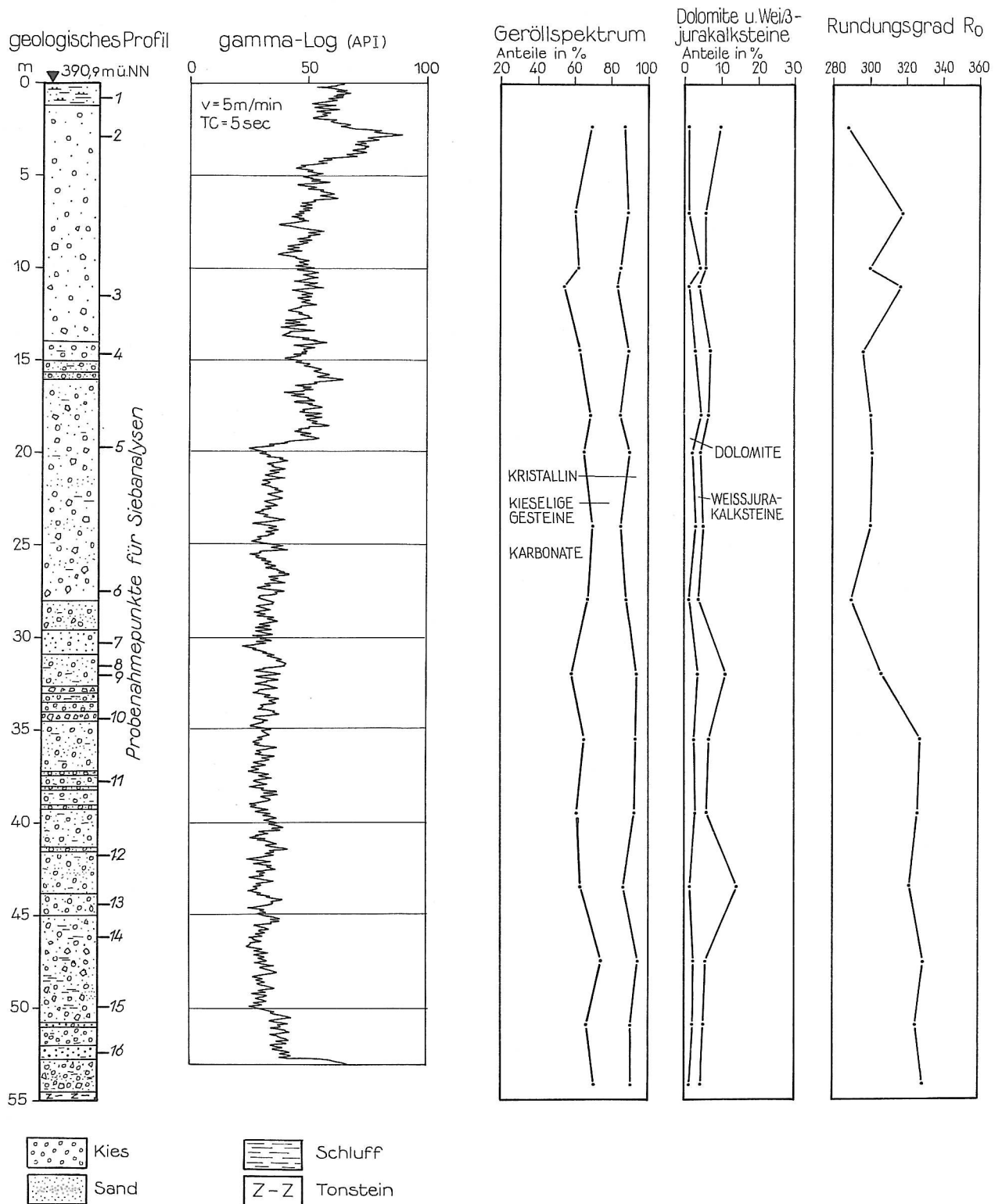


Abb. 4: Geologisches Profil, gamma-Log und Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen der Erkundungsbohrung KB 3 (165 273)

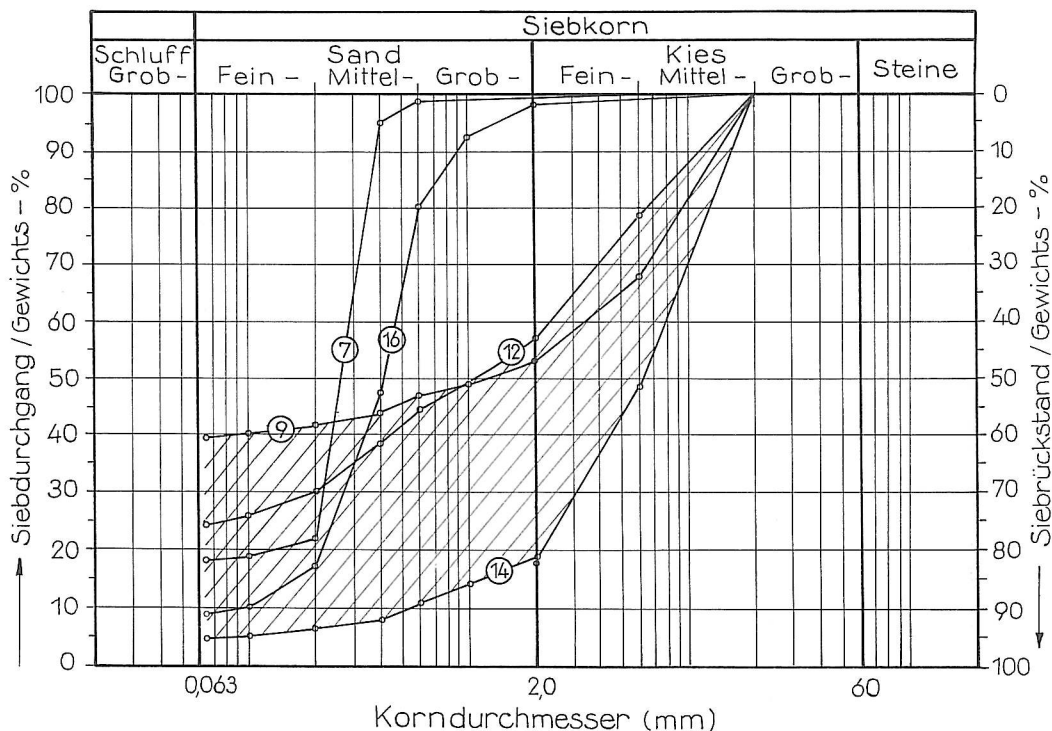


Abb. 5: Kornverteilungskurven für Proben der Erkundungsbohrung KB 3 (165 273); Entnahmetiefe: Pr. 7: 30,0 – 30,2 m; Pr. 9: 32,0 – 32,2 m; Pr. 12: 41,7 – 41,8 m; Pr. 14: 46,3 – 46,5 m; Pr. 16: 52,3 – 52,4 m; die Kornverteilungskurven der übrigen 10 Proben zwischen 3,0 und 52,4 m liegen im schraffierten Bereich (für die Entnahmetiefen vergl. Abb. 4)

Lauchringen abgeteufte wurden. Hilfreich sind auch mikropaläontologische Bestimmungen an Kernmaterial der neuen Erkundungsbohrungen, die in einigen Fällen eine eindeutige stratigraphische Ansprache der unter den Kiesen anstehenden Gesteine ermöglichen.

Im östlichen Teil der Klettgaurinne etwa bis zur Einmündung der Wutach sowie im östlichen Teil des Gebiets von Ettikon/Kadelburg wird die Rinnensohle aus Gesteinen des Schwarzen und Braunen Juras gebildet, die auf dem Rechberg-Hallau-Rücken an der Erdoberfläche anstehen. Der Schwarze Jura besteht aus einer rd. 35 m mächtigen Folge von schwarzen und schwarzgrauen Tonsteinen, Schiefertönen und Mergeln, in die vereinzelt sandige und kalkige Schichten eingeschaltet sind. Die dunkle Färbung ist auf Eisensulfide und einen mehr oder weniger großen Bitumengehalt zurückzuführen. Überlagert werden diese Gesteine von den Schichten des Braunen Juras, feinsandigen Tonsteinen und Tonmergeln mit zwischengeschalteten Kalksandsteinen und Eisenoolithen, für die in diesem Gebiet eine Gesamtmächtigkeit bis 188 m belegt ist.

Hydrogeologisch sind die Schichten des Schwarzen und Braunen Juras als Grundwassergeringleiter zu betrachten, da ihr Wasserleitvermögen im Vergleich zu dem der quartären Kiese vernachlässigbar klein ist. Ein Grundwasserabstrom aus der Klettgaurinne

nach Süden über die Kalksteine des Weißen Juras, die den Kleinen Randan aufbauen, ist nicht möglich, da sie nicht mit dem Porengrundwasser in den Kiesen in Kontakt stehen. Insgesamt ergibt sich für den östlichen Abschnitt der Klettgaurinne die Situation einer praktisch allseits abgedichteten Rinne, in die die quartären Kiese als Grundwasserleiter eingebettet sind.

Grundsätzlich andere Verhältnisse findet man in der Klettgaurinne westlich der Einmündung des Wutachtals. Neben einer flächenmäßig weniger bedeutenden Verbreitung von Keupergesteinen wird der präquartäre Untergrund in diesem Abschnitt aus Kalk- und Dolomitsteinen des Mittleren und Oberen Muschelkalks gebildet. Wie durch eine große Anzahl von Aufschlußbohrungen südlich des Bürgerwalds nachgewiesen wurde, weist die Rinnensohle hier ein sehr unruhiges Relief mit Hohlformen und Dolinen auf, die auf eine starke Verkarstung der Gesteine des Muschelkalks hinweisen. Neben der Verkarstung trägt möglicherweise auch die Auslaugung von Steinsalz und Anhydrit im Mittleren Muschelkalk zur Reliefierung der Muschelkalkoberfläche bei.

Die verkarsteten Gesteine des Muschelkalks besitzen, wie u. a. die Versinkung der Steina nordöstlich von Tiengen zeigt, sehr gute Wasserwegsamkeiten. Im westlichen Teil der Klettgaurinne steht der quartäre Porengrundwasserleiter somit in direktem Kontakt

zu einem hochdurchlässigen Karstgrundwasserleiter.

Die Schichten des Mesozoikums fallen auf Blatt Klettgau in der Regel mit 3 bis 5° (SCHÖBER 1989), auf Blatt Waldshut-Tiengen mit 2 bis 6° (FINCK 1988) nach Süden bis Südsüdosten ein. Anhand der tiefen Prospektionsbohrungen und der geoelektrischen Tiefensondierungen konnte eine Reihe von Verwerfungen nachgewiesen werden (Karte III). Der genaue Verlauf der Störungen und die Versatzbeträge sind jedoch meist unbekannt, ebenso ihre hydraulischen Eigenschaften. Ein genaues Alter der Verwerfungen läßt sich nicht angeben, sie werden meist dem Tertiär zugeordnet.

Für die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers in der Klettgaurinne sind vor allem die Vorkommen von Gips und Anhydrit in den Gesteinen des Mittleren Muschelkalks und des Gipskeupers von Bedeutung.

wirksam vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche schützt, bilden die in der Rißeiszeit in einem Eisrandstausee abgelagerten Seesedimente, der sog. „Klettgau-Löß“. Es handelt sich um feingeschichtete, tonige bis stark tonige Schluffe, deren Sandgehalt zwischen 0 und 40 % schwankt (Abb. 6). Als Erosionsrest bilden die Seesedimente im östlichen Teil der Klettgaurinne einen langgestreckten Höhenrücken. Die maximale Mächtigkeit beträgt rd. 25 m.

In den übrigen Bereichen der Klettgaurinne, wo die Seesedimente der Erosion zum Opfer gefallen sind, wird der Grundwasserleiter nur von einer 1 bis 2 m mächtigen Lage von Kiesverwitterungslehm überdeckt. In Oberflächennähe sind dies Sande und Schluffe mit wechselnden Tongehalten, die mit zunehmender Tiefe in sandig-schluffige Kiese übergehen und die bis in eine Tiefe von 1 bis 2 m entkalkt sind. Im Gegensatz zu den Seesedimenten besitzen sie nur eine geringe Schutzfunktion für den darunter liegenden Grundwasserleiter.

3.6 Überdeckung

Eine Überdeckung durch feinklastische Sedimente geringer Durchlässigkeit, die den Grundwasserleiter

Südlich des Bürgerwalds finden sich noch Reste von Moränen über den quartären Kiesen, die im Zusammenhang mit dem Vorstoß des Aaregletschers abgelagert wurden.

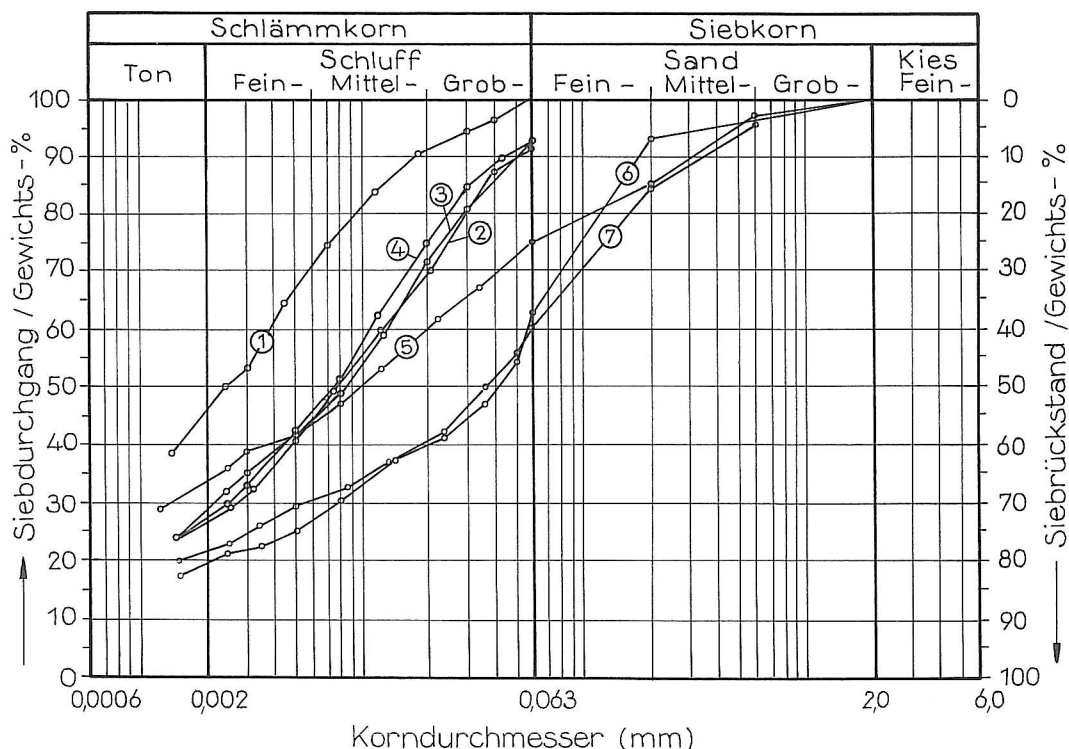


Abb. 6: Kornverteilungskurven der rißeiszeitlichen Seesedimente (Pr. 1, 2, 3 und 4) und des Kiesverwitterungslehms (Pr. 5, 6 und 7); Herkunft der Proben: Pr. 1: B 4 (166 273) 6–7 m; Pr. 2: B 8 (168 273) 9–10 m; Pr. 3: B 4 (166 273) 13–14 m; Pr. 4: B 7 (164 273) 5–6 m; Pr. 5: KB 3 (165 273) 0,5–0,6 m; Pr. 6: B 2 (170 273) 2–3 m; Pr. 7: B 5 (167 273) 0,0–1,0 m

4 Hydraulische Eigenschaften des Grundwasserleiters

Die hydraulischen Eigenschaften eines Grundwasserleiters lassen sich durch Kennwerte beschreiben, zu denen u. a. die Transmissivität, die Durchlässigkeit und das Porenvolumen gehören. Sie werden durch Pumpversuche und Markierungsversuche ermittelt.

In der Klettgaurinne liegen aus der Vergangenheit die Meßwerte einiger Pumpversuche vor, die jedoch zum großen Teil nicht den Anforderungen moderner Auswerteverfahren genügen. Deshalb wurden im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung vier zusätzliche Pumpversuche durchgeführt, und zwar im Versuchsbrunnen KB 3 (165 273) sowie in den Tiefbrunnen Maidlewag (45 273), Rechberg (54 273) und Bechtel-Szilagy (26 273), wobei jedoch auch bei diesen Versuchen aus technischen Gründen ein optimaler Versuchsablauf nicht zu realisieren war.

Im Versuchsfeld zwischen Gießen und Geißlingen wurde zudem 1989 erstmals in der Klettgaurinne ein Markierungsversuch durchgeführt.

4.1 Pumpversuche in der Klettgaurinne

Ein generelles Problem bei der Planung von Pumpversuchen in der Klettgaurinne sind die hohen Entnahmeraten, die erforderlich sind, um auswertbare Absenkungen zu erreichen. Eine Möglichkeit, Abhilfe zu schaffen, besteht in der Erhöhung der Meßgenauigkeit. Zukünftige Pumpversuche in der Klettgaurinne sollten deshalb möglichst mit digitaler Registrierung erfolgen.

Viele der durchgeführten Pumpversuche erzeugten Absenkungskurven, wie sie typisch für halbungespannte Verhältnisse (KRUSEMANN & DERIDDER 1973) sind. Diese Verhältnisse sind dadurch charakterisiert, daß die Entleerung des Porenraums bei der Grundwasserabsenkung verzögert erfolgt. Solche Bedingungen treten auf, wenn der Grundwasserleiter bezüglich der Durchlässigkeit starke Anisotropien aufweist. Beim Abpumpen eines Brunnens in einem halbungespannten Grundwasserleiter erfolgt die Absenkung in einer ersten Phase wie bei gespannten Verhältnissen durch Dekompression des Grundwassers. In einer zweiten Phase stellt sich wie bei halbgespannten Verhältnissen eine Stabilisierung des Grundwasserspiegels durch Zusickern von Grundwasser aus den geringer durchlässigen Partien des Grundwasserleiters ein. Diese geht schließlich in ei-

ne dritte Phase über, charakterisiert durch Schwerkraftentwässerung des Porenraums wie bei ungespannten Verhältnissen.

Die Auswertung von Pumpversuchen in halbungespannten Grundwasserleitern erfolgt mit Hilfe des Verfahrens von BOULTON. Die Anwendung des Geradlinienverfahrens von COOPER & JACOB ist z. T. ebenfalls möglich, wenn Kurvenabschnitte herangezogen werden können, die nicht durch Leakageeffekte beeinflusst sind. Schließlich können die Pumpversuche, bei denen sich die Inhomogenitäten des Grundwasserleiters nur wenig oder nicht auswirken, nach dem Verfahren von THEIS ausgewertet werden.

Als Beispiele für die Verhältnisse in der Klettgaurinne werden im folgenden die Pumpversuche in den Brunnen Hardtwald (36 273) und Eichwald (243 223) näher vorgestellt. Für alle Pumpversuche wurden die vorliegenden Auswertungen, soweit möglich, überprüft und ggf. korrigiert.

4.1.1 Pumpversuch Hardtwald

In dem für die Wasserversorgung der Gemeinde Klettgau im zentralen Teil der Klettgaurinne errichteten Brunnen Hardtwald (36 273) wurden im Februar/März 1983 zunächst ein 3stufiger Brunnentest und anschließend ein 240stündiger Leitertest durchgeführt. Das Versuchsfeld bestand aus 7 Grundwassermeßstellen im Abstand von 18 bis 190 m zum Entnahmebrunnen.

Wegen der im Vergleich zur Meßgenauigkeit geringen Absenkung von maximal 0,46 m, die bei einer Entnahmerate von $0,0422 \text{ m}^3/\text{s}$ im Entnahmebrunnen erreicht wurde, kann der Pumpversuch nur näherungsweise ausgewertet werden. Die Ergebnisse (Tab. 1) lassen mit zunehmender Entfernung der jeweiligen Meßstelle vom Brunnen eine Zunahme der Transmissivität erkennen.

Die nach dem Verfahren von COOPER & JACOB ermittelten Transmissivitäten sind, bedingt durch Leakageeffekte, offensichtlich zu groß. Läßt man diese Werte unberücksichtigt, so ergibt sich eine mittlere Transmissivität von $T = 0,10 \text{ m}^2/\text{s}$. Bei einer Grundwassermächtigkeit von 43 m beträgt die Durchlässigkeit $k_f = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Die ermittelten Speicherkoeffizienten zeigen sehr große Schwankungen. Realistische Werte für das effektive Porenvolumen liefert nur das Verfahren von THEIS in der Größenordnung von $n_e = 0,10$.

Tab.1: Grundwasserleiterkennwerte für den Pumpversuch im Tiefbrunnen Hardtwald (36 273) vom 28.2. – 11.3.1987

Kurzbez. der Meßstelle	r (m)	Transmissivität T (m ² /s)			r/B (–)	B (m)	Speicher- koeffizient S (–) THEIS
		COOPER & JACOB	THEIS	BOULTON			
TB Hardtwald	0,40	0,20	–	0,076	0,01	40,0	–
NW 20	19,7	–	–	0,075	0,6	32,8	–
NO 25	24,2	0,18	–	0,056	1,0	24,2	–
NO 50	49,2	0,28	–	0,048	1,0	49,2	–
SW 24	22,4	0,17	–	0,09	0,4	56,0	–
SO 18	17,5	0,23	0,14	0,14	0,316	55,4	0,11
SO 30	29,5	0,20	0,11	0,12	0,4	73,8	0,08
N 190	188	0,26	–	0,14	1,0	188	–

r = wirksamer Brunnenradius bzw. Entfernung zwischen Grundwassermeßstelle und Brunnen
B = Dränfaktor

Tab. 2: Grundwasserleiterkennwerte für den Pumpversuch im Tiefbrunnen Eichwald, Wutöschingen (243 223) vom 8.3. – 22.3.1983

Kurzbez. der Meßstelle	r (m)	Transmissivität T (m ² /s)						Speicherkoefizient S (–)			Dränfaktor	
		THEIS EDV- gestützt	COOPER & JACOB			BOUL- TON	THEIS EDV- gestützt	COOPER & JACOB	BOUL- TON (Sy)	BOUL- TON r/B (–)	B (m)	
			Raumabsenkung t = 1 h	Zeitab- senkung t = 100 h	Wieder- anstieg							
TB	0,75	0,053			0,033	0,041	0,032	0,0008	–	–	0,1	7,5
W20	19,4	0,055			0,036	0,044	0,035	0,004	0,05	0,06	0,2	97
NNW15	15,3	0,054			0,034	0,041	0,035	0,006	0,13	0,11	0,2	77
S020	18,4	0,058			0,036	0,050	0,035	0,02	0,22	0,22	0,316	58
N020	20,2	0,042	0,043	0,044	–	0,041	–	0,01	–	–	–	–
NN040	40,5	0,048			0,031	0,041	0,040	0,009	0,07	0,03	0,4	101
N050	49,9	0,047			0,029	0,041	0,034	0,02	0,09	0,07	0,8	62
070	70,3	0,048			0,033	0,040	0,034	0,008	0,04	0,03	0,6	117
N0370	368	0,040			0,044	0,050	0,037	0,08	0,06	0,08	0,0	–

r = Wirksamer Brunnenradius bzw. Entfernung zwischen Grundwassermeßstelle und Brunnen
B = Dränfaktor
Sy = Speicherkoeffizient der dritten Absenkungsphase bei halbungespannten Grundwasserleitern

4.1.2 Pumpversuch Eichwald

Der Brunnen Eichwald (243 223) wurde 1982 rd. 6 km nördlich von Oberlauchringen im Bereich der würmeiszeitlichen Niederterrasse des unteren Wutachtals errichtet. Im März 1983 wurde ein kombinierter Brunnen- und Leitertest durchgeführt. Im Verlauf des Leitertests wurde der Brunnen über 192 Stunden konstant mit 0,080 m³/s abgepumpt. Die maximale Ab-

senkung betrug im Brunnen 2,23 m. Das Beobachtungsnetz umfaßte 8 Grundwassermeßstellen.

Die Ergebnisse der Pumpversuchsauswertung sind in Tab. 2 zusammengestellt. Im Vergleich zu dem Verfahren von BOULTON (Abb. 7), das den tatsächlichen Aquifereigenschaften wohl am besten gerecht wird, liefern die Verfahren von THEIS und COOPER & JACOB etwas höhere Transmissivitäten. Der Mittelwert der nach BOULTON ermittelten Transmissivitäten

beträgt $T = 0,035 \text{ m}^2/\text{s}$. Bei einer Grundwassermächtigkeit von $H = 21,2 \text{ m}$ errechnet sich daraus eine Durchlässigkeit von $k_f = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Zur Abschätzung des effektiven Porenvolumens können hier nur die Speicherkoeffizienten herange-

zogen werden, die nach BOULTON bzw. COOPER & JACOB berechnet wurden. Die Werte schwanken etwa zwischen $n_e = 0,05$ und $0,10$. Das Verfahren von THEIS liefert demgegenüber deutlich niedrigere Werte, wie sie typisch für halbg gespannte Verhältnisse sind.

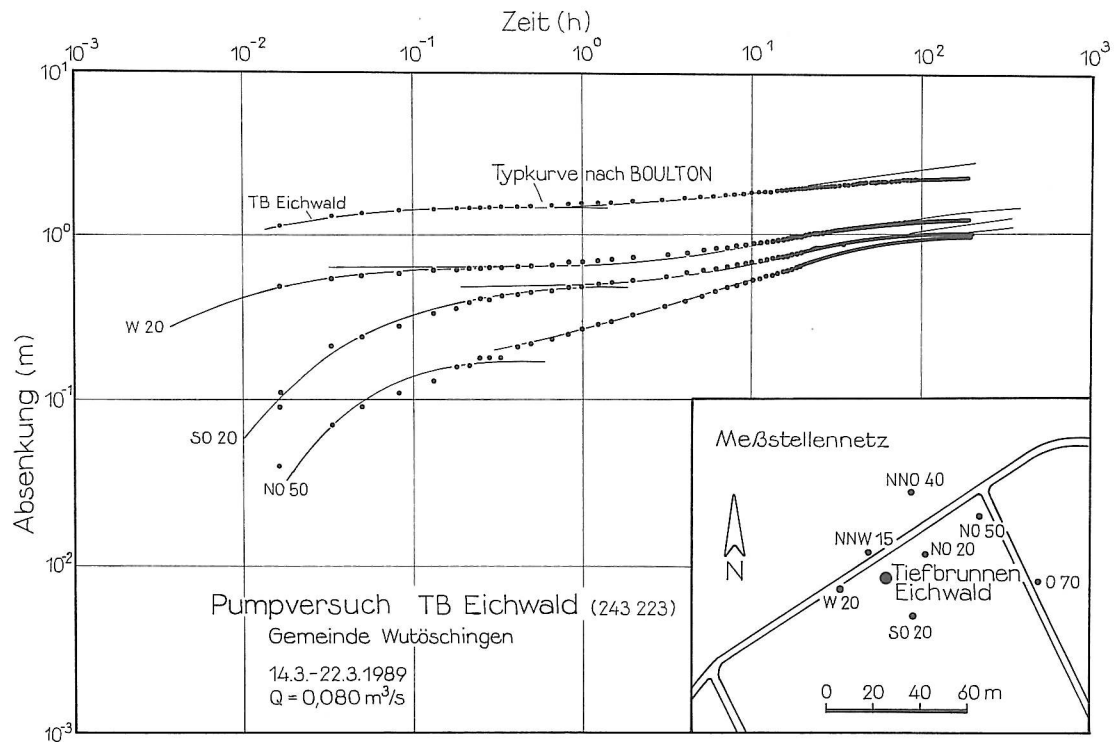


Abb. 7: Pumpversuch im TB Eichwald (243 223); Lageplan des Meßstellennetzes und doppeltlogarithmische Zeit-Absenkungs-Kurven; Auswertung mittels Typkurven nach BOULTON; Einfluß der Wutach als Anreicherungsgrenze nach ca. 50 bis 100 h Pumpzeit

4.2 Markierungsversuch Klettgau-Grießen

Der südwestlich von Grießen durchgeführte Markierungsversuch liefert Informationen über die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, die durchflußwirksame Porosität und die Dispersivität des Grundwasserleiters.

Das Versuchsfeld umfaßte als Eingabestelle für den Markierungsstoff die Grundwassermeßstelle 209 273 sowie als Beobachtungspunkte die Grundwassermeßstellen 208 273, 165 273 und 210 273 (Abb.8). Als Markierungsstoff wurde der wasserlösliche Fluoreszenzfarbstoff Uranin eingesetzt. Die Analytik der Wasserproben erfolgte durch das Labor des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg.

Die vor Beginn des Versuchs am 9.2.1989 in den Grundwassermeßstellen des Versuchsfelds durchgeführte Stichtagsmessung der Grundwasseroberfläche zeigte einen Grundwasserabstrom in südsüdwestliche Richtung mit einem Gefälle von $i = 0,0018$ (Abb. 8). Dies entspricht den regional vorherrschenden Fließverhältnissen (Karte V).

Als Reaktion auf die Farbeingabe zeigte nur die Grundwassermeßstelle 210 273 einen Durchgang des Markierungsstoffs, während in den Grundwassermeßstellen 208 273 und 165 273 kein Uranin nachgewiesen werden konnte. Damit weichen die tatsächlichen Fließwege des Grundwassers erheblich von der Fließrichtung ab, die aufgrund der Potentialverteilung zu erwarten war. Ursache für die Ablenkung des Grundwasserstroms nach Süden ist hier möglicherweise die Verringerung der Durchlässigkeit im Umfeld der Grundwassermeßstelle 165 273 durch ausgetretene Bohrspülung.

Aus der Farbdurchgangskurve (Abb. 8) lassen sich folgende Fließgeschwindigkeiten ermitteln:

Zeit bis zum ersten Eintreffen des Markierungsstoffs	$t_{\max} = 4 \text{ h}$
maximale Abstandsgeschwindigkeit	$v_{\max} = 6 \text{ m/h}$
Zeit bis zum Konzentrationsmaximum	$t_{c\max} = 14 \text{ h}$
modale Abstandsgeschwindigkeit	$v_{c\max} = 1,7 \text{ m/h}$
Zeit bis zum 50 % Tracerdurchgang	$t_{0,5} = 25 \text{ h}$
mediane Abstandsgeschwindigkeit	$v_{t0,5} = 1,0 \text{ m/h}$

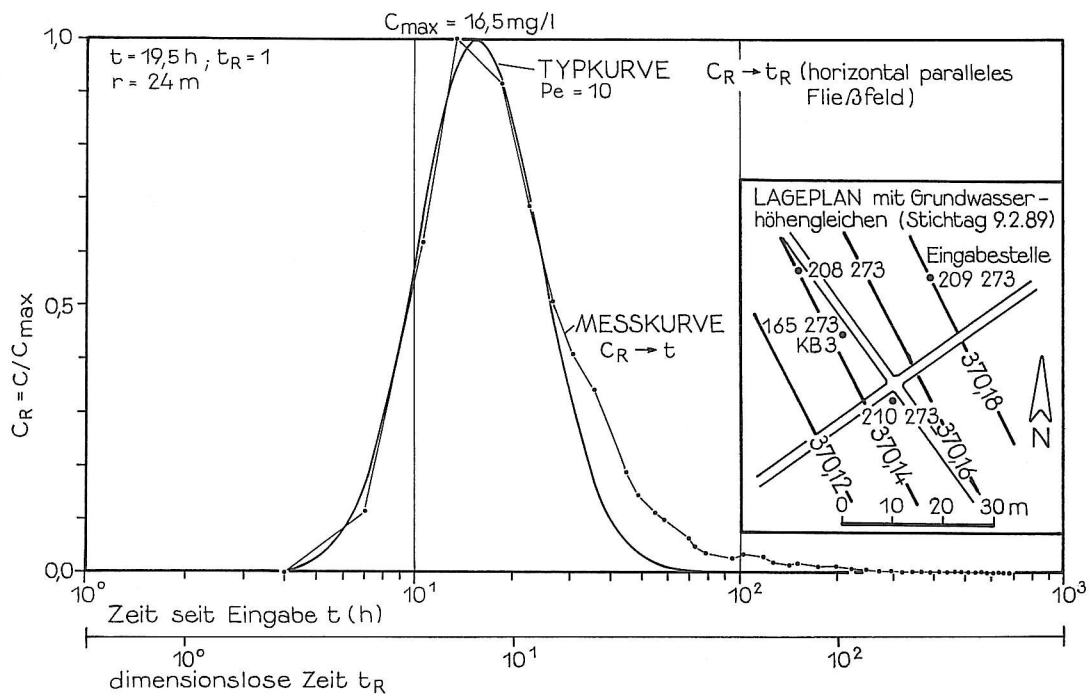


Abb. 8: Markierungsversuch Klettgau-Grießen; Lageplan des Versuchsfelds und Farbdurchgangskurve der Meßstelle 210 273; Auswertung mittels Typkurve

Der Transport einer gelösten Substanz im Grundwasser kann durch die allgemeine Massentransportgleichung beschrieben werden. Die Rand- und Anfangsbedingungen lassen sich für den vorliegenden Versuch wie folgt definieren: kurze Tracereingabe in ein unendlich ausgedehntes poröses Medium bei horizontal parallelem Strömungsfeld.

Die Auswertung des Markierungsversuchs erfolgte mit Hilfe des Summenkurvenverfahrens, das eine näherungsweise Bestimmung der longitudinalen Dispersion D_L und mittels der medianen Abstandsgeschwindigkeit $v_{t0,5}$ eine Abschätzung der Porengeschwindigkeit u erlaubt (SCHWEIZER et al. 1985), und des Typkurvenverfahrens (STOBER, 1980).

Die Ergebnisse der beiden angewandten Auswertungsverfahren (Tab. 3) zeigen deutliche Unterschiede. Da

dem Summenkurvenverfahren stark vereinfachende Annahmen zugrunde liegen, sind die Ergebnisse des Typkurvenverfahrens zutreffender.

Die ermittelte mediane Abstandsgeschwindigkeit liegt mit 1 m/h deutlich höher als die Porengeschwindigkeit, die aus den hydraulischen Kennwerten berechnet werden kann. Ursache ist das geringe durchflußwirksame Porenvolumen, das bei der Tracerausbreitung wirksam ist. Die Ergebnisse des Markierungsversuchs stehen im Einklang mit der Vorstellung von einer bevorzugten Grundwasserbewegung auf wenigen geringmächtigen, aber hochdurchlässigen Zonen des Grundwasserleiters.

Bei einer Fließstrecke von 24 m liegt die berechnete longitudinale Dispersivität α_L mit 6,3 m im Bereich der bisher für Kiesgrundwasserleiter veröffentlichten

Werte (SCHWEIZER et al. 1985). α_L ist kein konstanter Grundwasserleiterkennwert, sondern steigt, bedingt

durch den wachsenden Einfluß der Makrodispersion, mit zunehmender Fließstrecke an.

Tab. 3: Ergebnisse des Markierungsversuchs Klettgau-Grießen vom 9.2.1989

Auswerteverfahren	u m/h	D _L m ² /h	α_L m
Summenkurvenverfahren (eindimensionale Betrachtung)	1,0	13,2	13,2
Typkurvenverfahren (zweidimensionale Betrachtung)	3,2	20,2	6,3

u = Porengeschwindigkeit; D_L = longitudinale Dispersion; α_L = longitudinale Dispersivität

4.3 Kennwerte des Grundwasserleiters

4.3.1 Transmissivität

Die ermittelten Transmissivitäten (Tab. 4) schwanken zwischen $T = 0,14 \text{ m}^2/\text{s}$ und $T = 0,010 \text{ m}^2/\text{s}$ und sind insgesamt als hoch zu bezeichnen. Neben den

Brunnen KB 3 (165 273) und PB 1 (99 273) mit nachgewiesenem bzw. vermutetem schlechtem Grundwasseranschluß ergeben die Brunnen TB Eichwald (243 223) im unteren Wutachtal und TB Gurtweil (120 223) im unteren Schlüchtal niedrigere Transmissivitäten. Innerhalb der Klettgaurinne liegen die Transmissivitäten relativ einheitlich bei $T = 0,10 \text{ m}^2/\text{s}$, wovon lediglich der TB Fröschlachen (11 273) wegen seiner randlichen Lage und der dadurch bedingten geringen Grundwassermächtigkeit stärker abweicht.

Tab. 4: Übersicht über die Ergebnisse der Auswertung von Pumpversuchen in der Klettgaurinne

Name des abgepumpten Brunnens	Zeitraum	H (m)	Q _{max} (m ³ /s)	s _{max} (m)	T (m ² /s)	k _f (m/s)	Bemerkungen
TB Hardtwald	28.02. – 11.03.87	43,0	0,0453	0,47	0,10	$2,3 \cdot 10^{-3}$	ungenügender Grundwasseranschluß nachgewiesen
TB Rechberg	19.01 – 04.02.71	15,4	0,050	1,43	0,085	$5,5 \cdot 10^{-3}$	
TB Rechberg	20.06. – 22.06.88	17,7	0,030	0,60	0,12	$6,8 \cdot 10^{-3}$	
TB Strick	17.03. – 31.03.66	26,3	0,0735	2,43	0,14	$5,3 \cdot 10^{-3}$	
TB Maidlewag	03.10. – 09.10.88	47,0	0,032	0,66	0,14	$3,0 \cdot 10^{-3}$	
Versuchs-Br. KB3	05.09. – 09.09.88	34,0	0,024	1,55	0,048	$1,4 \cdot 10^{-3}$	
TB Kiess	24.09. – 07.10.89	20,0	0,050	0,75	0,12	$6,0 \cdot 10^{-3}$	
TB Bechtel-Szilagy	06.06. – 11.06.88	34,8	0,083	1,02	0,13	$3,7 \cdot 10^{-3}$	Lage im unteren Wutachtal ungenügender Grundwasseranschluß vermutet
TB Fröschlachen	06.04. – 19.04.82	9,0	0,075	2,12	0,04	$4,4 \cdot 10^{-3}$	
TB Schwimmbad Lauchringen	24.04 – 05.05.72	38,0	0,135	1,51	0,14	$3,7 \cdot 10^{-3}$	
TB Eichwald	15.10. – 25.10.86	18,5	0,080	2,23	0,035	$1,7 \cdot 10^{-3}$	
Grundwassermeßstelle PB1	04.05. – 08.05.81	12,1	0,0219	1,89	0,010	$0,83 \cdot 10^{-3}$	
TB Gurtweil	11.09. – 26.09.74	13,4	0,020	7,49	0,053	$0,4 \cdot 10^{-3}$	Lage im unteren Schlüchtal

H = Grundwassermächtigkeit; Q_{max} = maximale Entnahmerate; s_{max} = maximale Absenkung; T = Transmissivität; k_f = mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert

Eine Darstellung der regionalen Transmissivitätsverteilung mittels Isolinienplan ist bei dem derzeitigen Erkundungsstand für die Klettgaurne nicht sinnvoll. Unsicherheiten bestehen vor allem im westlichen Teil durch den unmittelbaren hydraulischen Kontakt zwischen dem quartären Kiesgrundwasserleiter und dem unterlagernden Karstgrundwasserleiter. Die daraus resultierenden kumulativen Transmissivitäten wurden bisher nicht durch Pumpversuche untersucht. Eindeutige Hinweise auf deutlich erhöhte Transmissivitäten in diesem Gebiet ergaben sich jedoch im Verlauf der Eichung des Grundwassermodells (vgl. Kap. 9).

4.3.2 Durchlässigkeit

Die fluviatile Aufschotterung in mäandrierenden Schmelzwasserrinnen läßt ebenso wie die lokal sehr unterschiedlichen Nagelfluhbildungen eine größere Variation der Durchlässigkeiten erwarten, die sich hier jedoch offensichtlich über die gesamte Aquifermächtigkeit wieder weitgehend ausgleicht. Darauf weist die vergleichsweise geringe Variation der Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $k_f = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ und $k_f = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ hin, wovon ein gewisser Anteil noch auf Unsicherheiten bei der Bestimmung der k_f -Werte zurückzuführen sein dürfte (Abb. 9). Läßt

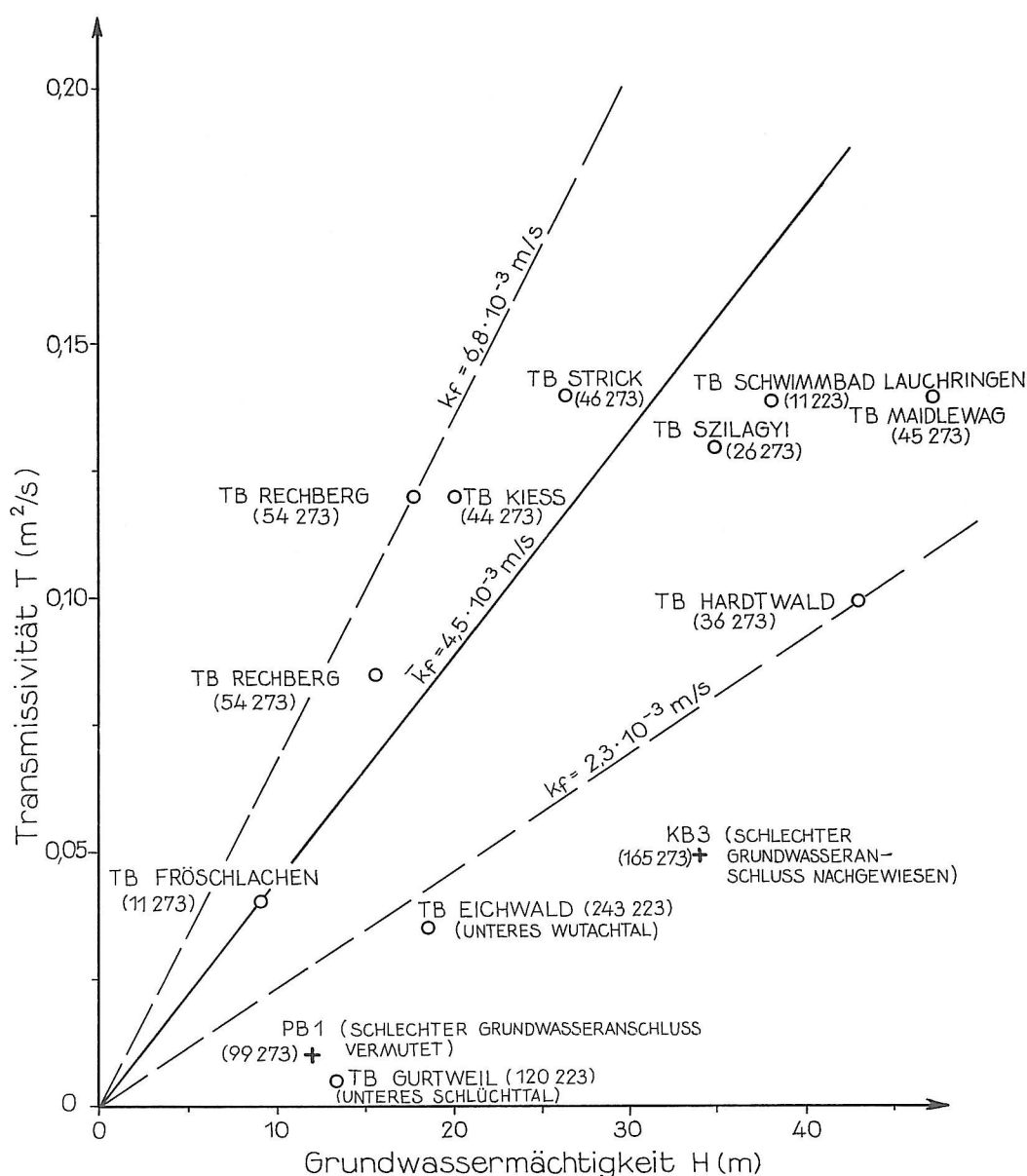


Abb. 9: Transmissivitäten und Durchlässigkeitsbeiwerte; Ergebnisse der Auswertung von Pumpversuchen in der Klettgaurne, im unteren Wutachtal und im unteren Schlüchtal

man die Werte von KB 3 und PB 1 unberücksichtigt, so ergibt sich für die quartäre Füllung der Klettgaurinne ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Daß die in einer Schmelzwasserrinne ständig wechselnden Sedimentationsbedingungen tatsächlich ihre Spuren hinterlassen haben, belegen Untersuchungen zur vertikalen Verteilung der Durchlässigkeit in 6 Bohrungen im Schweizer Teil der Klettgaurinne, bei denen sich z.T. sehr große Anisotropien zeigten (VON MOOS & NÄNNY 1970). Dies steht in Einklang mit den Ergebnissen der Pumpversuche (Kap. 4.1) sowie des Markierungsversuchs (Kap. 4.2).

Im Vergleich zu den Brunnen in der Klettgaurinne wurden niedrigere Durchlässigkeiten für den TB Eichwald im unteren Wutachtal und den TB Gurtweil im unteren Schlüchtal ermittelt (Tab. 4). Die festgestellte Rangfolge mit den höchsten Durchlässigkeiten in der Klettgaurinne und den niedrigsten Werten in den Schottern der Schlucht läßt einen Zusammenhang mit den Sedimentationsbedingungen vermu-

ten. Während in der Klettgaurinne die Feinanteile weitgehend ausgewaschen und abtransportiert wurden, geschah dies im Wutach- und Schlüchtal wegen der geringeren Wasserführung der beiden Schwarzwaldflüsse offensichtlich nur in kleinerem Umfang. Dazu kommt, daß die Schwarzwaldschotter im Vergleich zu den alpinen Schottern der Klettgaurinne eine deutlich geringere Resistenz gegenüber Verwitterungsprozessen aufweisen.

4.3.3 Porenvolumen

Für das effektive Porenvolumen, das meistens mit Hilfe von Pumpversuchen bestimmt wird, liefern die bisher vorliegenden Auswertungen nur grobe Anhaltspunkte. In den meisten Fällen dürfte der Abpumpzeitraum zu kurz gewesen sein, um eine von Leakageeffekten unbeeinflusste Absenkung zu erreichen. Entsprechend bewegen sich die berechneten Speicherkoeffizienten in der Regel zwischen den Werten für gespannte und ungespannte Grundwas-

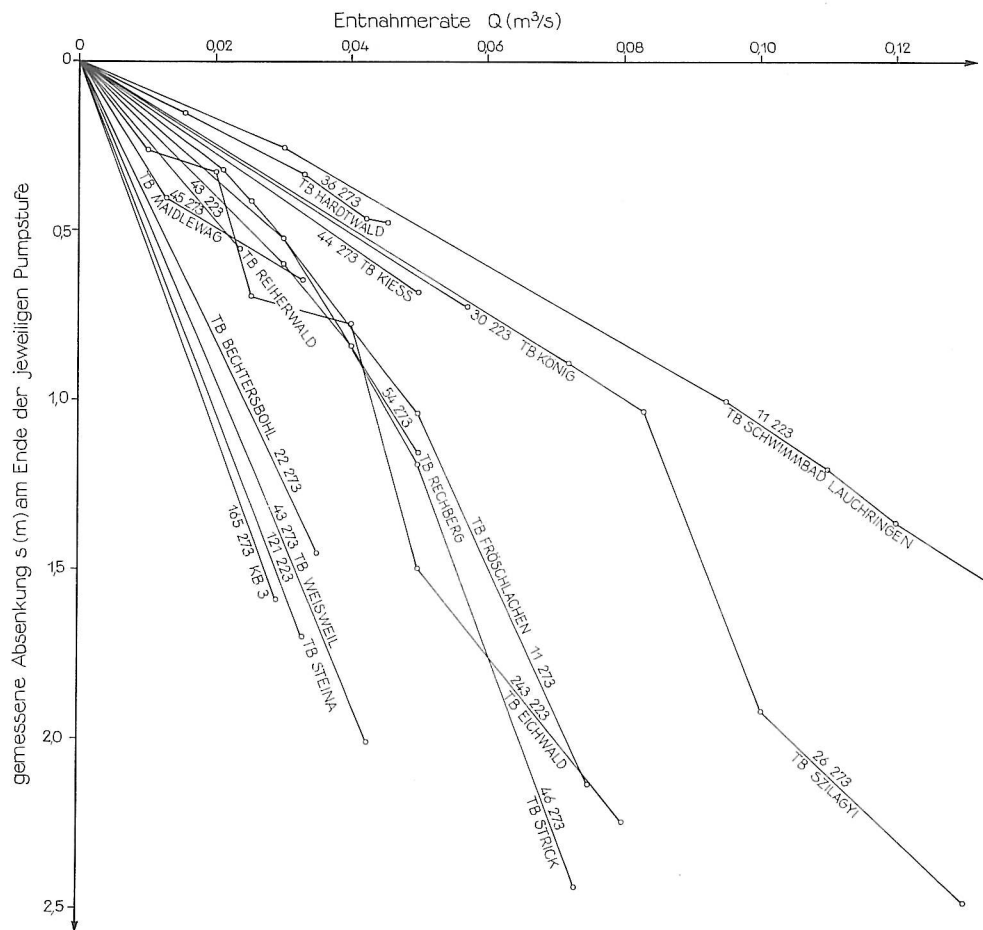


Abb. 10: Leistungscharakteristiken der Brunnen in der Klettgaurinne und im unteren Wutachtal

serverhältnisse. Die wenigen realistischen Schätzwerte für das effektive Porenvolumen liegen bei $n_e = 0,10$.

Unabhängig von den Pumpversuchen wurde das effektive Porenvolumen aus den jahreszeitlichen Grundwasserspiegelschwankungen und der Grundwasserneubildung zu $n_e = 0,12$ abgeschätzt (KÜHNLE-BAIKER 1992).

4.4 Brunnenergiebigkeit

Die Energiebigkeit eines Brunnens ist definiert als Quotient der Entnahmerate und der jeweiligen Absenkung. Sie wird sowohl durch aquiferspezifische wie durch brunnenspezifische Effekte beeinflusst und läßt

sich durch die Leistungscharakteristik des Brunnens darstellen.

In Abb. 10 sind alle für die Klettgaurinne verfügbaren Daten zusammengetragen. Die spezifische Energiebigkeit, d. h. die Entnahmerate pro 1 m Absenkung, schwankt zwischen $Q = 0,018 \text{ m}^3/\text{sm}$ im Versuchsbrunnen KB 3 (165 273) und $0,095 \text{ m}^3/\text{sm}$ im TB Lauchringen (11 223). Im Mittel liegt die spezifische Energiebigkeit bei rd. $0,040 \text{ m}^3/\text{sm}$. Eine regionale Häufung der Brunnen mit hohen bzw. niedrigen Energiebigkeiten läßt sich nicht feststellen. Die in Abb. 10 erkennbaren Unterschiede in der Energiebigkeit dürften zum großen Teil auf brunnenspezifische Effekte zurückzuführen sein. Bezüglich der Variation der Transmissivität in der Klettgaurinne wird auf Kap. 4.3.1 verwiesen.

5 Hydrologie

5.1 Hydrologisches Meßnetz

Das im Untersuchungsgebiet vorhandene hydrologische und meteorologische Meßnetz ist in Karte I dargestellt (Stand 1990). Es umfaßt Klima- und Niederschlagsmeßstationen, Grundwassermeßstellen und Abflußpegel an oberirdischen Gewässern. Außerhalb des Kartiergebiets gelegene meteorologische Meßstationen sind, soweit ihre Meßergebnisse für die Wasserbilanz herangezogen wurden, in Karte VIII dargestellt.

5.1.1 Niederschlags- und Klimastationen

Zur Beurteilung der klimatischen Verhältnisse in der Klettgaurinne und im unteren Wutachtal kann auf die Daten der Klimastationen Waldshut und Wutöschingen des Deutschen Wetterdienstes sowie Hallau und Schaffhausen der Schweizer Meteorologischen Anstalt zurückgegriffen werden, wobei der Station Hallau aufgrund ihrer zentralen Lage in der Klettgaurinne eine besondere Bedeutung zukommt (Abb. 11).

Ergänzend zu den Klimastationen liefern die Niederschlagsstationen Griesen und Schleithelm des Deutschen Wetterdienstes sowie Wilchingen der Schweizer Meteorologischen Anstalt Meßwerte zur Beurteilung der Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet.

5.1.2 Grundwassermeßstellen und Quellen

Das vor Beginn der Untersuchungen vorhandene Grundwassermeßstellennetz bestand im östlichen Teil überwiegend aus kleineren lokalen Meßnetzen im Umfeld der bestehenden Grundwasserfassungen. Im westlichen Teil gab es darüber hinaus noch eine größere Anzahl von privaten Brunnen (Brauchwasser- und Wärmepumpenbrunnen) sowie Grundwassermeßstellen im Umfeld von Grundwasserschadensfällen und Altlasten. Auch im Zusammenhang mit den Planungen für die Trassierung der A 98 und für die Rheinstaustufe Koblenz/Kadelburg wurden umfangreiche lokale Meßnetze angelegt, die z. T. noch erhalten sind.

Im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung wurde das Grundwassermeßstellennetz um 12 Meßstellen erweitert, die nahezu ausschließlich im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets errichtet wurden, einerseits, um die großen Lücken in diesem Bereich zu schließen, andererseits, weil von Beginn an der Schwerpunkt der Erkundung im östlichen Teil des Kartiergebiets lag.

In der Karte I sind alle nachweislich vorhandenen Grundwassermeßstellen dargestellt, die bei der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) registriert sind (Stand 1990). Die zugehörige LfU-Nr. ist jeweils angegeben. Allgemeine Angaben zu den Meßstellen finden sich in Anl. 1.

Von den 166 Grundwassermeßstellen gehören bisher lediglich 5 im Gebiet Koblenz/Kadelburg zum

grundwasserhydrologischen Landesmeßnetz. Das derzeit bestehende Grundwasserstandsmeßnetz bedarf daher einer Erweiterung mit dem Ziel, an ausgewählten, repräsentativen Grundwassermeßstellen den Grundwasserstand und dessen zeitlichen Verlauf zu erfassen. Dies ist besonders im Hinblick auf eine eventuelle spätere instationäre Kalibrierung des mathematischen Grundwassermodells der Klettgaurinne von Bedeutung.

Bei einer Fortsetzung der hydrogeologischen Kartierung Klettgau sind darüber hinaus im westlichen Teil des Kartiergebiets einige tiefe, im Muschelkalkgrundwasserleiter verfilterte Grundwassermeßstellen erforderlich, um die hydraulische Wechselwirkung zwischen Porengrundwasserleiter und Kluftgrundwasserleiter näher zu erkunden.

In den thematischen Karten sind nur die Grundwassermeßstellen eingetragen, deren Meßwerte für die Konstruktion der jeweiligen Darstellung herangezogen wurden.

Neben den Grundwassermeßstellen sind in Karte I noch 33 Quellen eingetragen (vergl. auch Anl. 1). Eine große Anzahl kleinerer Quellen findet sich außerdem in den geologischen Karten von BAUSCH (1988), SCHÖBER (1989) und HOFMANN (1981). Angaben über Quellschüttungen liegen nur wenige vor.

5.1.3 Pegel an oberirdischen Gewässern

Die Lage der Pegel im Untersuchungsgebiet ist in Karte I dargestellt.

Die Wasserstände und Abflüsse der oberirdischen Gewässer der Klettgaurinne werden an drei Pegeln gemessen:

- Schreibpegel Klingengraben (Erzingen); Betreiber: Kantonales Tiefbauamt Schaffhausen
- Lattenpegel Klingengraben (Oberlauchringen); Betreiber: Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut
- Lattenpegel Kotbach (Oberlauchringen); Betreiber: Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut

Am Schreibpegel Klingengraben (Erzingen) wird der Zufluß im Klingengraben aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne erfaßt. Es liegt ein umfangreiches, aber lückenhaftes Datenmaterial aus den Jahren 1970 bis 1980 vor. Seither wurden keine Abflußmessungen mehr durchgeführt.

Die beiden Lattenpegel Klingengraben (Oberlauchringen) und Kotbach (Oberlauchringen) wurden im Zusammenhang mit der Hydrogeologischen Kartierung Klettgau neu installiert. Der Lattenpegel Klingengraben (Oberlauchringen) erfaßt dabei den Abfluß im Klingengraben unmittelbar vor dem Zusammenfluß mit dem Schwarzbach, der Pegel Kotbach (Oberlauchringen) den gemeinsamen Abfluß von Klingengraben und Schwarzbach unmittelbar nach dem Zusammenfluß.

Für die beiden Lattenpegel liegen aus den Jahren 1986 bis 1988 13 bzw. 14 Einzelmessungen vor und aus dem Zeitraum 21.2.1989 bis 20.2.1990 wöchentliche Ablesungen.

Neben den oben genannten Pegeln gibt es einen Schreibpegel an der Wutach bei Oberlauchringen, der von der Landesanstalt für Umweltschutz betrieben wird. Der Pegel erfaßt den Abfluß in der Wutach vor dem Zusammenfluß mit dem Kotbach.

5.2 Klima

Der Südostabhang des Schwarzwalds und der Klettgau liegen innerhalb der feuchtemperierten Klimazone Mitteleuropas. Das Großklima wird durch den Zustrom feuchter Meeresluftmassen vom Atlantik bestimmt. Über das Hochrheintal strömt von Westen her Warmluft ein, während von Nordosten über die Hochfläche der Baar Kaltluft zufließt, die zu tiefen Temperaturen im Winter führt. Als Folge davon vergrößert sich die Amplitude zwischen wärmstem und kältestem Monat und damit die Kontinentalität des Klimas (NEUWIRTH 1971, SCHÜEPP 1973). Das langjährige Monatsmittel der Temperatur, gemessen an der Klimastation Hallau, beträgt im Zeitraum 1975 – 1989 8,7 °C, die mittlere monatliche Lufttemperatur schwankt zwischen – 0,9 °C im Januar und 18,1 °C im Juli. Im gleichen Zeitraum lag die Zahl der jährlichen Eistage zwischen 4 und 39, im Mittel bei 21, die Zahl der Frosttage zwischen 80 und 114 bei einem Mittelwert von 92.

Die relative Luftfeuchtigkeit erreicht im Tagesmittel 76 %, das Minimum beträgt 58 %. Die mittlere jährliche Sonnenscheindauer liegt bei 1490 Stunden, die Bewölkung bei 69 %. Hauptwindrichtung im Klettgau und im unteren Wutachtal ist Südwesten, in deutlich geringerem Umfang Nordosten. Die Niederschlagsverhältnisse sind im Klettgau und unteren Wutachtal in erster Linie von der vorherrschenden Windrichtung beeinflusst. Entsprechend dem Durchzug der Hauptwetterfronten von Südwesten nach Nordosten

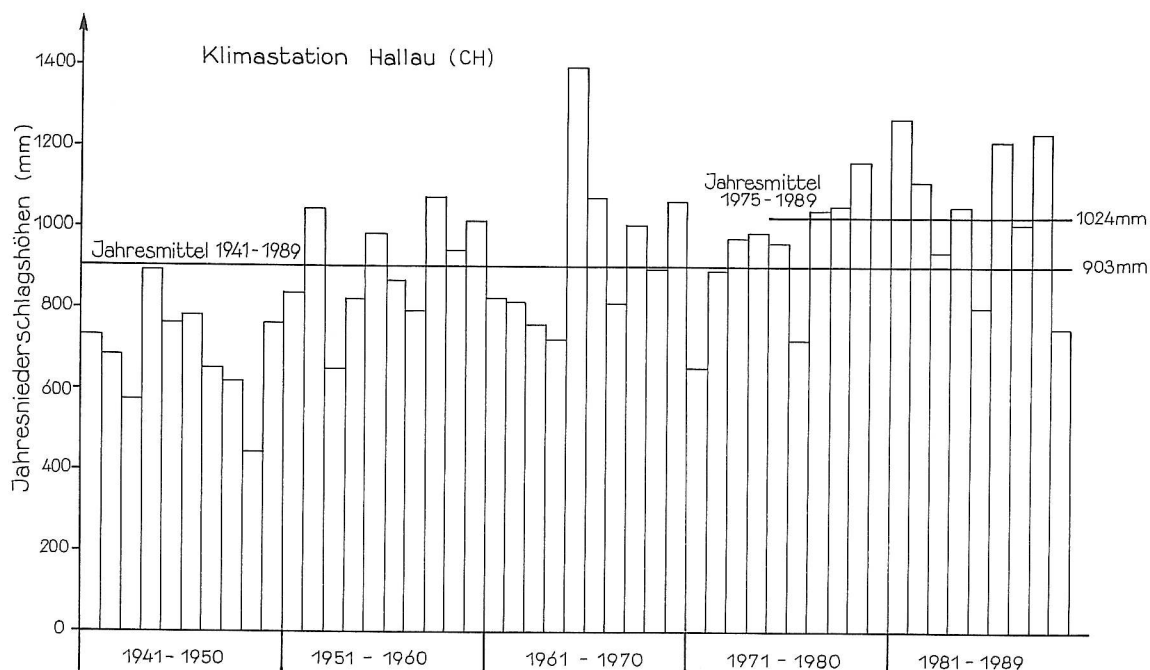


Abb. 11: Jahresniederschläge an der Klimastation Hallau für den Zeitraum 1941 – 1989; Mittelwerte für den Zeitraum 1941 – 1989 und 1975 – 1989 (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)

nehmen die mittleren Jahresniederschläge von Waldshut über Griesen und Hallau bis nach Schaffhausen stetig ab. Für den Zeitraum 1975 – 1989 betragen die Jahresmittelwerte für die Meßstationen Waldshut 1216 mm, Griesen 1050 mm, Hallau 1024 mm und Schaffhausen 928 mm.

In den letzten Jahrzehnten zeigen die Jahresniederschläge in der Klettgaurinne eine eindeutige Tendenz zu höheren Werten. So liegt der mittlere Jahresniederschlag für die Klimastation Hallau im zentralen Teil der Klettgaurinne für den Zeitraum 1941 – 1989 bei 903 mm, für den Zeitraum 1975 – 1989 jedoch bei 1024 mm (Abb. 11).

Für die Wasserbilanz (Kap. 5.6.5) wird für die gesamte Klettgaurinne ein mittlerer Gebietsniederschlag von 1000 mm/a angesetzt, für den deutschen Teil des Bilanzierungsgebiets 1050 mm/a.

Die außerhalb der Klettgaurinne gelegene Meßstation Schleithelm weist für den Zeitraum 1975 – 1989 mit 830 mm einen deutlich niedrigeren Mittelwert für die Jahresniederschläge auf, zurückzuführen auf die Leewirkung des Südschwarzwalds.

km 1,2 die Schlucht und bei Fluß-km 3,9 die Steina aufnimmt. Östlich von Lauchringen sind es der Klingengraben und der Schwarzbach, in den bei Riedern a.S. der Seegraben einmündet. Klingengraben und Schwarzbach vereinigen sich bei Oberlauchringen zum Kotbach, der nach ca. 2 km Flußlänge in die Wutach mündet.

Für Klingengraben, Schwarzbach und Seegraben sind keine langjährigen Abflußmessungen vorhanden, so daß der mittlere Abfluß allein aus den Messungen im Abflußjahr 1989 ermittelt wurde. Darauf wird in Kap. 5.6.2 näher eingegangen.

Hauptgewässer der Klettgaurinne

	LfU-Nr.
Wutach	219 8000
Klingengraben	219 8650
Schwarzbach	219 8669
Seegraben	219 8662
Kotbach	219 8690

5.3.1 Wutach

Das Einzugsgebiet der Wutach liegt überwiegend auf der Ostabdachung des Schwarzwalds und z.T. auf dem Westabhang des Randen und umfaßt in der Höhe des Pegels Oberlauchringen eine Fläche von 617 km². Das Abflußverhalten entspricht in etwa

5.3 Oberirdische Gewässer

Das bedeutendste Fließgewässer im Untersuchungsgebiet ist im Westen die Wutach, die bei Fluß-

dem Typ eines voralpinen Flusses mit starker Mittelwasserführung in den Monaten Februar bis Mai zur Zeit der Schneeschmelze. Besonders sommerliche Starkniederschläge können in dem bergigen Einzugsgebiet große Hochwasser verursachen.

Die Gewässerhauptzahlen der Wutach beim Pegel Oberlauchringen sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Ein großer Teil der Wutach, etwa ab Eggingen, ist von

Hochwasserdämmen begleitet. Unterhalb des Pegels Oberlauchringen bis zur Mündung steht die Wutach in Wechselwirkung mit dem Grundwasser der Klettgaurinne (Landesstelle für Gewässerkunde 1957). Auf den übrigen Teilstrecken liegt die Gewässersohle z. T. erheblich über der Grundwasseroberfläche.

Unterhalb von Tiengen nimmt die Wutach die gereinigten Abwässer aus der Verbandskläranlage Klettgau-West auf.

Zeitraum		Winter	Sommer	Jahr	
1912 – 1990	Abflußraten* (m ³ /s)				
	NQ	0,24	0,07	0,07	09.08.1921
	MNQ	2,89	1,90	1,67	
	MQ	12,10	6,26	9,16	
	MHQ	98,63	47,13	104,00	
	HQ	249,60	204,10	249,60	23.12.1918
1912 – 1987	HQ1	82,67	38,50	86,38	
	HQ5	153,40	63,96	155,48	
1912 – 1990	Abflußspende* (l/s km ²)				
	MNq	4,69	3,08	2,71	
	Mq	19,61	10,15	14,84	
	MHq	159,86	76,83	168,56	

* Bezeichnung gemäß Deutschem Gewässerkundlichem Jahrbuch

5.3.2 Klingengraben

Das Einzugsgebiet des Klingengrabens liegt im wesentlichen auf dem Reßchberg-Hallau-Rücken. Von seiner Gesamtfläche von 92 km² liegt der überwiegende Teil auf Schweizer Staatsgebiet. Die Mittelwasserführung, die aus den vorliegenden Messungen von 1989 ermittelt wurde, liegt bei 0,430 m³/s. Die Abflußspende beträgt demnach ca. 4,7 l/s km². Seitliche Zuflüsse erhält der Klingengraben nur in geringerem Umfang und zwar bei Erzingen durch den Rußsgraben und bei Rechberg durch den Landgraben.

Nordwestlich des Bahnhofs Grießen nimmt der Klingengraben den Ablauf aus der Kläranlage Klettgau-Erzingen auf.

5.3.3 Schwarzbach

Das oberirdische Einzugsgebiet des Schwarzbachs umfaßt beim Zusammenfluß mit dem Klingengraben

67 km² und liegt hauptsächlich im Gebiet des Kleinen Randen sowie im Südosten zu einem geringen Teil auf Schweizer Gebiet. Durch die steilen Talflanken und das verhältnismäßig große Sohlengefälle von bis zu 16,4 ‰ im östlichen Teil des Gewässers können Starkniederschläge zu gefährlichen Hochwassern führen. Das Hochwasser vom 9.2.58 war Veranlassung für den grundlegenden Ausbau des Gewässers und für seine besonders im Mittelwasserbereich sehr massive Befestigung.

Geringe oberirdische Zuflüsse erhält der Schwarzbach u. a. durch

- den Ritzlibach bei Buchenloh
- den Mühlbach bei Dettighofen
- den Kotbach bei Bühl
- das Netzbächle bei Grießen
- den Talbach bei Geißlingen

Ein Teil der zufließenden oberirdischen Gewässer fällt in Zeiten geringen Niederschlags trocken.

Den Hauptzufluß bildet der Seegraben, der unterhalb Riedern a. S. in den Schwarzbach mündet.

Südlich von Dettighofen wird der Ablauf der Kläranlage Dettighofen und westlich von Geißlingen der Ab-

lauf der Kläranlage Klettgau-Geißlingen in den Schwarzbach eingeleitet.

5.3.4 Seegraben

Das Einzugsgebiet des Seegrabens reicht von der Mündung in den Schwarzbach bis zur Landesgrenze im Osten des Untersuchungsgebiets. Auf schweizerischem Staatsgebiet durchfließt der Seegraben das von sehr steilen Talflanken begrenzte Wangental. Das gesamte oberirdische Einzugsgebiet umfaßt eine Fläche von 27,5 km², wovon 19,4 km² auf Schweizer Gebiet liegen.

Da Meßeinrichtungen fehlen, kann über die Abflußspende keine exakte Angabe gemacht werden. Wegen der in etwa gleichen hydrologischen Gegebenheiten im Seegraben- und Schwarzbachtal läßt sich jedoch aus der Niederschlagsverteilung ein mittlerer Abfluß bei der Mündung in den Schwarzbach von ca. 145 l/s errechnen, bei einer Abflußspende von ca. 5,2 l/s km². Nennenswerte seitliche Zuflüsse sind außer dem Steinbächle bei Weisweil nicht vorhanden.

5.3.5 Kotbach

Der Kotbach beginnt mit dem Zusammenfluß von Klingengraben und Schwarzbach und mündet nach einer Fließstrecke von rd. 2 km in die Wutach. Das Gewässer ist stark ausgebaut und durch Sohlbauwerke massiv in seiner Gewässerdynamik gestört. Sein Einzugsgebiet ist praktisch identisch mit dem Gesamteinzugsgebiet von Klingengraben, Schwarzbach und Seegraben. Der mittlere Abfluß liegt bei 0,780 m³/s bei einer Abflußspende von ca. 4,8 l/s km².

5.4 Grundwasser

5.4.1 Grundwasseroberfläche

Die Karte der Grundwasseroberfläche (Karte V) zeigt die räumliche Verteilung der Grundwasserstände am Stichtag 6. 11. 1989. Sie stützt sich auf 73 Meßpunkte, die in Karte V eingetragen sind. Der Grundwassergleichenplan erlaubt die Ermittlung von Richtung und Größe des Grundwassergefälles und liefert damit die Grundlage für die Beurteilung der Grundwasserströmung und deren Randbedingungen. Zum Zeitpunkt

der Stichtagsmessung lagen die Grundwasserstände im Bereich der langjährigen Mittelwerte.

Gemäß dem Grundwassergleichenplan erfolgt im östlichen Teil der Klettgaurinne ein gleichmäßiger, nahezu rinnenparalleler Grundwasserabstrom. Lediglich im Bereich der Deutsch-Schweizer Grenze macht sich ein seitlicher Zustrom aus dem Wangental bemerkbar.

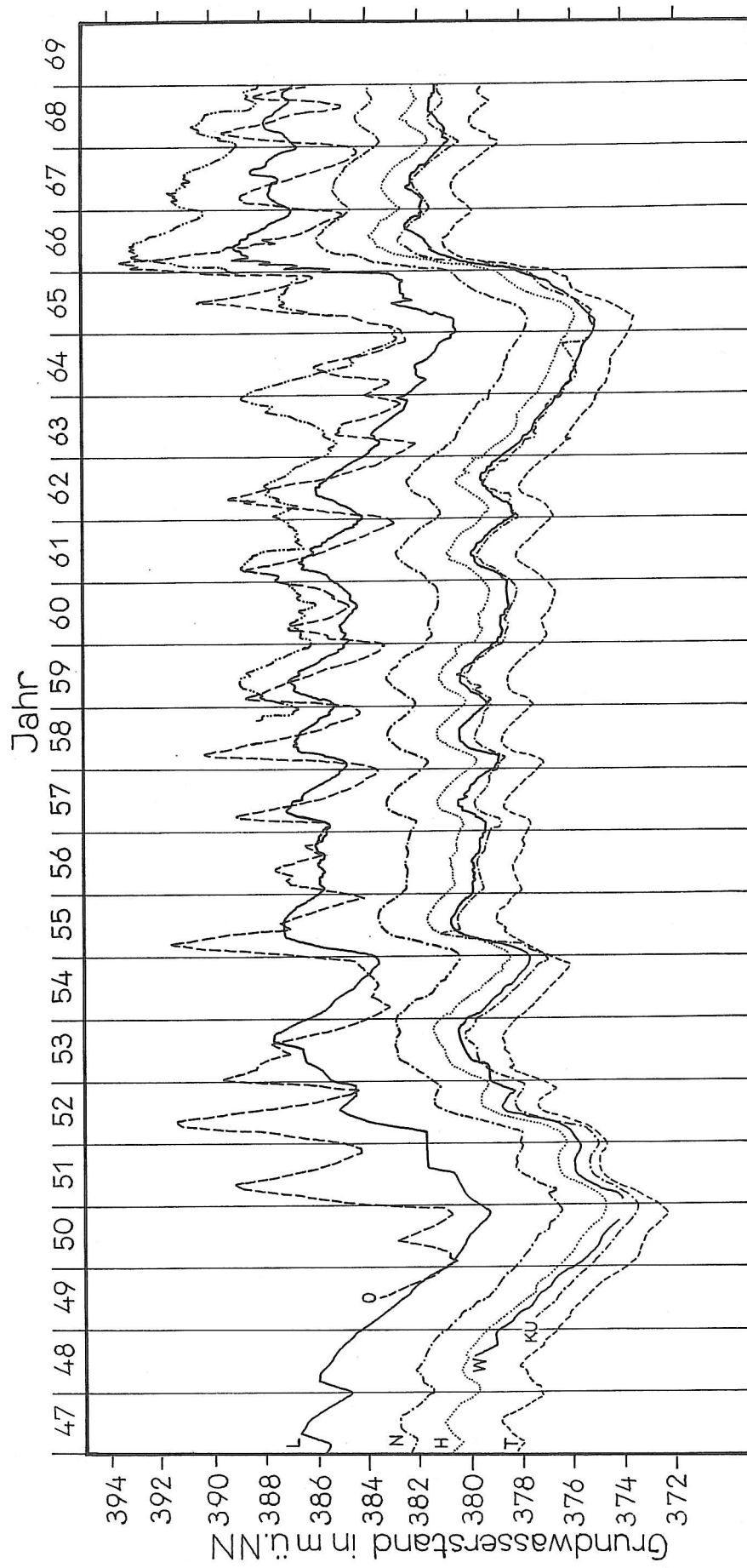
Ursache für das weitgehend ungestörte Strömungsbild in diesem Bereich ist einerseits die geringe Durchlässigkeit der unterlagernden Festgesteinschichten, die größere seitliche Grundwasserzutritte und -verluste verhindert, andererseits die großräumig homogene Durchlässigkeitsverteilung im Grundwasserleiter.

Da infolge der Grundwasserneubildung der Grundwasserdurchsatz von Osten nach Westen stetig ansteigt (Kap. 5.6.4), sich andererseits der Rinnenquerschnitt von Erzingen bis Bechtersbohl allmählich verjüngt, nimmt das Grundwassergefälle von Osten nach Westen zu, von 1,8 ‰ bei Erzingen bis auf 4,0 ‰ bei Bechtersbohl. Westlich von Bechtersbohl öffnet sich die Rinne wieder, das Gefälle sinkt bis zur Wutach auf 2,7 ‰.

Westlich der Wutach spiegelt der Grundwassergleichenplan die komplizierten hydrogeologischen Verhältnisse wider, die in diesem Gebiet herrschen. So lassen sich sowohl südlich wie nördlich des Bürgerwalds extrem steile Gradienten bis 34 ‰ nachweisen, die weiter im Südwesten beim Übergang zur Niederterrasse des Rheins wieder auf wenige ‰ abnehmen. In bezug auf die Grundwasserfließrichtung ist in diesem Bereich großräumig ein Umbiegen nach Südwesten festzustellen, wobei jedoch lokal davon stark abweichende Fließrichtungen auftreten können. Ursache für die komplizierten Grundwasserströmungsverhältnisse in diesem Gebiet sind u.a. die canyonartige Verengung der quartären Rinne bei Lauchringen, der Zusammenschluß der Grundwasserströme aus dem Wutachtal und der Klettgaurinne, der hydraulische Kontakt des Kiesgrundwasserleiters zu dem unterlagernden verkarsteten Muschelkalkgrundwasserleiter sowie die Vorflutwirkung von Wutach und Rhein.

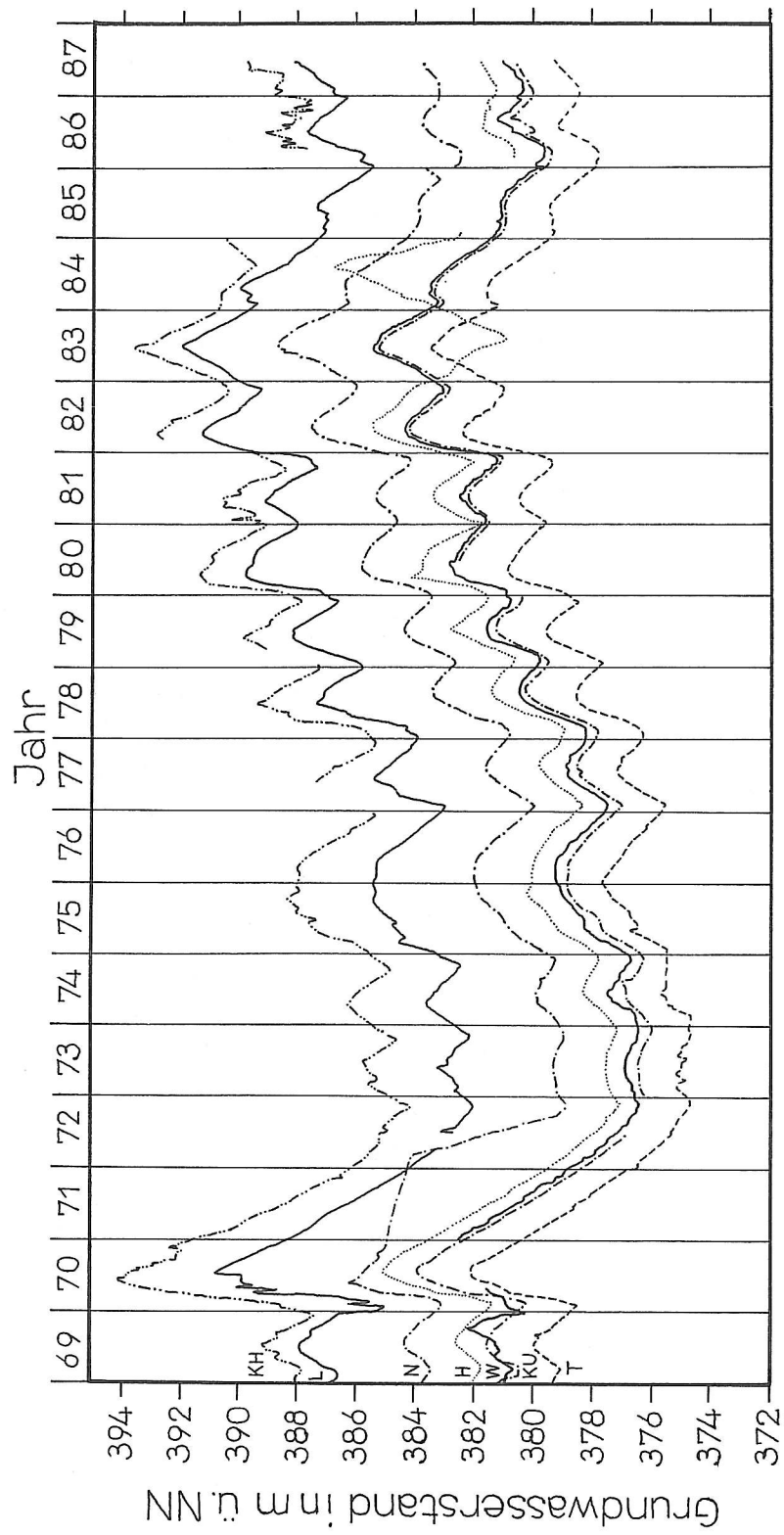
5.4.2 Schwankungen der Grundwasseroberfläche

Schwankungen der Grundwasseroberfläche sind das Ergebnis von Grundwasservorratsänderungen, die natürliche und anthropogene Ursachen haben



KH = Kieswerk Hard, L = Löhningen, N = Neunkirch, H = Hallau Hero, W = Wilchingen, KU = Kieswerk Unterneuhau, T = Trasadingen, O = Osterfingen

Abb. 12: Langfristige Grundwasserstandsganglinien ausgewählter Meßstellen und Brunnen aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)



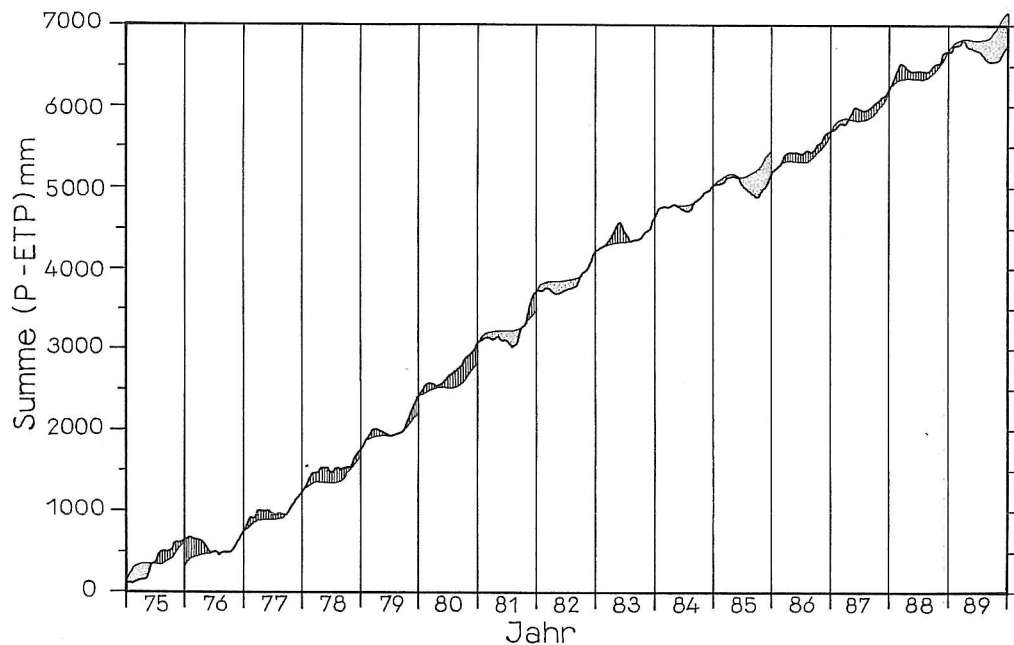


Abb. 13: Summenlinie der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag minus potentielle Evapotranspiration) und deren Abweichung vom 15jährigen Mittel; Daten der Klimastation Hallau

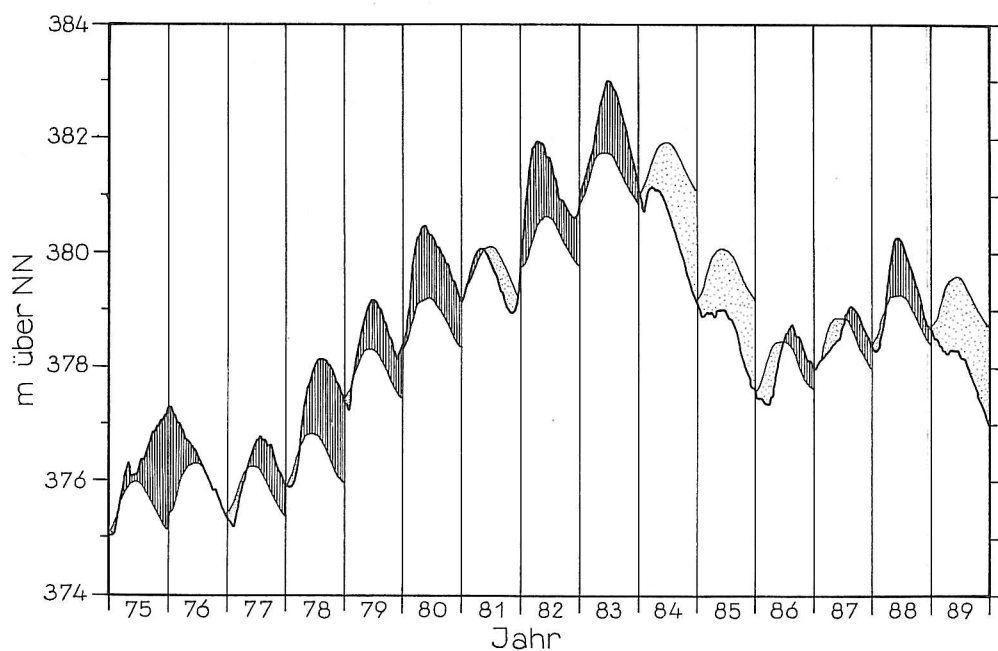
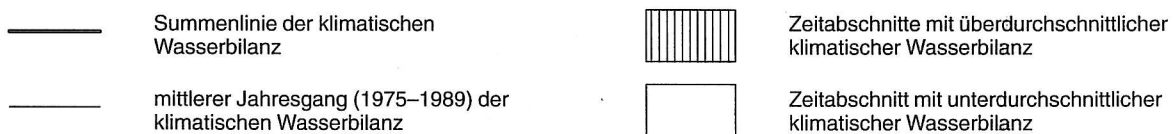
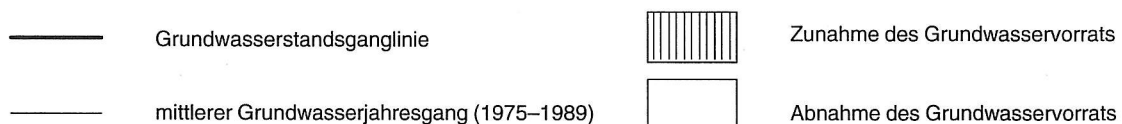


Abb. 14: Grundwasserstandsganglinie des TB Trasadingen (CH) und Abweichungen von den 15jährigen Monatsmittelwerten (Angaben des Kantonalen Tiefbauamts Schaffhausen)



können. Natürliche, nicht durch Entnahmen beeinflusste Grundwasserstandsganglinien spiegeln die Zusammenhänge zwischen Grundwassergang, Grundwasserneubildung und Grundwasserumsatz wider.

Die ältesten systematischen Aufzeichnungen von Grundwasserständen in der Klettgaurinne sind in GUYEN (1938) beschrieben. Die dort dargestellten Grundwasserstandsganglinien für den TB Hero bei Hallau (CH) reichen von 1921 bis 1937.

Im Schweizer Teil der Klettgaurinne wird seit 1947 eine Reihe von Brunnen und Grundwassermeßstellen systematisch beobachtet. Die Ergebnisse dieser Messungen (Abb. 12) bilden die wichtigste Grundlage für die Beurteilung der langfristigen Schwankun-

gen der Grundwasseroberfläche in der Klettgaurinne.

Demgegenüber reichen die systematischen Grundwasserstandsmessungen im deutschen Teil der Klettgaurinne nur bis 1983 zurück.

Die Charakteristik der Grundwasserstandsganglinien (Abb. 12) zeigt langfristige Schwankungen, die von periodischen jährlichen Schwankungen überlagert werden. Die zweifache Amplitude der langfristigen Wasserstandsänderungen beträgt z. T. über 10 m. Im langfristigen Grundwassergang treten Grundwassertiefstände in den Jahren 1950, 1965 und 1973 auf, während die höchsten Grundwasserstände in den Jahren 1966, 1970 und 1983 registriert wurden.

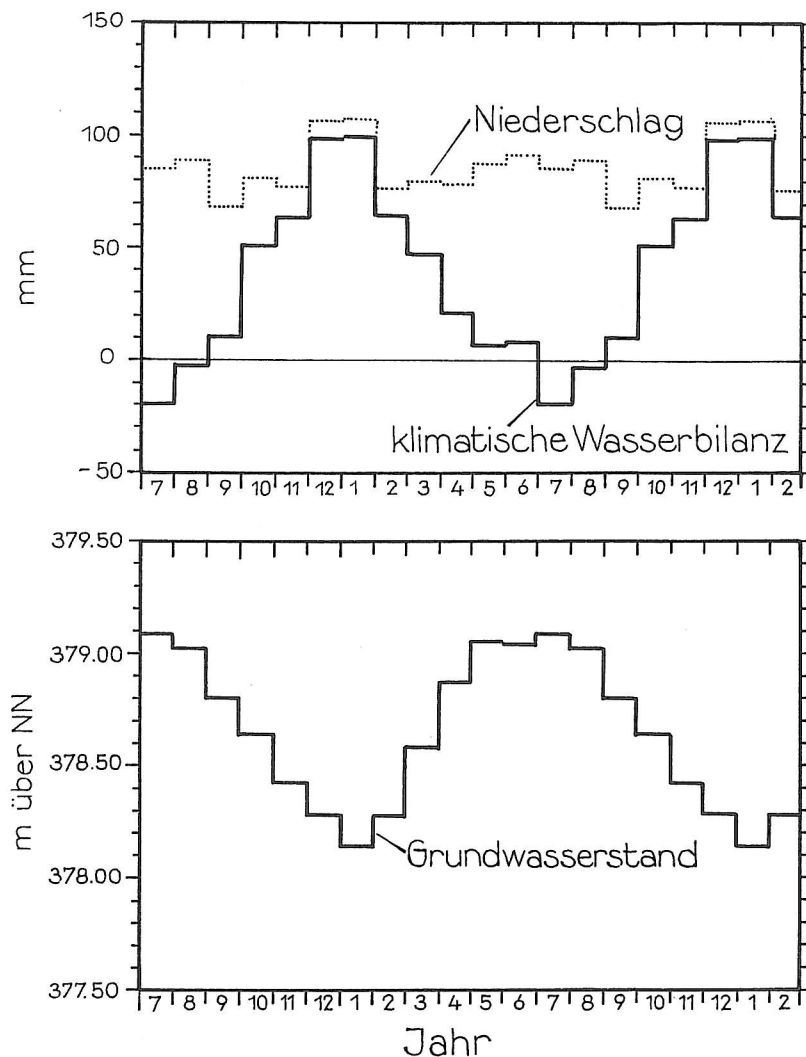


Abb. 15: Monatliche Mittelwerte des Niederschlags, der klimatischen Wasserbilanz (P-ETP) der Klimastation Hallau und des Grundwasserstands im TB Trasadingen (CH) für den Zeitraum 1975 – 1989

Zur Klärung der Ursachen der langfristigen Grundwasserstandsschwankungen wurden diese mit den maßgeblichen klimatischen Faktoren verglichen. Diese lassen sich durch die klimatische Wasserbilanz erfassen, die als Summe der monatlichen Differenz von Niederschlag und potentieller Evapotranspiration ($\Sigma(P-ETP)$) definiert ist (MATTHESS & UBELL 1983). Die Abweichungen der klimatischen Wasserbilanz vom langjährigen Mittel sind für den Zeitraum 1975 – 1989 in Abb. 13 dargestellt. Dem gegenübergestellt werden die Änderungen des Grundwasservorrats, wie sie sich aus der Analyse der Grundwasserstandsganglinie des TB Trasadingen (CH) ergeben (Abb. 14). Der Vergleich zeigt, daß in den Jahren mit unterdurchschnittlicher klimatischer Wasser-

bilanz der Grundwasservorrat abnimmt, in Jahren mit überdurchschnittlicher klimatischer Wasserbilanz der Grundwasservorrat steigt. Daraus ist zu schließen, daß die langfristigen Schwankungen der Grundwasseroberfläche in der Klettgaurinne durch langfristige Klimaschwankungen hervorgerufen werden.

Eine Analyse der langfristigen Variationen des Grundwasserstands in anderen Teilen der Klettgaurinne ist nicht möglich, da keine weiteren ausreichend langen Meßreihen vorliegen. Tendenziell sind vergleichbare Schwankungen auch weiter im Westen zu erwarten, wobei mit zunehmender Annäherung an die Vorflut die Amplituden generell abnehmen dürften.

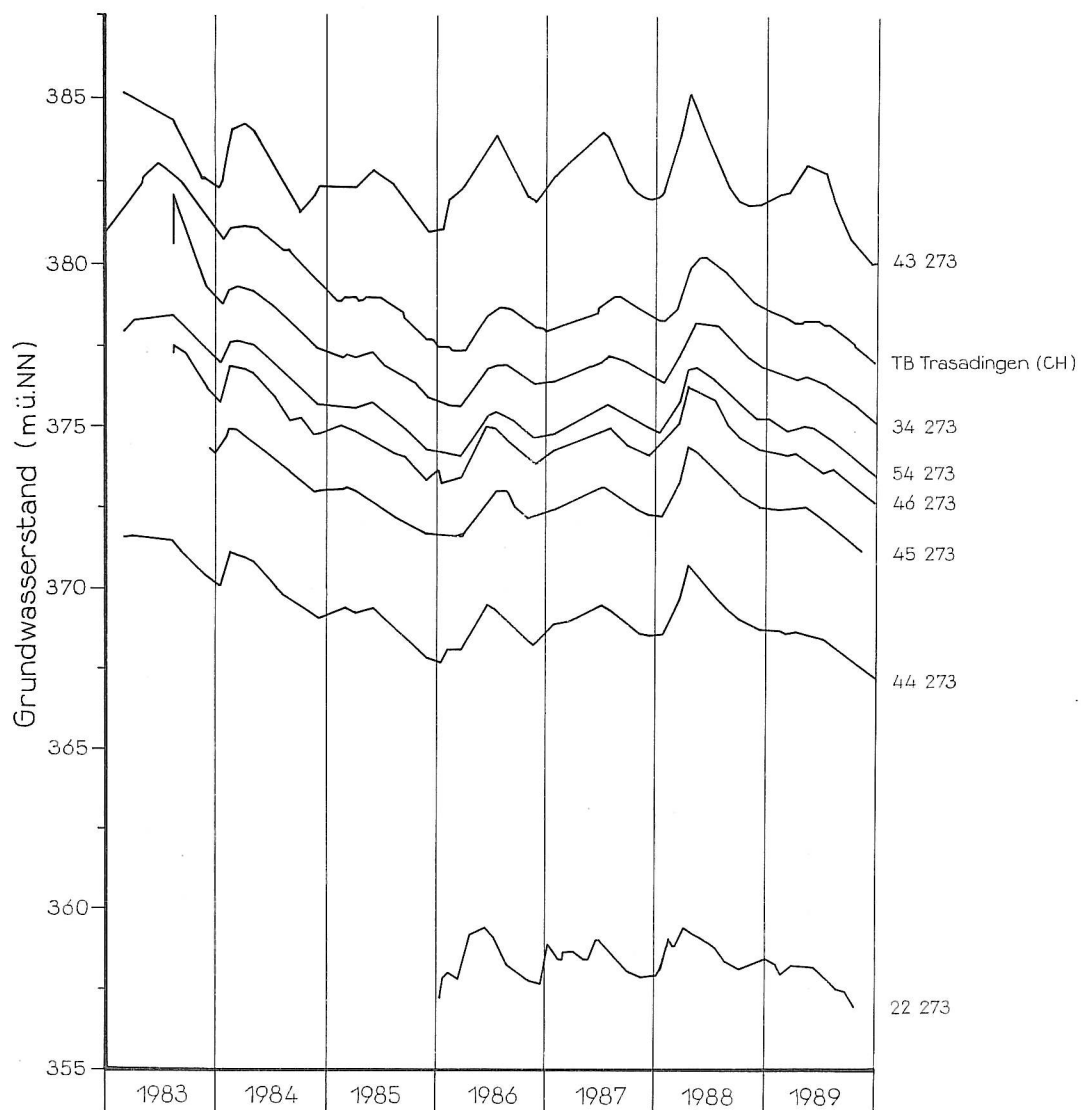


Abb. 16: Grundwasserstandsganglinien von Grundwassermeßstellen im deutschen Teil der Klettgaurinne östlich der Einmündung des Wutachtals (vergl. Karte I)

Neben den langfristigen Schwankungen der Grundwasseroberfläche ist in der Ganglinie des TB Trasadingen (CH) auch ein ausgeprägter Jahresgang erkennbar (Abb. 15). Eine Auswertung mittels Fourieranalyse (PLUM 1978) ergab für den Zeitraum 1975 – 1989 für die jährlichen Variationen eine mittlere Amplitude von 0,46 m. Dies entspricht einer Differenz von 0,92 m zwischen dem winterlichen Grundwassersertiefstand und dem sommerlichen Grundwasserhochstand. Gegenüber dem Jahresgang der klimatischen Wasserbilanz (P-ETP) ergibt sich eine zeitliche Verschiebung von rd. 6 Monaten (Abb. 15). Für den östlichen Teil der Klettgaurinne entspricht dies der mittleren Antwortzeit der Grundwasseroberfläche auf die Grundwasserneubildung. Infolge der zeitlichen Verzögerung treten die Grundwasserhöchststände im Juni/Juli, die Tiefststände im De-

zember/Januar auf.

Unterschiede der jahreszeitlichen Variationen des Grundwasserspiegels innerhalb der Klettgaurinne lassen sich anhand von Abb. 16 und 17 beurteilen. Im östlichen Teil bis zur Wutach gleichen die Gangliniencharakteristiken weitgehend der des TB Trasadingen (Abb. 14), wobei die Unterschiede im Detail u.a. auf unterschiedlichen Meßintervallen beruhen. Ausnahmen von dieser generellen Tendenz zeigen der TB Weisweil (43 273) mit deutlich größeren Amplituden des Jahresgangs und der TB Bechtersbohl (22 273) mit kleineren Amplituden. Beim TB Weisweil ist der verstärkte Grundwasserzustrom aus dem Wangental für den stärker ausgeprägten Jahresgang verantwortlich, beim TB Bechtersbohl dürfte sich bereits die Nähe zur Vorflut, d.h. zur Wutach, dämpfend auf die Ganglinie auswirken.

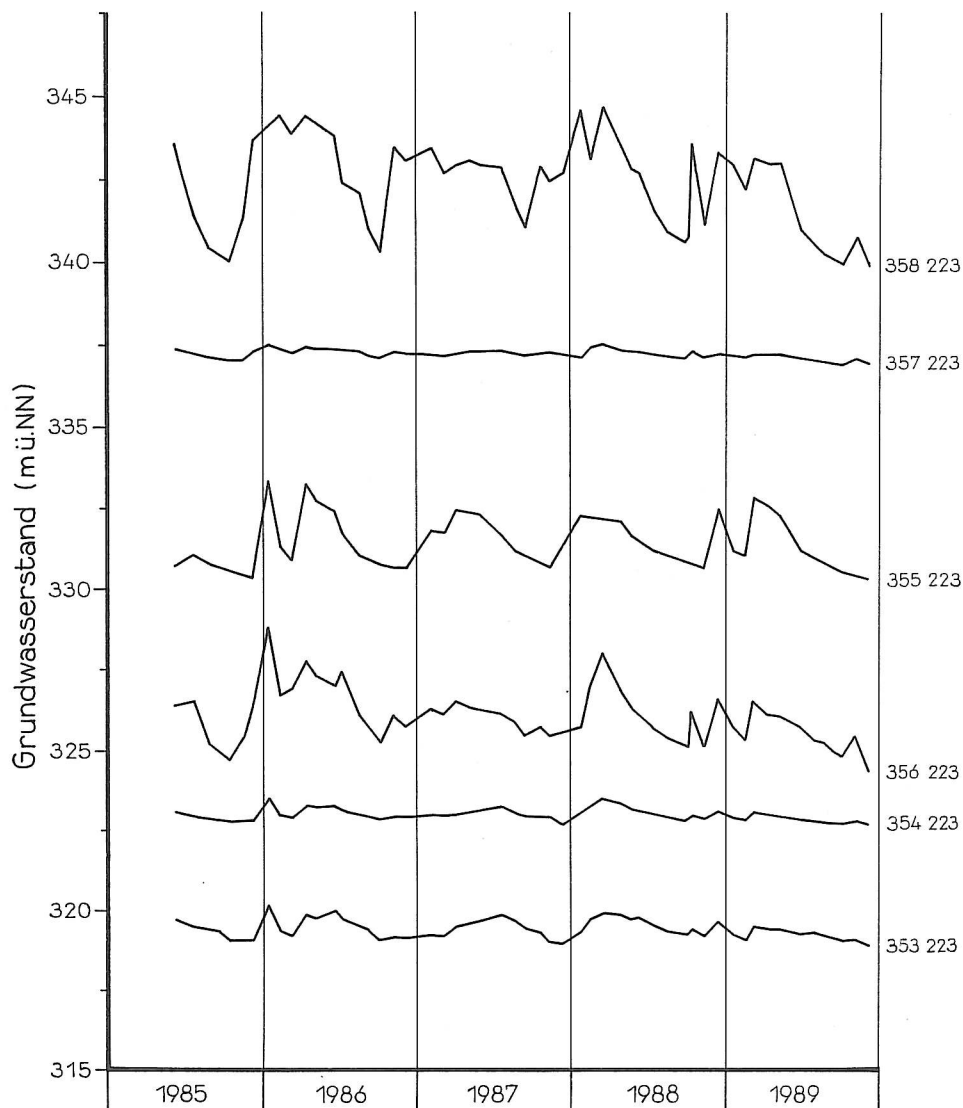


Abb. 17: Grundwasserstandsganglinien von Grundwassermeßstellen im deutschen Teil der Klettgaurinne westlich der Einmündung des Wutachtals (vergl. Karte I)

Für das Untersuchungsgebiet westlich der Einmündung des Wutachtals können die Verhältnisse nur anhand von einigen Beispielen dargestellt werden, da systematische Messungen in größerem Umfang fehlen. Die Ganglinien von vier Grundwassermeßstellen, die im Zusammenhang mit der Planung der A 98 errichtet wurden, lassen erkennen, daß in diesem Teil der Klettgaurinne eine große Vielfalt von Ganglientypen auftritt. Während die Ganglinie der Grundwassermeßstelle KB 36 (358 223) einen Jahresgang von 3 m und mehr aufweist, ist in der Ganglinie der Grundwassermeßstelle KB 9 (354 223) ein Jahresgang nur noch andeutungsweise erkennbar. Die Ursache für das lokal sehr unterschiedliche Verhalten des Grundwasserspiegels dürfte einerseits in den wechselnden Einflüssen der Vorfluter, andererseits im Zusammenspiel zwischen dem quartären Porengrundwasserleiter und dem unterlagernden Karstgrundwasserleiter liegen. Wegen der z.T. ungeklärten hydrogeologischen Zusammenhänge in diesem Gebiet ist eine weitergehende Interpretation der Grundwasserstandsganglinien derzeit nicht möglich.

5.4.3 Grundwassermächtigkeit

Für einen Grundwasserleiter lassen sich geeignete Standorte zur Erschließung einer ausreichenden Menge Grundwasser am besten anhand der Verteilung der Transmissivität, dem Produkt aus Grundwassermächtigkeit und Durchlässigkeitsbeiwert, ermitteln. Im vorliegenden Fall wurde jedoch auf die Konstruktion einer Transmissivitätsverteilungskarte verzichtet, da die Durchlässigkeitsbeiwerte innerhalb der Klettgaurinne relativ einheitlich sind und die festgestellten Unterschiede noch innerhalb der Genauigkeit der Bestimmungsmethoden liegen. Statt dessen wurde eine Grundwassermächtigkeitkarte (Karte VI) konstruiert, die unter der Annahme konstanter Durchlässigkeitsbeiwerte auch die Verteilung der Transmissivität widerspiegelt. Schätzwerte für die Transmissivität an einer vorgegebenen Lokation können durch Multiplikation der jeweiligen Grundwassermächtigkeit mit dem mittleren Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s bestimmt werden. Für das untere Wutachtal und Schlüchttal sind niedrigere k_f -Werte anzusetzen (vergl. Kap. 4.3.2).

Für die Konstruktion der Grundwassermächtigkeitkarte wurde die Stichtagsmessung der Grundwasserstände vom 6.11.1989 zugrundegelegt, die eine mittlere hydrologische Situation erfaßte.

Die größten Grundwassermächtigkeiten treten mit über 40 m im östlichen Teil der Klettgaurinne auf. Dies entspricht einer Transmissivität von mehr als

0,18 m²/s. Nach Westen nehmen die Grundwassermächtigkeiten allmählich ab. Bei Unterlauchringen sinken sie im Rinnentiefsten unter 30 m, kurz vor der Einmündung der Klettgaurinne in das heutige Rheintal unter 20 m. Die Transmissivität verringert sich entsprechend von 0,18 m²/s über 0,14 m²/s auf 0,09 m²/s.

5.4.4 Grundwasserflurabstände

Die Karte der Grundwasserflurabstände (Karte VII) zeigt die räumliche Verteilung der Flurabstände zum Stichtag 6.11.1989 bei mittleren hydrologischen Verhältnissen. Entsprechend den jahreszeitlichen und langfristigen Schwankungen der Grundwasseroberfläche in der Klettgaurinne (Kap. 5.4.1) können die tatsächlichen Flurabstände zu einem bestimmten Zeitpunkt erheblich von den Angaben in Karte VII abweichen.

Die Geländehöhen zur Ermittlung der Flurabstände wurden der topographischen Karte 1:25 000 entnommen. Für den Bereich Lauchringen und Waldshut-Tiengen wurde zudem auf Karten im Maßstab 1:10 000 zurückgegriffen.

Die höchsten Flurabstände über 50 m treten im östlichen Teil der Klettgaurinne auf, dort, wo die rißeiszeitlichen Seesedimente der Erosion noch nicht zum Opfer gefallen sind und die pleistozänen Kiese in größerer Mächtigkeit überdecken. Doch auch nördlich und südlich des Seesedimentrückens im Bereich der Talaue des Klingengrabens und des Seegrabens betragen die Flurabstände noch 20 bis 30 m.

Da der heutige Talboden ein größeres Gefälle nach Westen aufweist als die Grundwasseroberfläche, nimmt der Flurabstand nach Westen allmählich ab, bis er beiderseits der Wutach zwischen Unter- und Oberlauchringen nur noch Beträge unter 2 m aufweist.

Im weiteren Verlauf nach Westen und Südwesten sind in der nördlichen Teilrinne vergleichsweise niedrigere Flurabstände zu finden, da hier durch die postglaziale Erosion das Tal bis auf ein Niveau von rd. 330 bis 320 m ü. NN ausgeräumt wurde. Im Gegensatz dazu ist im Bereich der südlichen Teilrinne älteres Pleistozän bis zu einem Niveau von über 400 m ü. NN erhalten geblieben, wodurch sich auch hier Flurabstände von über 50 m ergeben.

Noch weiter im Süden und Westen werden die Flurabstände durch die unterschiedlichen Terrassenniveaus des Rheins bestimmt. Während in der holozänen Talaue Werte unter 10 m, in unmittelbarer Nähe zum Rhein bis unter 2 m auftreten, steigen sie im Bereich der Niederterrasse auf 10 bis 20 m an.

5.5 Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnahmen im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets dienen bisher ganz überwiegend der öffentlichen Wasserversorgung, während im Raum Waldshut/Tiengen und im unteren Wutachtal in erster Linie Brauchwasser für industrielle Nutzungen gefördert wird. Im Bilanzgebiet werden derzeit insgesamt ca. 36 l/s Grundwasser gefördert, davon 13 l/s im Schweizer Teil der Klettgaurinne. Ca. 11 l/s werden auf Schweizer Seite zu Trinkwasserzwecken in das Einzugsgebiet beigeleitet (BÜCHI &

MÜLLER 1985). Da diese Zufuhr jedoch überwiegend in die Vorflut gelangen dürfte, wird sie bei der Grundwasserbilanzierung nicht berücksichtigt.

Tab. 5 gibt eine Übersicht über die Fassungen in der Klettgaurinne und die Grundwasserentnahmen im Jahr 1989. Private Brunnen sind nur aufgeführt, soweit die Entnahme 10 000 m³ überschreitet.

Für die Grundwasserbilanz wurde die Grundwasserentnahme der Fa. Bechtel & Szilagyi in Höhe von 21 l/s nicht berücksichtigt, da dieses Wasser nach der Kieswäsche über ein Sickerbecken wieder dem Grundwasser zugeführt wird.

Tab. 5: Übersicht über die Fassungen und Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet im Jahr 1989; Entnahmen für private Nutzung ab 10 000 m³

LfU-Nr. der Fassung	Bezeichnung	Entnahme 1989 (m ³)	Bemerkungen
120 223	TB Untere Neuwiesen, Gurtweil	4689	
121 223	TB Steina, Tiengen	–	Brunnen seit Jahren verunreinigt
122 223	TB Schwimmbad Tiengen	9100	
148 223	TB Kirschbaumäcker, Küssaberg	4374	
100 223 bis 110 223	Brunnen der Fa. Lonza, Waldshut	9895330	
111 223	TB Bannschachen, Fa. Lonza, Waldshut	1386090	
151 223	TB Fa. FBO Tröndle, Küssaberg	19077	
022 273	TB Schwarzbach, Bechtersbohl	27375	
026 273	TB Fa. Bechtel & Szilagyi, Geißlingen	439015	
243 223	TB Eichwald, Wutöschingen	–	Brunnen durch LHKW verunreinigt Entnahme zur GW-Sanierung
058 273	TB Hochbord, Wutöschingen	323666	
085 273	TB 1 Aluminiumwerke	2137576	
086 273	TB 2 Wutöschingen		
087 273	TB 3		
088 273	TB 4		
083 273	AWB3		
092 273	TB Fa. Elocolor, Wutöschingen Horheim	74000	
011 223	TB Schwimmbad Lauchringen	287650	
029 223	TB Oberlauchringen	–	Br. seit 1981 außer Betrieb
011 273	TB Fröschlachen, Lauchringen	343985	
043 223	TB Reiherwald, Lauchringen	–	Notwasserversorgung
030 223 031 223	Brunnen der Fa. König, Lauchringen	279382	
034 273	TB Stehli, Erzingen	57860	
035 273	TB Hardwald, Erzingen	383169	
043 273	TB Im See, Weisweil	11844	
044 273	TB Kieß, Geißlingen	52763	künftige Notwasserversorgung
046 273	TB Strick, Schwarzbachtal	226881	
045 273	TB Maidlewag, Griesen	–	1979 stillgelegt
054 273	TB Wasseracker, Rechberg	–	Notwasserversorgung

5.6 Grundwasserhaushalt

Das Grundwasservorkommen im Untersuchungsgebiet wird einerseits durch einen ständigen Grundwasserzufluß aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne, andererseits durch die Infiltration von Niederschlagswasser regeneriert. In geringerem Umfang tragen darüber hinaus ein Zufluß aus den angrenzenden Festgesteinsgebieten, z. T. über die Alluvionen der Seitentäler, und eine Einspeisung von Oberflächenwasser aus den Fließgewässern zur Grundwasserneubildung bei.

Demgegenüber steht ein fortwährender Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne zum heutigen Rheintal hin. Weitere Grundwasserverluste entstehen durch die bestehenden Grundwasserentnahmen, durch Grundwasseraustritte in die Wutach, die westlich von Oberlauchringen als Vorfluter wirkt, sowie durch den Abfluß über die angrenzenden Festgesteinsschichten nach Süden, hier in erster Linie über den unterlagernden Muschelkalkgrundwasserleiter im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets.

Wegen der z. T. ungeklärten hydrogeologischen Verhältnisse westlich der Einmündung des Wutachtals

wurde das Bilanzgebiet auf den wasserwirtschaftlich bedeutsamen östlichen Teil der Klettgaurinne beschränkt, wobei zur besseren Erfassung des Grundwasserzuflusses von Osten der Schweizer Obere Klettgau mit in die Betrachtungen einbezogen wurde. Die westliche Begrenzung bildet das Profil Nr. 3 Bechtersbohl/Sommerhalde (Karte VIII).

Die einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts, die bei der Erstellung einer Wasserbilanz für die Klettgaurinne zu berücksichtigen sind, sind schematisch in Abb. 18 dargestellt. Sie lassen sich durch folgende Bilanzgleichung verknüpfen (für die Bedeutung der Symbole vergl. Abb. 18):

$$R_{G1}^{+} + R_{G2}^{+} + R_S^{+} + P = R_{G1}^{-} + R_{G2}^{-} + R_S^{-} + ET + Q \pm \Delta GW \pm \Delta BF$$

Für eine langfristige Betrachtung können die Variationen des Grundwasservorrats und der Bodenfeuchte unberücksichtigt bleiben. Die Bilanzgleichung vereinfacht sich zu:

$$R_{G1}^{+} + R_{G2}^{+} + R_S^{+} + P = R_{G1}^{-} + R_{G2}^{-} + R_S^{-} + ET + Q$$

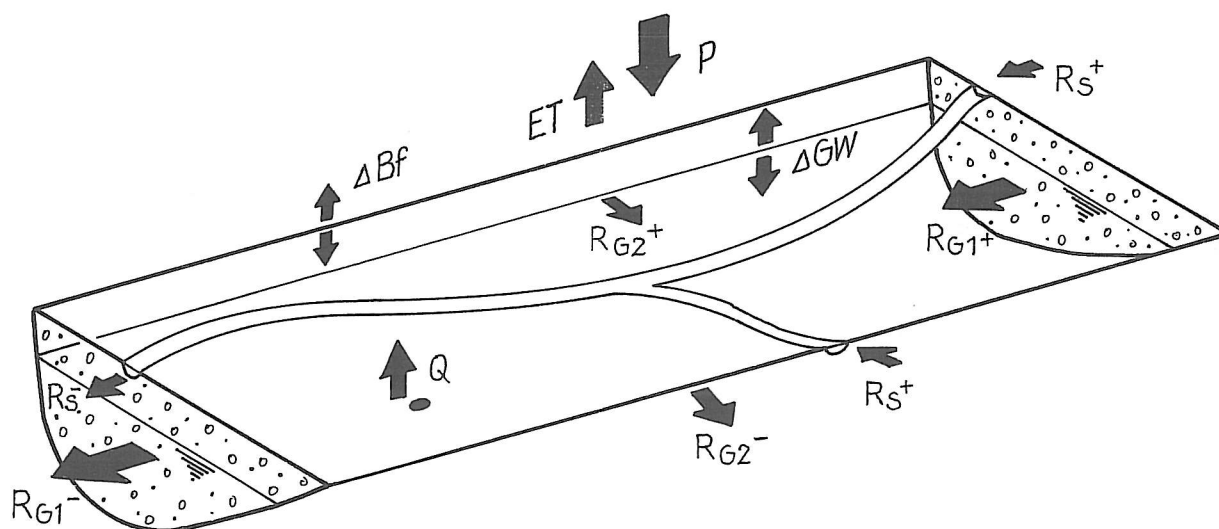


Abb. 18: Komponenten der Wasserbilanz in der Klettgaurinne, schematisch

positive Glieder der Wasserbilanz

- R_S^{+} Oberirdischer Zufluß in das Bilanzgebiet
- R_{G1}^{+} Grundwasserzufluß in der Klettgaurinne
- R_{G2}^{+} Grundwasserzufluß im Festgestein und in den Alluvionen der Seitentäler
- P Gebietsniederschlag

negative Glieder der Wasserbilanz

- R_S^{-} Oberirdischer Abfluß aus dem Bilanzgebiet
- R_{G1}^{-} Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne
- R_{G2}^{-} Grundwasserabfluß im Festgestein
- ET aktuelle Evapotranspiration
- Q Grundwasserentnahme

Glieder zur Erfassung kurzfristiger Änderungen des Wasservorrats

- ΔBF Änderung der Bodenfeuchte
- ΔGW Änderung des Grundwasservorrats im Grundwasserleiter

Eine weitere Vereinfachung ist erforderlich, um die Wasserbilanz für die Klettgaurinne erstellen zu können, wobei folgende Annahmen getroffen werden:

1. Für das Bilanzgebiet entspricht der Grundwasserzufluß im Festgestein dem Grundwasserabfluß im Festgestein; beide Größen können damit für die Bilanzierung vernachlässigt werden.
2. Da eine getrennte Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Infiltration aus den oberirdischen Gewässern, durch randlichen Grundwasserzufluß in den Alluvionen der Seitentäler und durch Versickern des Oberflächenabflusses von den steilen Talhängen nicht möglich ist, werden diese drei Komponenten zum Randzufluß R_{R+} zusammengefaßt.

Danach lautet die vereinfachte Bilanzgleichung:

$$R_{G1}^{+} + R_R^{+} + P = R_{G1}^{-} + ET + Q$$

Der Bilanzierungszeitraum wurde auf 15 Jahre (1975 – 1989) festgesetzt.

5.6.1 Einzugsgebiet

Das oberirdische Einzugsgebiet für das Profil Nr. 3 besitzt eine Fläche von rd. 160 km². Es ist nahezu identisch mit dem Einzugsgebiet des Kotbachs am

Lattenpegel bei Oberlauchringen. Die Teileinzugsgebiete der beiden Quellbäche des Kotbachs, des Klingengrabens und des Schwarzbachs, besitzen Größen von 92 km² bzw. 67 km² (Tab. 6). Der Klingengraben nimmt dabei im wesentlichen die Zuflüsse aus dem Bereich des Rechberg-Hallau-Rückens auf, während der Schwarzbach aus dem Gebiet des Kleinen Randen gespeist wird (Karte VIII).

Das unterirdische Einzugsgebiet E_u deckt sich mit dem oberirdischen Einzugsgebiet E_o nur in der Klettgaurinne und weitgehend im Bereich des Rechberg-Hallau-Rückens. Aufgrund des nach Südosten gerichteten Einfallens der Gesteinsschichten dürfte demgegenüber das Grundwasser im Bereich des Kleinen Randen, d.h. aus dem oberirdischen Einzugsgebiet südöstlich der Klettgaurinne, überwiegend nach Süden zum Rhein abfließen mit Ausnahme des Abflusses von den steilen Hangbereichen, der als Oberflächenabfluß bzw. als oberflächennaher Grundwasserabfluß in die Klettgaurinne gelangt.

Nach BÜCHI & MÜLLER (1985) gehört ebenfalls das Eschheimertal nordwestlich Schaffhausen nicht zum unterirdischen Einzugsgebiet der Klettgaurinne, wohingegen das Gebiet Sommerhalde nordwestlich Geißlingen zwar unterirdisch zur Klettgaurinne, oberirdisch jedoch zum Wutachtal entwässert.

Die Größen der verschiedenen oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Tab. 6: Größe der oberirdischen und unterirdischen Einzugsgebiete im Bilanzgebiet; für die Lage der Profilschnitte vergl. Karte VIII

	deutscher Teil der Rinne zwischen Profil Nr. 1 und Profil Nr. 3 (km ²)	Rinne von der Engi bis Profil Nr. 3 (km ²)
oberirdisches Einzugsgebiet E_o	58,3	159,2
unterirdisches Einzugsgebiet E_u	35,4	118,2
– Anteil in der Klettgaurinne	21,5	57,5
– Anteil im Festgestein	13,9	60,7
Teil des oberirdischen Einzugsgebiets, der unterirdisch zum Rhein entwässert	22,9	41,0

5.6.2 Abfluß

Der oberirdische Abfluß aus dem Bilanzgebiet wird nahezu ausschließlich durch Zuflüsse aus den an-

grenzenden Festgesteinsgebieten gespeist, wohingegen in der Klettgaurinne den oberirdischen Gewässern praktisch kein Wasser zufließt. Desweiteren gilt, daß im östlichen Teil der Klettgaurinne kein Austritt von Grundwasser in die Bäche erfolgen kann,

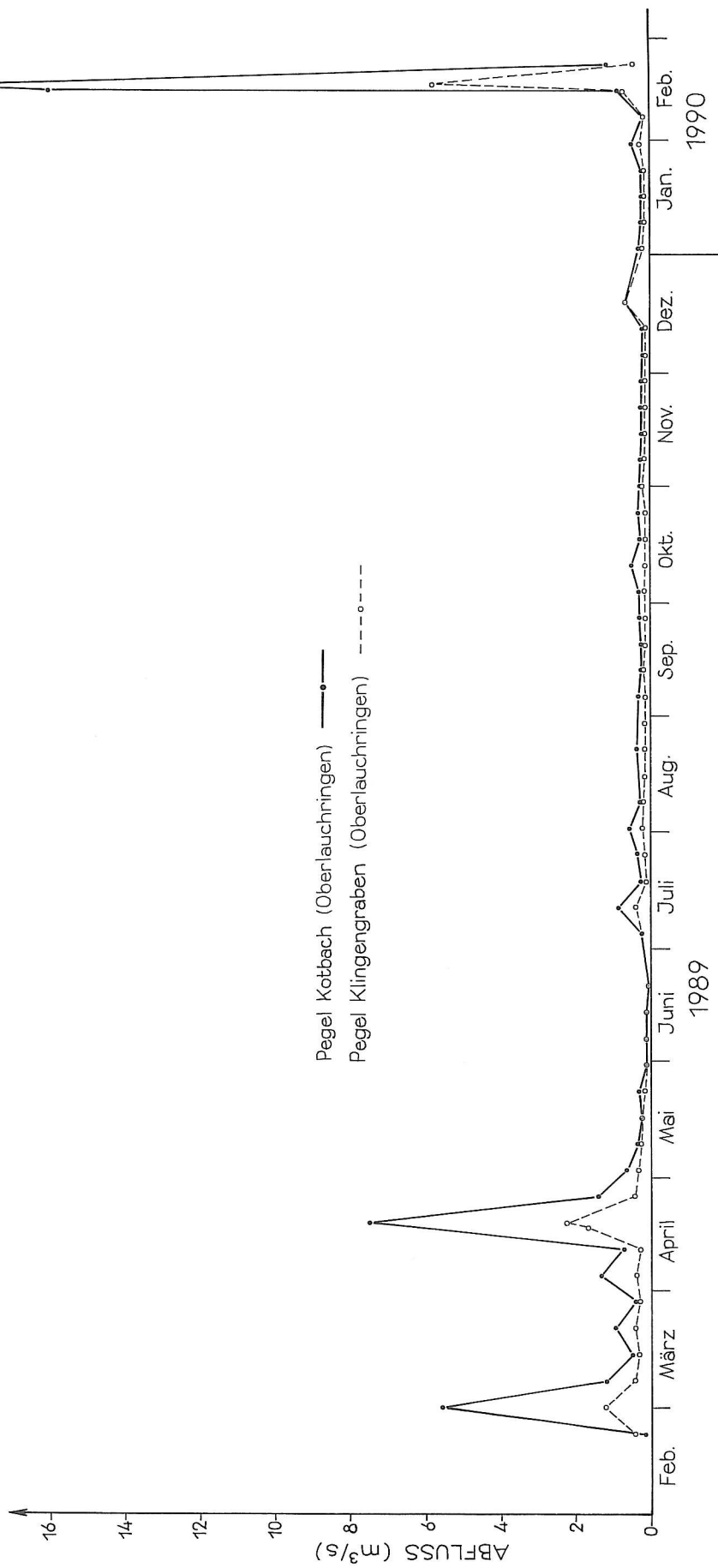


Abb. 19: Abflußganglinien für die Pegel Kotbach (Oberlauchringen) und Klingengraben (Oberlauchringen); Beobachtungszeitraum Feb. 1989 – Feb. 1990

da die Sohlen der Fließgewässer hoch über dem Grundwasserspiegel liegen. Eine Infiltration aus den Fließgewässern in den Untergrund ist hingegen möglich.

Der im Kotbach bei Oberlauchringen gemessene Abfluß entstammt somit nahezu ausschließlich dem Einzugsgebiet außerhalb der Klettgaurinne.

Für den Schreibpegel Klingengraben (Erzingen) liegen lückenhafte Aufzeichnungen aus den Jahren 1970 – 1980 vor. Der daraus ermittelte mittlere Abfluß beträgt $MQ = 0,385 \text{ m}^3/\text{s}$, der niedrigste gemessene Abfluß $NNQ = 0,094 \text{ m}^3/\text{s}$.

Von den Lattenpegeln Klingengraben (Oberlauchringen) und Kotbach (Oberlauchringen) gibt es neben wenigen Einzelmessungen aus den Jahren 1986 bis 1988 wöchentliche Ablesungen aus dem Zeitraum Feb. 1989 – Feb. 1990 (Tab. 7; Abb. 19).

Der Abfluß in einem Vorfluter setzt sich aus dem Oberflächenabfluß A_o und dem grundwasserbürtigen Abfluß A_u zusammen. Der grundwasserbürtige Abfluß stammt hier überwiegend aus dem nördlich angrenzenden Festgesteinsbereich des Rechberg-Hallau-Rückens. Wegen des kurzen Beobachtungs-

zeitraums und der großen Meßabstände ist eine Abtrennung von Oberflächenabfluß und grundwasserbürtigem Abfluß nur bedingt möglich. Setzt man näherungsweise die Niedrigwasserführung von Anfang Mai 1989 bis Ende Januar 1990 dem grundwasserbürtigen Abfluß gleich, so erhält man für den Kotbach einen grundwasserbürtigen Abfluß von $A_u = 275 \text{ l/s}$, für den Klingengraben von $A_u = 200 \text{ l/s}$. Dies entspricht 35 % bzw. 47 % des Abflusses im Fließgewässer. Der Oberflächenabfluß beträgt entsprechend 505 bzw. 230 l/s.

Für den Schwarzbach verbleibt ein grundwasserbürtiger Abfluß von $A_u = 75 \text{ l/s}$, das sind 21 % des Gesamtabflusses. Damit ist jedoch nur der Teil des grundwasserbürtigen Abflusses aus dem oberirdischen Einzugsgebiet erfaßt, der zur Klettgaurinne erfolgt.

Obwohl der Jahresniederschlag im Jahr 1989, in dem die Abflußmessungen durchgeführt wurden, rd. 10% niedriger lag als der mittlere Niederschlag für den Zeitraum der Bilanzierung (1975 – 1989), sind die Ergebnisse der Abflußmessungen für den Bilanzzeitraum repräsentativ, da der maßgebliche Winter-niederschlag von 1989 dem Mittelwert für den Bilanzzeitraum entspricht.

Tab. 7: Ergebnisse der Abflußmessungen im Kotbach und Klingengraben im Zeitraum Feb. 1989 – Feb. 1990

Pegel	mittlerer Abfluß (l/s)	Größe des oberirdischen Einzugsgebietes (km ²)	Abflußspende (l/s km ²)
Kotbach (Oberlauchringen)	780	161,9	4,8
Klingengraben (Oberlauchringen)	430	92,1	4,7
Schwarzbach*	350	67,1	5,2

* Der Abfluß des Schwarzbachs wurde als Differenz der Abflüsse von Kotbach (Oberlauchringen) und Klingengraben (Oberlauchringen) bestimmt.

5.6.3 Grundwasserneubildung

Die aktuelle Evapotranspiration wurde für den Zeitraum 1975 – 1989 aus den meteorologischen Daten der Meßstationen Waldshut, Wutöschingen und Hallau nach dem Verfahren von HAUDE und RENGIER ermittelt (Tab. 8). Die Feldkapazität, die in die Berechnung eingeht, wurde in Anlehnung an RENGIER et al. (1974) überschlägig zu 125 mm bestimmt.

Da die Klimastation Hallau die Verhältnisse in der Klettgaurinne am besten repräsentieren dürfte, wird

die aktuelle Evapotranspiration mit 55 % des Jahresniederschlags angenommen. Bei einem mittleren Gebietsniederschlag von $P = 1000 \text{ mm}$ für die gesamte Klettgaurinne sind dies 550 mm, bei $P = 1050 \text{ mm}$ für den deutschen Teil beträgt die mittlere Evapotranspiration 578 mm (vergl. Kap. 5.2).

Da in der Klettgaurinne östlich der Einmündung des Wutachtals weder ein nennenswerter Oberflächenabfluß noch ein grundwasserbürtiger Abfluß erfolgt, verbleibt die gesamte Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration für die Grundwasserneubildung. Die mittlere Grundwasserneubildungs-

Tab. 8: Ergebnisse der Bilanzierung der aktuellen Evapotranspiration nach HAUDE und RENGIER für die meteorologischen Daten der Klimastationen Waldshut, Wutöschingen und Hallau; Bilanzzeitraum 1975 – 1989

Klimastation	Niederschlag P 1975–1989 (mm/a)	aktuelle Evapotranspiration ET 1975–1989 (mm/a)	(ET/P) · 100 (%)
Waldshut	1216	619	52
Wutöschingen	1012	563	55
Hallau	1024	562	55

rate beträgt entsprechend $g = 14,3 \text{ l/s km}^2$ für die gesamte Klettgaurinne und $g = 15,0 \text{ l/s km}^2$ für den deutschen Teil. In Abhängigkeit von den jeweiligen Jahresniederschlägen und der geographischen Lage schwankt dieser Wert etwa zwischen $g = 7,1 \text{ l/s km}^2$ für $P = 500 \text{ mm}$ und $g = 20,0 \text{ l/s km}^2$ für $P = 1400 \text{ mm}$.

Andere hydrologische Verhältnisse finden sich im Bereich des Rechberg-Hallau-Rückens und des Kleinen Randen. Nach den Ergebnissen der meteorologischen Meßstation Schleithelm ist dort vor allem ein geringerer Jahresniederschlag als in der Klettgaurinne anzusetzen (Kap. 5.2).

Für den Bilanzzeitraum 1975 – 1989 kann für den Festgesteinsbereich des oberirdischen Einzugsgebiets folgende überschlägige Berechnung aufgestellt werden (vergl. Kap. 5.6.2 und 5.6.3):

mittlerer Gebietsniederschlag $P = 830 \text{ mm}$
 Evapotranspiration $ET = 457 \text{ mm}$
 $(ET = 0,55 \cdot P)$
 Abfluß ($A = P - ET$) $A = 374 \text{ mm}$
 Abflußspende $q = 11,8 \text{ l/s km}^2$

Einzugsgebiet Kotbach

(gesamter Festgesteinsbereich)

Grundwasserabfluß

$(A_u = 0,35 \cdot A)$ $A_u = 131 \text{ mm}$
 Grundwasserneubildungsrate $g = 4,1 \text{ l/s km}^2$

Einzugsgebiet Klingengraben

(Rechberg-Hallau-Rücken)

Grundwasserabfluß

$(A_u = 0,47 \cdot A)$ $A_u = 176 \text{ mm}$
 Grundwasserneubildungsrate $g = 5,6 \text{ l/s km}^2$

Einzugsgebiet Schwarzbach (Kleiner Randen)

Grundwasserabfluß

$(A_u = 0,21 \cdot A)$ $A_u = 78 \text{ mm}$
 Grundwasserneubildungsrate $g = 2,5 \text{ l/s km}^2$

Die Grundwasserneubildungsrate liegt damit in den Festgesteinsbereichen deutlich niedriger als in der Klettgaurinne. Ursachen dafür sind der geringere

Niederschlag sowie der Oberflächenabfluß. Die Grundwasserneubildungsrate für das Einzugsgebiet des Kotbachs, in verstärktem Maß für das Einzugsgebiet des Schwarzbachs, wird dadurch erniedrigt, daß ein Großteil des Grundwassers aus dem Bereich des Kleinen Randen direkt zum Rhein nach Süden abströmt und nur ein vergleichsweise kleiner Anteil über den Schwarzbach abfließt. Weitgehend unbeinflusst davon ist nur der Wert für das Einzugsgebiet des Klingengrabens. Die maßgebliche Grundwasserneubildungsrate für den Festgesteinsbereich beträgt somit 5 bis 6 l/s km^2 .

Bezogen auf eine Einzugsgebietsgröße von $60,7 \text{ km}^2$ ergibt sich für den an die Klettgaurinne angrenzenden Festgesteinsbereich ein mittlerer jährlicher Gesamtabfluß zur Klettgaurinne von $A = 716 \text{ l/s}$, zuzüglich des Oberflächenabflusses aus dem 41 km^2 großen Gebiet, das unterirdisch direkt zum Rhein entwässert. Dieser wird mit 30 % des Gesamtabflusses, das sind 145 l/s , angenommen. Subtrahiert man den Anteil, der im Kotbach abfließt (780 l/s), so verbleibt als randlicher Zufluß in die Klettgaurinne ein Rest von 81 l/s .

5.6.4 Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne

Der Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne wurde für fünf ausgewählte Profilschnitte (Karte VIII) nach DARCY berechnet (Tab. 9). Für die Ermittlung des hydraulischen Gefälles und der grundwassererfüllten Querschnitte wurden die mittleren Grundwasserstände für den Bilanzzeitraum 1975 – 1989 zugrundegelegt. Der mögliche Fehler, der sich durch die Unsicherheit bezüglich der Größe des k_f -Werts ergibt, ist beträchtlich und liegt in der Größenordnung von $\pm 50 \%$ (vergl. Kap. 4.3.2).

Der Zufluß von Grundwasser in die Klettgaurinne bei der Engi nordwestlich von Schaffhausen wird auf

15 l/s geschätzt. Nach Westen nimmt der Grundwasserzufluß ständig zu und erreicht auf Höhe des Profils Nr. 1 Erzingen/Weisweil ca. 600 l/s, die hier aus

dem Schweizer Teil der Klettgaurinne in den deutschen Teil übertreten. Am Profil Nr. 3 Bechtersbohl/Sommerhalde verlassen rd. 850 l/s das Bilanzgebiet.

Tab. 9: Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne auf fünf ausgewählten Profilen (Karte VIII); durchströmte Fläche F und hydraulisches Gefälle i für mittlere Grundwasserstände (1975 – 1989)

Nr.	Bezeichnung des Profils	F (m ²)	i (–)	k_f (m/s)	$Q = k_f \cdot i \cdot F$ (l/s)
A	Sibilingen/Wannenberg (CH)	70875	0,0008	0,0045	255
B	Hallau/Hasenberg (CH)	81250	0,00105	0,0045	384
1	Erzingen/Weisweil	74000	0,0018	0,0045	599
2	Grießen/Geißlingen	56500	0,0029	0,0045	737
3	Bechtersbohl/Sommerhalde	48250	0,0039	0,0045	847

5.6.5 Bilanz

Mit Hilfe der ermittelten Wasserhaushaltsgrößen läßt sich für den Zeitraum 1975 – 1989 für die Klettgaurinne eine Wasserbilanz erstellen (Tab. 10).

Die Differenz zwischen den positiven und negativen Bilanzgliedern beträgt für das gesamte Bilanzgebiet 33 l/s. Angesichts der Fehlergrenzen kann die Bilanz damit als ausgeglichen angesehen werden.

Für die Teilbilanz des deutschen Teils der Rinne kann der Randzufluß R_R^+ nicht abgeschätzt werden, da der Zufluß von Oberflächenwasser in das Gebiet nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist. R_R^+ dürfte jedoch gering sein, wie ein Vergleich zwischen den Summen der positiven und negativen Bilanzglieder zeigt.

Neben den jährlichen Änderungen des Grundwasservorrats in der Klettgaurinne, die durch die Bilanzgleichung beschrieben werden, gibt es im Grundwasserleiter einen ständigen Grundwasservorrat. Für mittlere Grundwasserstände (1975 – 1989) beträgt das gespeicherte Wasservolumen im östlichen Teil der Klettgaurinne zwischen dem Profil Nr. 1 auf Höhe der Deutsch/Schweizer Grenze und dem Profil Nr. 3 bei Bechtersbohl:

$$\begin{aligned}
 Q &= F \cdot L \cdot n_e \\
 &= 59000 \text{ m}^2 \cdot 9000 \text{ m} \cdot 0,10 \\
 &= 53 \text{ Mio m}^3
 \end{aligned}$$

Q = im nutzbaren Porenvolumen gespeichertes Wasservolumen

F = durchströmte Querschnittsfläche; Mittelwert der Profile 1, 2 und 3 (Tab. 9).

L = mittl. Abstand zwischen den Profilen 1 und 3

n_e = nutzbares Porenvolumen

Tab. 10: Wasserbilanz für die Klettgaurinne für den Zeitraum 1975 – 1989; für die Lage der Profilschnitte vergl. Karte VIII, für die Abkürzungen Abb. 18 sowie Kap. 5.6.5

Bilanzierungsgebiet	deutscher Teil der Rinne zwischen Profil Nr. 1 und Profil Nr. 3	Rinne von der Engi bis Profil Nr. 3
<u>positive Bilanzglieder</u>		
Grundwasserzufluß in der Klettgaurinne R_{G1^+}	599 l/s	15 l/s
Niederschlag P	716 l/s	1823 l/s
Randzufluß R_R^+	?	81 l/s
Summe	1315 l/s + R_R^+	1919 l/s
<u>negative Bilanzglieder</u>		
Grundwasserabfluß in der Klettgaurinne R_{G1^-}	847 l/s	847 l/s
Evapotranspiration ET	394 l/s	1003 l/s
Grundwasserentnahme Q	23 l/s	36 l/s
Summe	1264 l/s	1886 l/s

6 Grundwasserbeschaffenheit

Von der Grundwasserneubildung über die Untergrundpassage bis zum Übertritt in einen Vorfluter wird der Chemismus des Grundwassers von einer Reihe von Prozessen beeinflusst, deren Effekte sich integral überlagern. Als wichtigste sind zu nennen:

- hydrochemische Beschaffenheit des Niederschlags
- Reaktionen mit Bodengasen, insbesondere CO_2
- Reaktionen mit dem Kontaktgestein
- Mischung mit Wässern anderer Beschaffenheit
- anthropogene Einträge

Art, Richtung und Geschwindigkeit der chemischen Entwicklung eines Grundwassers hängen wiederum von den Milieubedingungen ab, die u.a. durch Verweilzeit, Druck- und Temperaturverhältnisse, Zusammensetzung der Bodengase und mineralogische Zusammensetzung des Kontaktgesteins definiert sind.

Zur Untersuchung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers in der Klettgaurinne wurden im Juli 1987 und November 1989 jeweils Stichtagsbeprobungen an Grund-, Quell- und Oberflächenwässern durchgeführt (Anl. 2).

Die Stichtagsbeprobung im Juli 1987 umfaßte 49 Proben. Die Analytik wurde mit Ausnahme der Analysen auf LHKW (Landesanstalt für Umweltschutz) und Triazine (Ciba Geigy Basel) vom Geologischen Landesamt durchgeführt. Die Analytik für die Stichtagsbeprobung im November 1989 mit 40 Proben erfolgte im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz durch das Untersuchungsinstitut Heppeler, Lörrach.

Neben den Stichtagsbeprobungen wurden zur Aufdeckung jahreszeitlicher Variationen für fünf Grundwassermeßstellen und die Wutach über 15 Monate monatlich Übersichtsanalysen erstellt. Darüber hinaus finden noch Einzelanalysen bei der Auswertung Berücksichtigung, allerdings nur solche, die maximal bis zum Jahr 1987 zurückreichen. Schließlich liefern die Ergebnisse von geophysikalischen Bohrlochmessungen, die 1989 durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung an ausgewählten Grundwassermeßstellen durchgeführt wurden, Informationen über die vertikalen Variationen von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit im Grundwasserleiter.

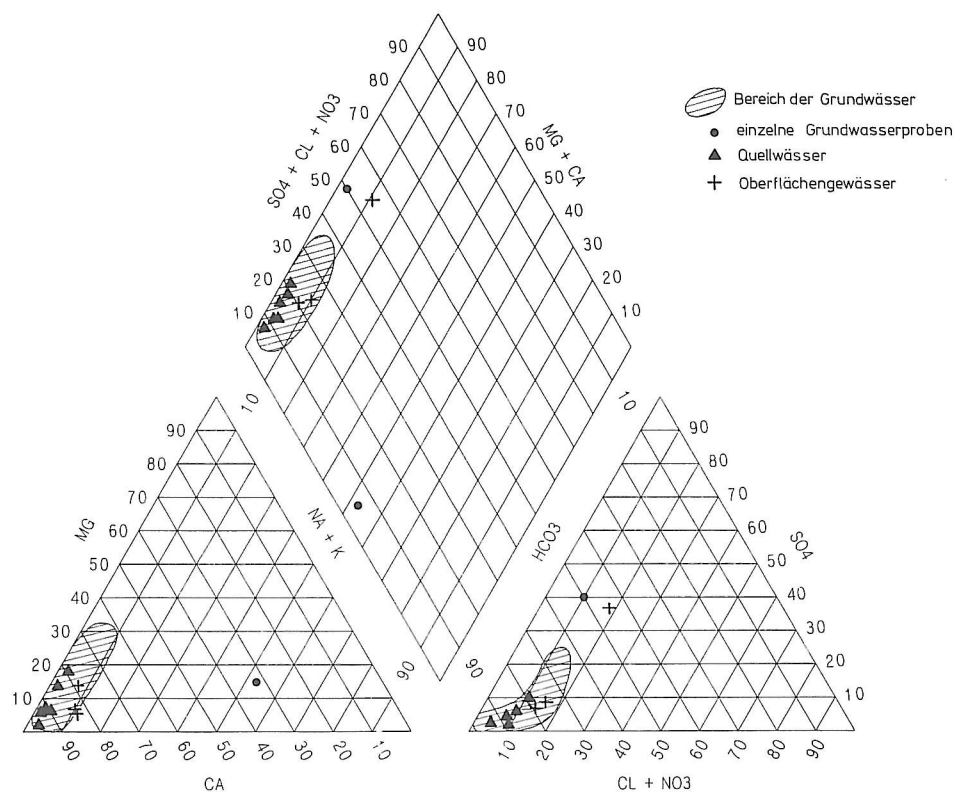


Abb. 20: Piper-Diagramm mit den Wasseranalysen aus der Klettgaurinne; relative Verteilung der Massenionen; Werte der Stichtagsbeprobung Juli 1987

6.1 Allgemeine chemische Charakteristik

Eine erste Übersicht über die Beschaffenheit des Grundwassers in der Klettgaurinne gibt Tab. 11. Dort sind, getrennt für die beiden Stichtagsbeprobungen, Mittelwerte und Extremwerte für die Konzentrationen der wichtigsten Inhaltstoffe aufgeführt.

Der Grundwassertyp, der durch die Konzentrationsverhältnisse der Masseneionen festgelegt ist, ist in der Klettgaurinne relativ einheitlich (Abb. 20). Neben Ca-HCO_3 - und Ca-Mg-HCO_3 -Wässern, wie sie üblicherweise in quartären Grundwasserleitern in Baden-Württemberg anzutreffen sind, treten nur noch $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ - und $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ -Wässer auf. Eine lokale Besonderheit stellt das Na-HCO_3 -Wasser aus der Meßstelle 168 273 dar.

Tab. 11: Statistische Übersicht über die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen; Stichtagsbeprobungen Juli 1987 und November 1989; Grundwasserproben aus der Klettgaurinne; Analytik: Geologisches Landesamt (Proben Juli 1987) und Chemisches Labor Heppeler, Lörrach (Proben Nov. 1989)

chem. Parameter	Einheit	Stichtagsbeprobung Juli 1987 n = 24			Stichtagsbeprobung Nov. 1989 n = 31		
		\bar{x}	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	x_{\min}	x_{\max}
Temperatur	°C	11,8	9,6	16,5	10,4	9,8	11,7
elektr. Leitfähigkeit	$\mu\text{S/cm}$	742	481	1173	700	570	1045
pH-Wert	—	7,03	6,62	7,34	7,30	7,13	7,44
O_2	mg/l	7,6	4,9	13,0	8,5	5,0	9,9
Ox. (Mn VII–II)	mg/l O_2	0,74	0,40	1,20	—	—	—
SAK -254	1/m	—	—	—	1,6	0,0	10,5
DOC	mg/l	—	—	—	0,9	0,7	2,5
AOX	mg/l	—	—	—	(0,01)	< 0,01	0,03
Gesamtlösungs- inhalt (berechnet)	mg/l	544	344	877	584	487	833
Gesamthärte	°dH	18,4	10,8	31,8	20,5	16,8	32,4
Karbonathärte ($\Delta K_{\text{S4,3}}$)	°dH	14,0	9,0	16,4	15,4	12,9	16,4
Na^+	mg/l	7,1	3,8	12,3	5,3	3,5	8,6
K^+	mg/l	2,1	0,9	4,1	2,2	1,0	4,0
Ca^{2+}	mg/l	112	73	186	117	92	182
Mg^{2+}	mg/l	12,1	2,7	25,2	18,3	6,6	30,4
ΣFe	mg/l	(0,24)	< 0,01	1,94	(0,41)	< 0,01	5,7
ΣMn	mg/l	< 0,05			(0,01)	< 0,01	0,14
NH_4^+	mg/l	(0,05)	< 0,05	0,35	< 0,02		
Cl^-	mg/l	17,0	9,2	23	17,1	9,9	23
SO_4^{2-}	mg/l	51	20	224	60	17	245
NO_2^-	mg/l	(0,014)	< 0,005	0,06	—	—	—
NO_3^-	mg/l	25,7	11,7	39,6	29,6	18,8	40,9
PO_4^{3-}	mg/l	(0,093)	< 0,005	1,12	0,083	0,003	0,41
F^-	mg/l	0,16	0,07	0,44	—	—	—
SiO_2	mg/l	7,2	5,1	8,5	—	—	—
B	mg/l	0,031	0,005	0,079	(0,04)	< 0,01	0,21
CO_2 frei	mg/l	13,2	4,4	26,4	—	—	—

\bar{x} = Mittelwert; x_{\min} = kleinster Wert; x_{\max} = größter Wert; () = für die Berechnung der Mittelwerte sind die Meßwerte < Nachweisgrenze = 0 gesetzt

6.2 Grundwassertemperatur

Im ungestörten Zustand wird die Temperatur im Untergrund bis zur neutralen Zone, die in gemäßigten Breiten zwischen 15 und 25 m unter Gelände liegt, von tages- und jahreszeitlichen oder längerfristigen Schwankungen der Lufttemperatur beeinflusst, darunter nur noch durch den terrestrischen Wärmestrom. Störungen des natürlichen Temperaturfeldes werden einerseits durch die Grundwasserkonvektion hervorgerufen, andererseits gehen sie häufig auf anthropogene Eingriffe zurück.

Die im Rahmen der Stichtagsbeprobungen gemessenen Grundwassertemperaturen (Messung 2 m unter Grundwasserspiegel) schwanken zwischen 9,6 und 16,5 °C. Die mittlere Grundwassertemperatur liegt im Juli mit 11,8 °C nur geringfügig höher als im November (10,4 °C), wie aufgrund der großen Flurabstände in weiten Teilen des Einzugsgebiets zu erwarten ist.

Regional läßt sich innerhalb der Klettgaurinne von Süden nach Norden ein allmählicher Temperaturanstieg um etwa 1°C feststellen. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß von den nach Süden geneigten Talhängen im Norden erwärmtes Oberflächenwasser bzw. oberflächennahes Grundwasser in die Klettgaurinne übertritt.

Ein differenziertes Bild des jahreszeitlichen Temperaturverlaufs im Grundwasser liefern die gemessenen Zeitreihen (Abb. 21). Es lassen sich folgende Ganglinientypen unterscheiden:

- Meßstelle 165 273 und 169 273: nahezu konstanter Temperaturverlauf ohne erkennbare jahreszeitliche Variationen; Grundwassertemperatur aufgrund der hohen Flurabstände nicht durch saisonale Variationen der Lufttemperatur beeinflusst.
- Meßstelle 259 223 und Brunnen 54 273: deutlich ausgeprägter Jahresgang mit einer Amplitude von etwa 0,5 °C (259 223) bzw. 1,5 °C (54 273); Temperaturmaxima gegenüber der Lufttemperatur um 2 bis 3 Monate phasenverschoben; bei der Grundwassermeßstelle 259 223 ist der Einfluß der Lufttemperatur auf den geringen Flurabstand zurückzuführen, beim Brunnen 54 273 möglicherweise auf eine verstärkte Infiltration von Oberflächenwasser bzw. oberflächennahem Grundwasser.
- Meßstelle 143 273 im unteren Wutachtal: deutlicher Jahresgang mit einer Amplitude von rd. 0,5 °C; Phasenverschiebung gegenüber der Lufttemperatur rd. 6 Monate; die Ursache für die große Phasenverschiebung ist nicht bekannt.

Informationen über die vertikale Temperaturverteilung im Grundwasserleiter liefern die gemessenen Temperatur-Logs. Typisch für den Verlauf der Temperatur-Tiefenprofile ist ein allmählicher Anstieg von Werten zwischen 9,9 bis 10,7 °C an der Grundwasseroberfläche bis maximal 11,2 °C an der Grundwasserleiterbasis. Der mittlere Temperaturgradient von weniger als 1°C/100 m spiegelt den wirksamen Temperaturengleich im Grundwasserleiter infolge Konvektion wider.

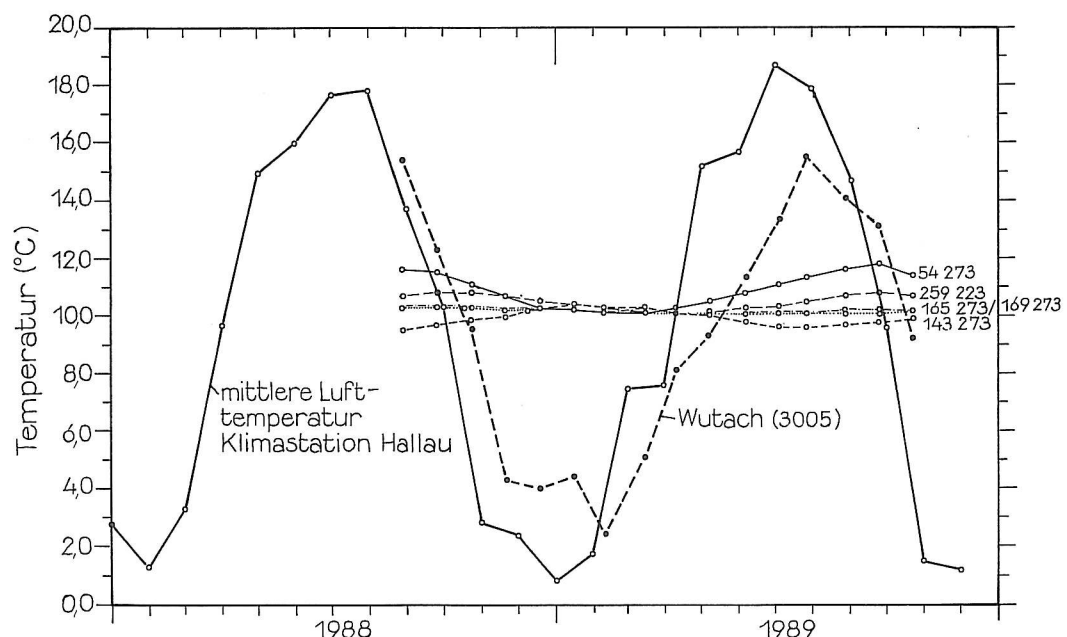


Abb. 21: Ganglinien der Grundwassertemperatur in ausgewählten Grundwassermeßstellen, der Temperatur der Wutach sowie der Lufttemperatur (Klimastation Hallau)

Die Austrittstemperaturen der Quellwässer schwanken zwischen 9,4 und 12,8 °C im Juli 1987 und zwischen 9,2 und 10,3 °C im November 1989.

Schwankungen in der selben Größenordnung wie die Lufttemperatur weist die Temperatur der Wutach auf (Abb. 21). Wie ein Vergleich mit der Temperaturganglinie der Grundwassermeßstelle 143 273 zeigt, ergeben sich aus den Temperaturmessungen keinerlei Hinweise auf eine Infiltration der Wutach in diesem Bereich. Auch ein Aufstieg von Karstwasser aus dem Muschelkalk in die quartäre Rinne im Westen des Kartiergebiets läßt sich aus den Ergebnissen der Temperaturmessungen nicht ableiten.

6.3 Gesamtlösungsinhalt, elektrische Leitfähigkeit

Der Gesamtlösungsinhalt umfaßt sowohl die dissoziierten wie undissoziierten gelösten Stoffe, während

durch die elektrische Leitfähigkeit nur die im Wasser vorliegenden Ionen erfaßt werden. Beide Parameter sind ein Maß für die Mineralisation eines Grundwassers.

Die Meßwerte für die elektrische Leitfähigkeit schwanken zwischen rd. 500 und 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, die Gesamtlösungsinhalte zwischen etwa 350 und 900 mg/l. Regional ist innerhalb der Klettgaurinne eine deutliche Zonierung erkennbar, mit den niedrigsten Werten im Süden und den höchsten Werten am Nordrand der Rinne im Bereich von Erzingen (Karte IXa).

Im jahreszeitlichen Verlauf wie auch über die Grundwasserleitermächtigkeit lassen sich nur geringe Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit feststellen (Abb. 22). Lediglich die Meßstelle 54 273 zeigt größere Variationen, die wie die Temperaturschwankungen auf eine verstärkte Grundwasserneubildung durch Hangzuflüsse zurückzuführen sein dürften (vergl. Kap. 6.2).

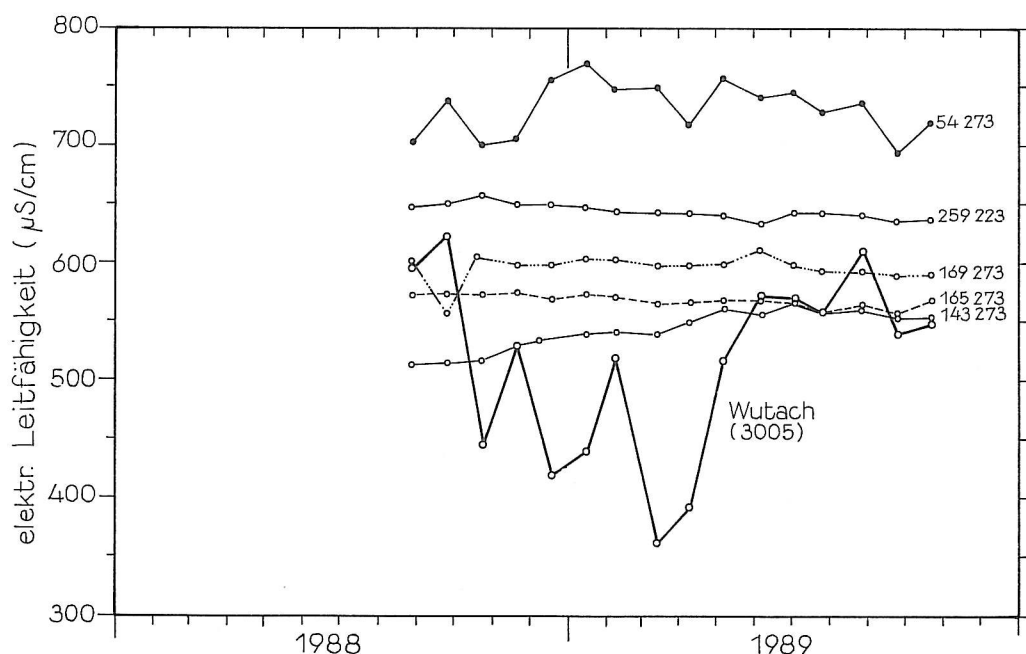


Abb. 22: Ganglinien der elektrischen Leitfähigkeit ausgewählter Grundwassermeßstellen sowie der Wutach

6.4 Kalzium, Magnesium, Hydrogenkarbonat, pH-Wert

Wichtigster Prozeß für die Mineralisation der weichen Niederschlagswässer ist die Lösung von Karbonaten aus dem Kontaktgestein, die in großen Men-

gen in Form von Kalk- und Dolomitsteingeröllen im Grundwasserleiter vorkommen (vergl. Kap. 3.4). Die Fähigkeit der Infiltrationswässer zur Karbonatlösung wird durch die Aufnahme von CO_2 aus der Bodenluft, das dort als Folge biologischer Aktivitäten angereichert ist, wesentlich erhöht. Die Karbonatlösung setzt in der Klettgaurinne im Bereich der Niederter-

rasse in einer Tiefe von 1 bis 2 m unter Gelände ein und endet mit Erreichen der Kalk- bzw. Dolomitsättigung. Bei diesen Prozessen reichern sich Kalzium-, Magnesium- und Hydrogenkarbonationen als Lösungsprodukte im Grundwasser an, parallel dazu steigt der pH-Wert.

Die resultierenden Konzentrationen liegen im Mittel für Kalzium bei 115 mg/l, für Magnesium bei 15 mg/l und für Hydrogenkarbonat bei 320 mg/l. Dem oben beschriebenen Entwicklungsschema entsprechend, sind die Grundwässer in der Klettgaurinne im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, d.h. in bezug auf Kalzit gesättigt bzw. leicht übersättigt. Der pH-Wert liegt im neutralen bzw. leicht alkalischen Bereich.

6.5 Sulfat

Die Sulfate im Grundwasser lassen sich meist auf den atmosphärischen Eintrag und auf die Auflösung sulfathaltiger Gesteine im Untergrund zurückführen.

Überwiegend atmosphärischer Herkunft dürften die Sulfatkonzentrationen in der Größenordnung von 20 mg/l sein, die im südlichen Teil der Klettgaurinne gemessen wurden. Nach Nordwesten nehmen die Sulfatgehalte allmählich zu und erreichen mit Werten über 250 mg/l bei Erzingen ein Maximum (Karte IXb). Ursache für die hohen Sulfatkonzentrationen in diesem Gebiet ist der Zufluß von sulfatreichen Wässern aus dem Bereich des Rechberg-Hallau-Rückens in die Klettgaurinne. Die hohen Sulfatkonzentrationen erhalten diese Wässer durch die Auflösung der Kalziumsulfatsalze Gips und Anhydrit aus den Gesteinen des Gipskeupers, der nördlich von Rechberg an der Erdoberfläche ansteht. Die durch den Zufluß der sulfatreichen Wässer hervorgerufene Sulfatfahne läßt sich in der Klettgaurinne parallel zum nördlichen Talrand bis nach Lauchringen verfolgen.

Nördlich von Lauchringen ist ein weiteres Sulfatkonzentrationshoch nachgewiesen, auch hier durch den Zufluß von sulfatreichen Wässern verursacht. Diese Sulfate stammen jedoch aus den gips- und anhydrit-haltigen Gesteinen des Mittleren Muschelkalks, die im unteren Steinatal anstehen. Gegenüber der Sulfatgrundlast ergibt sich in diesem Bereich ein Anstieg von 60 bis 80 mg/l.

Als Folge der geogen bedingten hohen Sulfatkonzentrationen ist im nordöstlichen Teil der Klettgaurinne die Nutzung des Grundwassers für Trinkwasserzwecke stark eingeschränkt. Die Förderung aus dem Brunnen Rechberg (54 273) wurde aus diesem Grund eingestellt.

6.6 Gesamthärte, Karbonathärte, Nichtkarbonathärte

Die Härte ist eine Konzentrationsangabe, die üblicherweise nur noch für die Summe der Erdalkalien (Gesamthärte) und für Hydrogenkarbonat (Karbonathärte) Verwendung findet. Unter der Nichtkarbonathärte versteht man den Anteil der Erdalkalien, für den keine äquivalente Menge Hydrogenkarbonat vorhanden ist.

In der Klettgaurinne beträgt die Gesamthärte im Mittel etwa 20 °dH, die Werte schwanken zwischen 10,8 und 32,4 °dH (Karte IXc). Entsprechend ist das Grundwasser als hart bzw. sehr hart einzustufen. Die Karbonathärte liegt demgegenüber mit einem Mittelwert um 15 °dH deutlich niedriger (Karte IXd). Die Differenz zwischen Gesamthärte und Karbonathärte, die Nichtkarbonathärte, beträgt im Mittel entsprechend 5 °dH. Sie repräsentiert den Anteil der Erdalkalien, der nicht aus der Karbonatlösung herrührt, sondern durch die Sulfatlösung in das Grundwasser gelangt.

In der räumlichen Verteilung der Gesamthärte spiegelt sich der Einfluß der kalziumsulfatreichen Zuflüsse im Norden der Klettgaurinne wider, während die Karbonathärte demgegenüber nur geringe regionale Schwankungen aufweist.

Eine Besonderheit stellt die Analyse der Meßstelle 168 273 dar, da hier die Karbonathärte größer als die Gesamthärte ist, ein Hinweis auf Ionenaustauschprozesse (vergl. Kap. 6.8).

6.7 Redoxverhältnisse, Eisen, Mangan

Die Konzentrationen von gelöstem Eisen und Mangan im Grundwasser werden einerseits durch den pH-Wert, andererseits durch die elektrochemischen Verhältnisse bestimmt. Hohe Konzentrationen findet man in sauren Wässern und bei reduzierenden Verhältnissen.

Im oberflächennahen Grundwasser werden die Redoxverhältnisse durch die Anwesenheit von gelöstem Sauerstoff bestimmt. Die in den Grundwasserproben aus der Klettgaurinne gemessenen Sauerstoffkonzentrationen zwischen 4,9 und 13,0 mg/l (ohne die Grundwassermeßstellen 143 273 und 168 273) zeigen, daß in der gesamten Klettgaurinne oxidierende Verhältnisse vorherrschen.

Da auch die pH-Werte nahe dem Neutralpunkt von pH 7 liegen (vergl. Kap. 6.4), ist zu erwarten, daß Ei-

sen und Mangan im Grundwasser nicht bzw. nur in geringen Spuren nachweisbar sind. Für Mangan trifft dies von wenigen Ausnahmen abgesehen zu, wohingegen Eisen in Konzentrationen z.T. deutlich über dem Grenzwert der TrinkwV (0,2 mg/l) in einer größeren Anzahl von Proben analysiert wurde. Auffällig sind die z.T. sehr unterschiedlichen Eisenkonzentrationen, die in der gleichen Grundwassermeßstelle bei unterschiedlichen Probenahmen gemessen wurden.

Wie die Erfahrungen mit den bereits bestehenden Grundwasserfassungen zeigen, ist in der Klettgaurinne eine Aufbereitung des Grundwassers infolge hoher Eisen- oder Mangangehalte nicht erforderlich. Allerdings sind bei einigen Fassungen Verockerungen der Brunnen festgestellt worden.

6.8 Natrium, Kalium, Chlorid

Die Alkalimetalle Natrium und Kalium sowie Chlorid gelangen einerseits über den atmosphärischen Eintrag in das Grundwasser, andererseits sind sie häufig auf unmittelbare anthropogene Einflüsse, wie z.B. Düngung und Straßensalzung, zurückzuführen. Eine geogene Chlorid- und Natriumbelastung infolge

Steinsalzsubrosion kann bei den gemessenen niedrigen Konzentrationen für die Klettgaurinne ausgeschlossen werden.

Die Chloridkonzentrationen schwanken in der Klettgaurinne zwischen 9,2 und 23 mg/l (Karte Xa). Der Mittelwert aller Analysen beträgt 17 mg/l. Regional ist eine Zonierung erkennbar mit niedrigen Konzentrationen im Süden und geringfügig höheren Konzentrationen im mittleren und nördlichen Teil der Rinne, was möglicherweise auf höher mineralisierte Zuflüsse von den landwirtschaftlich intensiv genutzten Talhängen bei Erzingen zurückzuführen ist (vergl. Kap. 6.9).

Um die Chloridanteile atmosphärischer Herkunft und unmittelbar anthropogener Herkunft zu trennen, kann auf die Analysen der Quellen 151 273 und 148 273 zurückgegriffen werden, die sowohl für die Alkalimetalle Natrium und Kalium als auch für Chlorid minimale Konzentrationen in äquivalenten Mengen aufweisen (Abb. 23). Legt man diese Werte für den atmosphärischen Eintrag zugrunde, so werden über die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag ca. 5 mg/l Chlorid und 3 mg/l Natrium eingetragen.

Höhere Konzentrationen an Chlorid sind überwiegend auf landwirtschaftliche Aktivitäten zurückzuführen, wie die überproportionale Zunahme von Chlorid gegenüber den Alkalien belegt (Abb. 23).

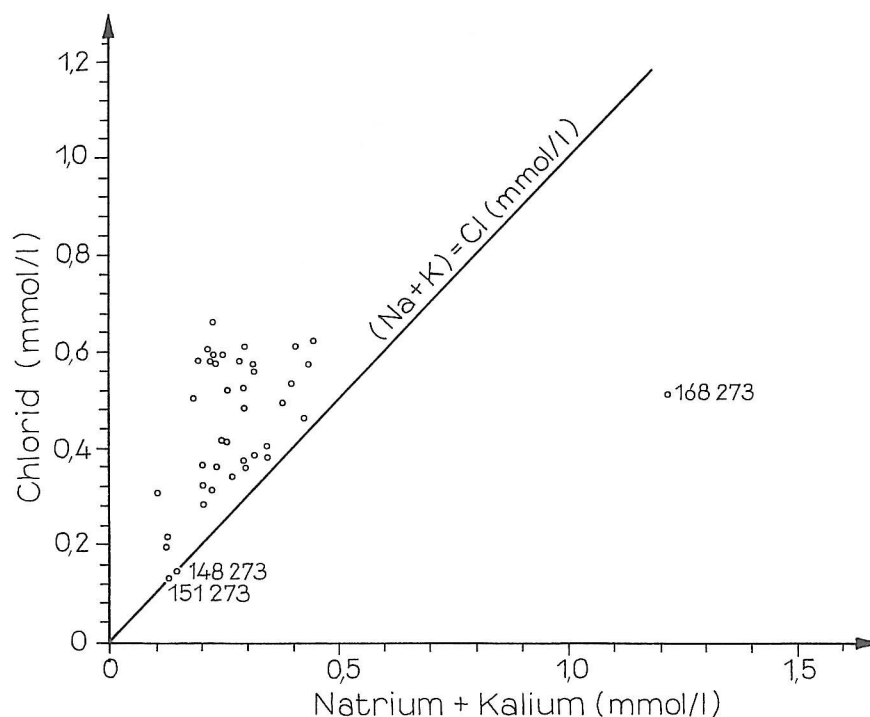


Abb. 23: Konzentration von Natrium und Kalium in Abhängigkeit von der Chloridkonzentration; Grundwässer aus der Klettgaurinne und Quellwässer aus den angrenzenden Hochgebieten

Eine Sonderstellung nimmt die Meßstelle 168 273 ein, für die das Alkali-/Chlorid-Verhältnis größer als 1 ist. Der abweichende Chemismus wird als Meßstelleneffekt interpretiert, da von der Erdoberfläche her nachweislich Feinbestandteile in die Meßstelle eingeschwenkt wurden, die möglicherweise als Ionenaustauscher wirken.

6.9 Nitrat, Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel

Erhöhte Nitratgehalte und das Auftreten von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PBSM) im Grundwasser sind, von seltenen Ausnahmen abgesehen, auf eine intensive landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen.

Die in der Klettgaurinne gemessenen Nitratkonzentrationen (Karte Xb) zwischen 18,8 und 40,9 mg/l liegen bisher noch unter dem Grenzwert der TrinkwV von 50 mg/l. Die anthropogene Herkunft der Nitrate zeigt sich bei einem Vergleich dieser Werte mit den Nitratgehalten der Quellen 114 273 und 151 273, deren Einzugsgebiete nur in geringem Umfang land-

wirtschaftlich genutzt werden. Hier betragen die Nitratkonzentrationen wenige mg/l.

Am stärksten ist das Grundwasser im nördlichen Teil der Klettgaurinne zwischen Erzingen und Oberlauchringen mit Nitrat belastet. Ursache für die hohen Konzentrationen dürfte die intensive landwirtschaftliche Nutzung auf dem Rechberg-Hallau-Rücken sein. Dazu kommen die hohen Nitratgehalte des Grundwassers, das bei Erzingen aus dem Schweizer Klettgau zuströmt.

Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Nitratkonzentrationen kann auf Daten zurückgegriffen werden, die bis zum Jahr 1980 zurückreichen. Die Nitratganglinien von sieben Tiefbrunnen (Abb. 24) lassen keinen einheitlichen Trend erkennen. Während die Brunnen 34 273, 44 273 und 35 273, die bereits zu Beginn des Beobachtungszeitraums hohe Nitratgehalte aufweisen, eher eine Stagnation erkennen lassen, ist bei den übrigen Brunnen ein signifikanter Nitratanstieg festzustellen.

Anschaulicher läßt sich die langfristige Nitratentwicklung in der Klettgaurinne an den Nitrat-Ganglinien einiger Schweizer Brunnen aufzeigen, für die die Meßwerte bis 1965 zurückreichen. Unabhängig von kurz- und mittelfristigen Schwankungen ist ein langfristiger Nitratanstieg von etwa 0,5 mg/l pro Jahr er-

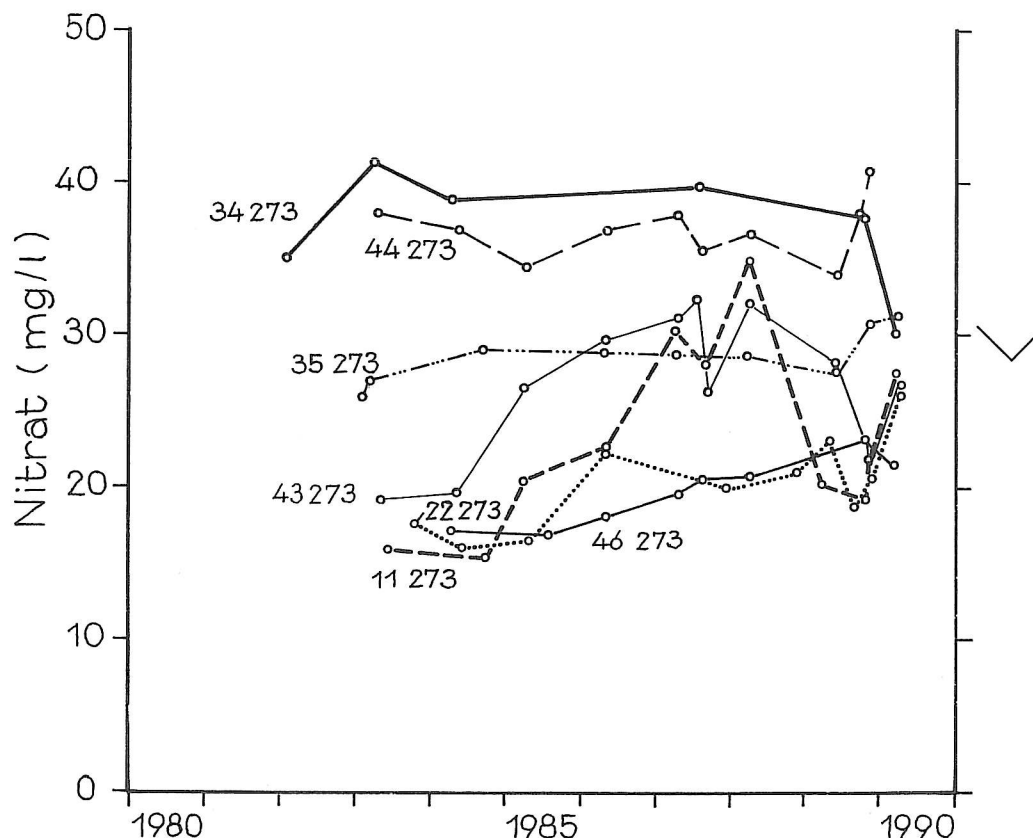


Abb. 24: Ganglinien der Nitratkonzentrationen ausgewählter Brunnen aus dem Kartiergebiet

kennbar (Abb. 25). Dieser Wert gibt einerseits einen Anhalt für die zukünftige Belastung des aus dem Schweizer Klettgau zuströmenden Grundwassers, andererseits ist eine vergleichbare Entwicklung auch für den deutschen Teil der Klettgaurinne zu erwarten, es sei denn, die derzeit bestehende Eintragsituation ändert sich entscheidend.

Die reduzierten Spezies Nitrit und Ammonium sind

entsprechend den vorliegenden Redoxbedingungen in der Regel nicht nachweisbar.

Von einer großen Anzahl untersuchter PBSM wurde Atrazin in Konzentrationen bis $0,03 \mu\text{g/l}$, Desethylatrazin bis $0,09 \mu\text{g/l}$ und Terbutylazin in einer Probe mit $0,02 \mu\text{g/l}$ nachgewiesen, während Simazin in keiner Probe nachweisbar war. In den untersuchten Quellen wurden mit Ausnahme der Quelle 185 223 keine PBSM festgestellt.

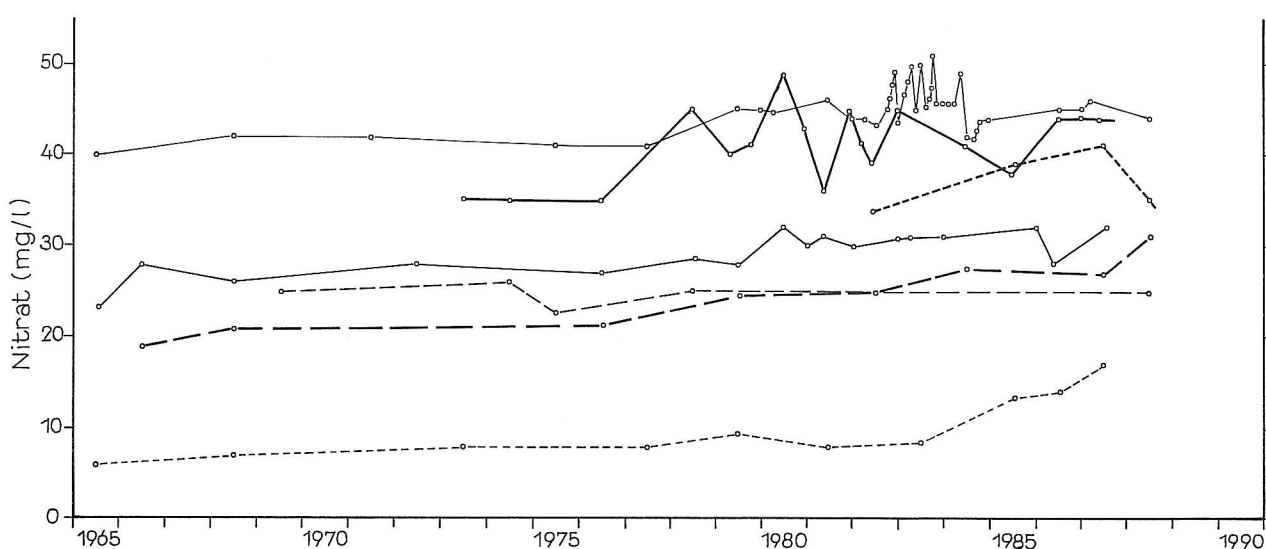


Abb. 25: Ganglinien der Nitratkonzentrationen ausgewählter Brunnen aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne

6.10 Kohlenwasserstoffe, leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe

Im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung wurde das Grundwasser in der Klettgaurinne auf eine große Anzahl von mono- und polyzyklischen Kohlenwasserstoffen untersucht. Derartige Verbindungen waren nicht nachweisbar.

Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW) treten, abgesehen von wenigen, vernachlässigbaren Spuren, nur im unteren Wutachtal auf (Karte Xc). Nachweisbar sind dort Tetrachlorethen (Per) bis max. $31 \mu\text{g/l}$, 1,1,1-Trichlorethen bis $8,0 \mu\text{g/l}$, 1,1,1-Trichlorethan bis $0,7 \mu\text{g/l}$ und Trichlormethan

von $0,2 \mu\text{g/l}$. Cis-1,2-Dichlorethen konnte im Rahmen der Stichtagsbeprobung nicht nachgewiesen werden, bei älteren Einzelproben wurden jedoch in den Meßstellen 164 223, 167 223 und 259 223 Konzentrationen bis $25 \mu\text{g/l}$ ermittelt.

Die Ursache für die LCKW-Kontaminationen im unteren Wutachtal sind bekannte Schadensfälle, von denen sich LCKW-Fahnen von Wutöschingen über Lauchringen bis in den Raum Kadelburg verfolgen lassen. Hohe LCKW-Konzentrationen waren u. a. der Grund dafür, daß der neu erstellte Brunnen Eichwald bisher noch nicht zur Wasserversorgung genutzt werden kann. Obwohl zur Zeit Maßnahmen zur Sanierung der Schadensfälle eingeleitet sind, ist damit zu rechnen, daß auch noch in näherer Zukunft erhöhte LCKW-Konzentrationen die Grundwassernutzung im unteren Wutachtal verhindern.

7 Isotope des Wassers

Die Auswertung der Isotopengehaltsmessungen, die in den Jahren 1987 bis 1989 vom Labor Hydroisotop, Attenkirchen, an Proben von Grundwasser, Quellwasser und Oberflächenwasser aus dem Klettgau durchgeführt wurden, gibt Hinweise auf die Vorgänge bei der Grundwasserneubildung und die mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Untergrund. Untersucht wurden Sauerstoff-18 (^{18}O), Deuterium (^2H) und Tritium (^3H), die als Bestandteile von Wassermolekülen Eigenschaften idealer Tracer aufweisen.

Das im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung Klettgau durchgeführte Isotopenuntersuchungsprogramm umfaßte folgende Beprobungskampagnen:

- Stichtagsbeprobung Ende Juli 1987 an 25 Grundwassermeßstellen (Pumpproben), 7 Quellen und 7 oberirdische Gewässer parallel zur Probenahme für die chemische Übersichtsanalytik; Analysenumfang: ^{18}O , ^2H , ^3H
- Stichtagsbeprobung am 25.4.1988 an 31 Grundwassermeßstellen (Schöpfproben aus dem Filterbereich), 7 Quellen und 8 oberirdische Gewässer; Analysenumfang: ^{18}O
- Reihenuntersuchungen an den Grundwassermeßstellen 259 223, 143 273, 165 273, 54 273 und 169 273 sowie an der Wutach auf ^{18}O ; Probenahme monatlich im Zeitraum August 1988 bis Oktober 1989

- Reihenuntersuchungen an den Grundwassermeßstellen 259 223, 205 273 und 206 273 sowie an der Wutach auf ^{18}O ; Probenahme wöchentlich im Zeitraum 16.1.1989 bis 22.5.1989

Für die Grundlagen der Isotopenhydrologie wird auf die einschlägigen Lehrbücher (MOSER & RAUERT 1980; FRITZ & FONTES 1980) und die dort zitierte weiterführende Literatur verwiesen.

7.1 Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O)

Deuterium und Sauerstoff-18 sind stabile Isotope, die im Wasser von Natur aus enthalten sind.

Der Niederschlag in einem Gebiet weist eine charakteristische isotopische Zusammensetzung auf, die im wesentlichen von der geographischen Lage (Kontinentaleffekt), der topographischen Höhe (Höheneffekt) und den Klimabedingungen (Temperatureffekt) abhängt.

Nach der Infiltration in den Untergrund verändern sich die Verhältnisse der stabilen Isotope in der Regel nicht mehr, so daß die isotopische Zusammensetzung des Grundwassers weitgehend der Zusammensetzung des Niederschlags entspricht.

Tab.12: Arithmetische Mittel der $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte *) für Grundwasser-, Quellwasser- und Oberflächenwasserproben aus der Klettgaurinne und den angrenzenden Gebieten; Stichtagsmessungen Juli 1987 und April 1988; Grundwasserproben getrennt nach Lage auf TK 8315 und TK 8316; Labor Hydroisotop, Attenkirchen

		Anzahl der Meßwerte	Stichtagsbeprobung 28.7.1987	Stichtagsbeprobung 25.4.1988
$\delta^2\text{H}$ (‰)	Grundwasser TK 8315	12	-71,05	–
	Grundwasser TK 8316	13	-72,92	–
	Quellwasser	6	-73,23	–
	Oberflächenwasser	7	-69,67	–
$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Grundwasser TK 8315	12	-9,92	-9,56
	Grundwasser TK 8316	13	-10,19	-9,94
	Quellwasser	6	-10,24	-10,15
	Oberflächenwasser	7	-9,83	-9,99

*) die Angaben der ^2H - und ^{18}O -Konzentrationen erfolgen als Abweichung (in ‰) der $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ - bzw. $^1\text{H}/^2\text{H}$ -Verhältnisse der Probe von den entsprechenden Verhältnissen im Meerwasser (SMOW), das als Standard benutzt wird

In Abb. 26 sind in einem $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm alle untersuchten Proben der Stichtagsmessung vom Juli 1987 zusammen mit der Niederschlagsgeraden eingetragen. Mit Ausnahme der Probe aus der Meßstelle 161 223 zeigen alle Grundwässer eine isotopische Zusammensetzung gleich oder ähnlich der Zusammensetzung des Niederschlags, wie sie durch die Niederschlagsgerade beschrieben wird. Die $\delta^2\text{H}$ -Werte schwanken zwischen $-68,2\text{‰}$ und $-76,4\text{‰}$, die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen $-9,37\text{‰}$ und $-10,58\text{‰}$.

Ein Vergleich der $\delta^2\text{H}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Grundwässer von TK 8315 und TK 8316 (Tab. 12) zeigt, daß im östlichen Teil der Klettgaurinne isotopisch leichtere Grundwässer vorkommen als im westlichen Teil. Diese Tendenz wird vermutlich weitgehend durch den Kontinentaleffekt verursacht. Darunter versteht man die schrittweise Verarmung des Niederschlags an den schweren Isotopen ^2H und ^{18}O in Zugrichtung der Hauptwetterfronten, hier von Westen nach

Osten. Darüber hinaus ist die beobachtete Verteilung der stabilen Isotope möglicherweise auch auf die geringe bis fehlende Grundwasserneubildung in den Wintermonaten der letzten Jahre zurückzuführen, ein Effekt, der sich derzeit vor allem im westlichen Teil des Kartiergebiets bemerkbar machen dürfte, da hier das Grundwasser große Anteile von sehr jungem Wasser aufweist (vergl. Kap. 7.2).

Relativ zu den Grundwässern sind die Quellwässer im Mittel isotopisch leichter (Abb. 26). Da die Einzugsgebiete orographisch höher liegen als der Talboden der Klettgaurinne, ist infolge des Höheneffekts ein entsprechender Kontrast zu erwarten.

Die Fließgewässer sind als Folge von Verdunstungseffekten vergleichsweise isotopisch schwer, sie zeigen jedoch keinen auffälligen Kontrast zu den Grundwässern. Eine Ausnahme bildet der Rhein, für den bei der Beprobung am 25.4.1988 ein $\delta^{18}\text{O}$ -Wert von $-12,0\text{‰}$ gemessen wurde. Aufgrund des großen

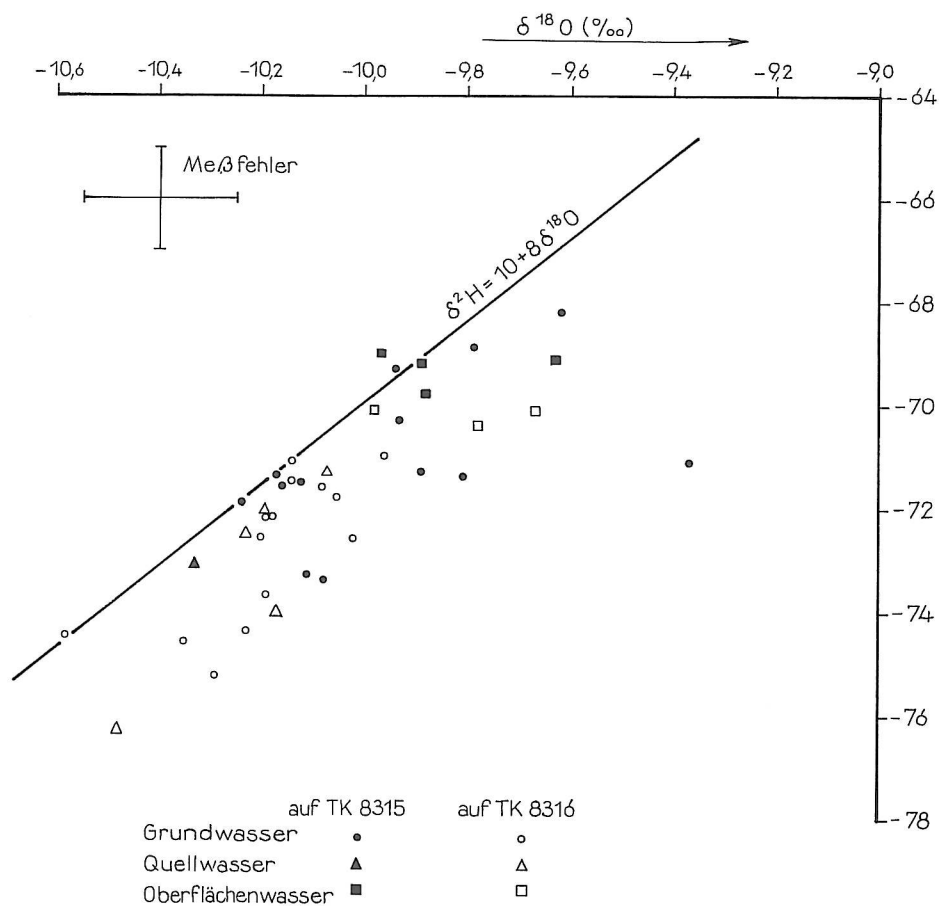


Abb. 26: $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ -Diagramm; Grundwässer, Quellwässer und oberirdische Gewässer aus der Klettgaurinne und den angrenzenden Gebieten; Stichtagsbeprobung April 1987; Labor Hydroisotop, Attenkirchen

Kontrasts zwischen den $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalten im Grundwasser und im Rheinwasser eignen sich Sauerstoff-18-Messungen ausgezeichnet zum Nachweis von Uferfiltrat in rheinnahen Brunnen. In den beprobten Meßstellen ist ein Uferfiltratanteil nicht erkennbar.

Die jahreszeitlichen Variationen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Grundwasser der Klettgaurinne und in der Wutach sind in Abb. 27 dargestellt. Die Meßwerte erstrecken sich über einen Zeitraum von 18 Monaten.

Bei den Grundwässern bewegen sich die Schwankungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte weitgehend innerhalb der Meßgenauigkeit von $\pm 0,15\text{‰}$. Eine besonders aus-

gegliche Ganglinie ohne markante Peaks zeigt die Meßstelle 169 273, was auf die hier vorhandene Überdeckung des Grundwasserleiters mit geringdurchlässigen Seesedimenten zurückzuführen ist. Sie schützt das Grundwasser offensichtlich wirkungsvoll vor kurzfristigen Beeinflussungen von der Erdoberfläche.

Die Wutach zeigt im Jahresverlauf deutliche Schwankungen der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte mit einer Variationsbreite von mehr als 1 ‰, die von den Gangliniencharakteristiken der Grundwassermeßstellen zeitweise deutlich abweichen und evtl. zum Nachweis von Wutachuferfiltrat herangezogen werden können.

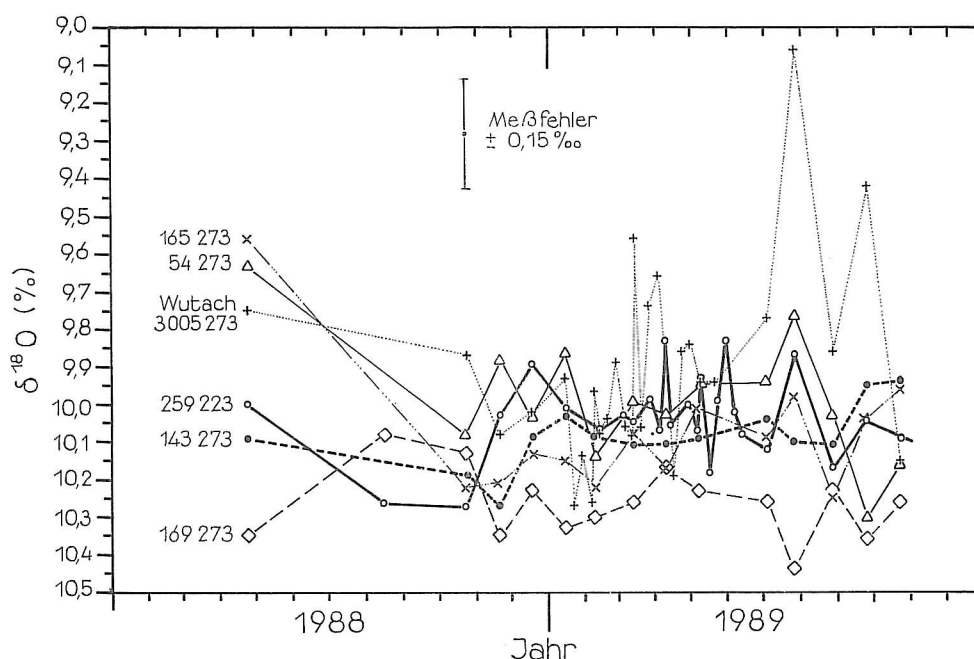


Abb. 27: Ganglinien der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte für die Wutach und ausgewählte Grundwassermeßstellen

7.2 Tritium (^3H)

Tritium entsteht auf natürliche Weise vorwiegend in der höheren Atmosphäre durch die Einwirkung der kosmischen Höhenstrahlung. Der dadurch hervorgerufene natürliche ^3H -Gehalt beträgt in den Niederschlägen in Mitteleuropa ca. 6 T.U. (1 T.U. entspricht einer Tritiumkonzentration von einem ^3H -Atom auf 10^{18} ^1H -Atomen; 1 T.U. = 0,119 Bq). Seit 1953 ist der Tritiumgehalt durch die Kernwaffenversuche stark angestiegen, in den Jahren 1963/64 bis auf das Tausendfache der natürlichen ^3H -Konzentration. Im Jahr 1987 (Zeitpunkt der Messungen in der Klettgaurinne)

lagen die ^3H -Gehalte im Niederschlag in Mitteleuropa bei etwa 30 T.U..

Nach dem Einsickern des Niederschlags in den Untergrund unterliegt die Tritiumkonzentration keiner weiteren Veränderung mit Ausnahme des radioaktiven Zerfalls, der mit einer Halbwertszeit von 12,43 Jahren erfolgt. Die Tritiumkonzentration im Grundwasser erlaubt damit eine Abschätzung der Mittleren Verweilzeit des Wassers im Untergrund.

Unter der Mittleren Verweilzeit bzw. Aufenthaltszeit eines Grundwassers versteht man das gewichtete Mittel der Grundwasseralter der einzelnen Grundwasserkomponenten. Die Ermittlung dieser Größe erfolgt hier mit Hilfe des Exponentialmodells. Diesem

Modell liegt die Annahme zugrunde, daß das Grundwasser eine Mischung verschieden alter Grundwasserkomponenten darstellt, deren Mengenanteile mit steigendem Alter exponentiell abnehmen.

Eine statistische Übersicht über die Ergebnisse der Stichtagsmessung vom Juli 1987 sowie einiger Nachbeprobungen gibt Tab. 13.

Tab. 13: Statistische Übersicht über die Ergebnisse der ^3H -Bestimmungen an Grundwasser-, Quellwasser- und Fließgewässerproben; Angaben in T.U.; Stichtagsmessung Juli 1987 incl. Nachbeprobungen; Labor Hydroisotop, Attenkirchen

	n	\bar{x}	x_{\max}	x_{\min}
Grundwasser aus der Klettgaurinne	25	48,2	35,1	73,3
Quellwasser	7	49,8	40,2	66,5
Oberflächenwasser	7	47,1	42,3	51,0

n = Anzahl der Meßwerte

\bar{x} = arithmetisches Mittel

x_{\max}, x_{\min} = größte bzw. kleinste gemessene ^3H -Konzentration

Die Tritiumkonzentrationen der untersuchten Grundwässer schwanken zwischen 35,1 und 73,3 T.U.. Sie

enthalten demnach alle größere Anteile einer jungen, nach 1953 gebildeten Grundwasserkomponente bzw. wurden vollständig nach 1953 gebildet.

Innerhalb der Klettgaurinne lassen sich deutliche regionale Unterschiede in der Tritiumverteilung erkennen (Karte X d). Die höchsten Werte (über 70 T.U.) treten unter dem Seesedimentrücken im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets auf. Die zugehörigen Mittleren Verweilzeiten des Grundwassers lassen sich auf etwa 11 Jahre abschätzen. Ursache für die höheren Grundwasseralter in diesem Gebiet ist die Verzögerung der Grundwasserneubildung durch die gering durchlässige Überdeckung der quartären Kiese.

Nördlich und südlich schließen sich Bereiche mit ^3H -Konzentrationen zwischen etwa 50 und 65 T.U. an. Dies entspricht Mittleren Verweilzeiten von 6-10 Jahren. Eine Zone mit Werten unter 50 T.U. erstreckt sich am Südrand der Rinne zwischen Weisweil und Grieben. Sie ist wahrscheinlich auf einen Zufluß jüngeren Wassers aus dem Wangental zurückzuführen.

Entsprechend den abnehmenden Grundwasserflurabständen nehmen auch die ^3H -Konzentrationen generell von Osten nach Westen ab. Westlich von Oberlauchringen liegen die ^3H -Konzentrationen mit Ausnahme einer schmalen Zone in der Teilrinne südlich des Bürgerwalds zwischen 40 und 50 T.U.. Werte in der gleichen Größenordnung weist auch der Grundwasserstrom aus dem Wutachtal auf. Die zugehörigen Mittleren Verweilzeiten betragen 4-6 Jahre. Die jüngsten Grundwässer mit ^3H -Konzentrationen unter 40 T.U. wurden im unteren Schlüchttal gemessen.

8 Biologischer Gütezustand der Fließgewässer

Die Hauptfließgewässer sind weitgehend ausgebaut und im Mittelwasserbereich z.T. über das notwendige Maß befestigt. Die Gewässergüte wird bisher regelmäßig an der Wutach überwacht. Für die Kartierung wurde ein zusätzliches Untersuchungsprogramm durchgeführt, das sowohl chemische wie biologische Verfahren umfaßt. Für die Zukunft ist eine Ausweitung des Meßnetzes zur Erfassung des Gütezustands vorgesehen.

Für die Fließgewässer in der Klettgaurinne zeichnet sich derzeit folgender Gütezustand ab, der in der Karte XI als Übersicht dargestellt ist.

Klingengraben

Der Klingengraben erreicht den deutschen Teil der Klettgaurinne mit deutlich feststellbaren Belastungen. Er weist bei Erzingen die Gewässergüteklasse III auf. Die Abbauvorgänge im Gewässer, die sogenannte natürliche Selbstreinigung, scheinen hier verzögert einzusetzen, da aufgrund des geringen Gefälles der vorhandenen Sohlbefestigungen und der fehlenden Turbulenz die Selbstreinigungsvorgänge langsamer ablaufen als in einem naturbelassenen Gewässer. Einige Kilometer unterhalb der Probestelle an der Deutsch-Schweizer Grenze wird die Güteklasse II – III erreicht. Auch nach Einleitung der Abwässer aus der Kläranlage Erzingen in den Klingengraben in Höhe von Gießen wird die Gewässergüte nicht nachteilig beeinflusst. Nach weiteren Fließkilometern wird die Gewässergüteklasse II erreicht.

Zusätzlich zur organischen Belastung war im Klingengraben bei Erzingen zeitweise eine biologische Auswirkung von toxischen Stoffen erkennbar. Bei Untersuchungen im Dezember 1987 ergab sich dort nach der fahrlässigen Einleitung von giftigen Substanzen eine eindeutige Anzeige auf Toxizität. Bei Nachuntersuchungen im Mai 1988 konnte als Folge dieses Schadensfalls die Kategorie „Toxizität wahrscheinlich“ festgestellt werden (SPRAUER & STRAUB 1988). Weiter unterhalb war die toxische Wirkung nicht mehr eindeutig erkennbar.

Neben diesen biologischen Untersuchungen wurden auch pflanzensoziologische Untersuchungen durchgeführt. Im Klingengraben wurde u.a. das Kamm-Laichkraut (*Potamogeton pectinatus*) nachgewiesen.

Diese Wasserpflanze gilt als Anzeiger für eine verstärkte Phosphat- und Nitratbelastung.

Seegraben

Im Gegensatz zum Klingengraben erreicht der Seegraben das deutsche Gebiet nur mit einer mäßigen organischen Belastung, die der Gewässergüteklasse II entspricht. Durch die Einleitung ungeklärter Abwässer der Ortschaft Weisweil verschlechtert sich die Situation im Seegraben deutlich, so daß unterhalb dieser Einleitungsstelle die Gewässergüteklasse III festzustellen ist. Toxische Auswirkungen waren im Seegraben nicht feststellbar. Höhere Wasserpflanzen gibt es wegen der starken Befestigung der Mittelwasserrinne nur wenige.

Schwarzbach

Das organisch am wenigsten belastete Wasser bringt der Schwarzbach in die deutsche Klettgaurinne. Er erreicht das Gebiet mit der Güteklasse I – II, der besten im Untersuchungsgebiet. Die vorher genannte Belastung des Seegrabens hat sich beim Zusammenfluß mit dem größeren Schwarzbach schon weitgehend abgebaut, so daß sich keine Verschlechterung der Situation nach dem Zusammenfluß im Schwarzbach ergibt. Durch den Überlauf des Abwasserpumpwerkes unterhalb Gießen wird der Schwarzbach allerdings wiederum belastet. Kurz vor der Kläranlage Geißlingen hat sich diese organische Belastung im Prozeß der natürlichen Selbstreinigung wieder auf die Gewässergüteklasse II abgebaut. Dieser Zustand verschlechtert sich durch den Auslauf der Kläranlage Geißlingen auf die Güteklasse III.

Eine toxische Wirkung konnte im Schwarzbach nicht nachgewiesen werden. Gefunden wurden allerdings das Krause Laichkraut (*Potamogeton crispus*) und das Ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*). Beide Pflanzen gelten als Nährstoffanzeiger, wobei das Krause Laichkraut meist auch noch auf eine Ammoniumbelastung hindeutet. Neben den höheren Wasserpflanzen findet man hier auch noch die makroskopisch sichtbaren komplexbildenden Algen (*Vaucheria* sp. und *Cladophora* sp.), die in Massentwicklung eine Nährstoffübersorgung (Eutrophierung) anzeigen.

9 Mathematisches Grundwassermodell Klettgau

9.1 Aufbau und Arbeitsweise

Ziel der Erstellung eines mathematischen Grundwassermodells für die Klettgaurinne war es, ein dem neuesten Stand der Erkenntnisse angepaßtes und von allen beteiligten Institutionen anerkanntes, prognosefähiges Instrument zu erhalten, mit dem die ermittelten Grundwasserleiterkennwerte und Wasserbilanzgrößen auf Plausibilität geprüft und relevante Fragen zur großräumigen Grundwasserbewirtschaftung im Betrachtungsraum behandelt werden können. Für den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes ist das Grundwassermodell die einzige sinnvolle Möglichkeit zur Bilanzierung.

Bei den Berechnungen mit dem mathematischen Grundwassermodell wird der physikalische Vorgang der Grundwasserströmung mit Hilfe eines Gleichungssystems beschrieben. Grundlage hierfür ist das generelle Gesetz der Massenerhaltung (Kontinuitätsbedingung) in Verbindung mit dem Darcy-Gesetz für die Sickerströmung im gesättigten Porengrundwasserleiter. Durch Lösung dieses Gleichungssystems werden die Lage der Grundwasseroberfläche sowie die Strömung nach Richtung und Menge berechnet.

Das Modell umfaßt mit einer Fläche von rd. 39 km² den gesamten Betrachtungsraum zwischen der Schweizer Grenze im Nordosten und dem Rhein bei Waldshut im Südwesten. Für die numerische Behandlung wurde ein Finite-Differenzen-Modell mit 100 x 100 m Netzteilung gewählt (Abb. 28). Die Modelleichung erfolgte für stationäre Bedingungen.

Für die Modellierung des Grundwasserleiters wurde ein einschichtiger, über die Tiefe homogener Aquifer angenommen. An jedem Rechenknoten werden entsprechend tiefengemittelte Größen berücksichtigt.

Die zusätzlichen Randbedingungen im Inneren des Modellbereichs und an den Modellrändern wurden durch die Grundwasserneubildung aus Niederschlag, durch den Austausch mit den oberirdischen Gewässern sowie durch die anthropogenen Faktoren, insbesondere Grundwasserentnahmen, bestimmt. Die Berücksichtigung dieser Komponenten erfolgt grundsätzlich an den Netzknoten des Modells. Für die modellmäßige Erfassung der Austauschmengen mit den oberirdischen Gewässern wurde das Leaky-Aquifer-Prinzip angewandt, das eine Berechnung dieser Wassermengen über die Durchsickerung eines mehr oder weniger durchlässigen Gewässerbetts ermöglicht.

Grundlage für den Aufbau und die Kalibrierung des Grundwassermodells bildete die systematische Erkundung der Hydrogeologie der Klettgaurinne im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung, deren Ergebnisse in den Kap. 2 bis 8 dargestellt sind.

9.2 Eingangskenngrößen, Modellkalibrierung und Grundwasserbilanz

Das Grundwassermodell wurde für leicht unterdurchschnittliche Grundwasserverhältnisse stationär kalibriert und anhand zweier weiterer Stichtage überprüft. Der Kalibrierungsvorgang beinhaltete eine systematische und differenzierte Analyse und Überarbeitung der Modellparameter mit laufenden Plausibilitätskontrollen, um eine möglichst gute Annäherung zwischen den modellmäßig berechneten und den gemessenen Grundwasserspiegellagen zu erzielen.

Die Gegenüberstellung der berechneten Grundwassergleichen (Abb. 28) und der gemessenen Grundwassergleichen (Karte V) zeigt die im Rahmen des Auflösungsvermögens des Modells erlangte gute Anpassung an die natürlichen Verhältnisse.

Aus den dargestellten Grundwassergleichen sind die Hauptcharakteristiken der Grundwasserströmung im gesamten Raum deutlich nachzuvollziehen. Das Grundwassergefälle variiert im Rinnenabschnitt von der Schweizer Grenze im Nordosten bis zur Einmündung des Wutachtals im Südwesten zwischen rd. 2 ‰ und 4 ‰. Im weiteren Verlauf stellt sich mit rd. 4 ‰ ein ausgeprägt steiles Gefälle im Bereich der Steinamündung in die Wutach sowie südlich des Wutachknies im Bereich des Bürgerwaldes ein.

Im Zuge der Modellkalibrierung wurden die vorab ermittelten maßgebenden hydrogeologischen und hydrologischen Modellparameter weiter abgesichert.

Die ermittelten Werte spiegeln die in Kap. 4 und 5 dargestellten Gegebenheiten wider. Die modellwirksamen Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters liegen zwischen $2,1 \cdot 10^{-3}$ und $7,9 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Aus hydrologischer Sicht sind vor allem die ermittelten Werte für die Grundwasserneubildung aus Niederschlag und die Grundwasseraustauschmengen über die Ränder des Modellgebiets sowie mit den

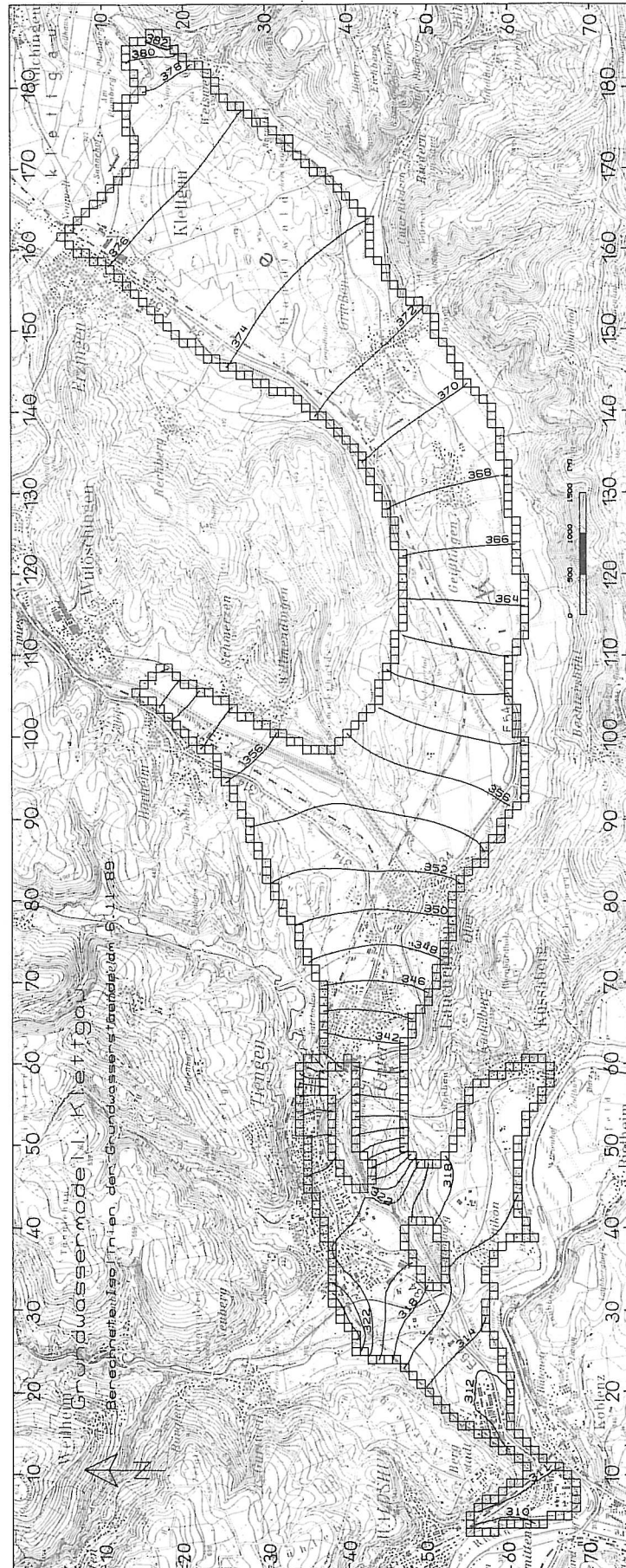


Abb. 28: Aufbau des Grundwassermodells Klettgau und stationär berechnete Potentialverteilung für Eichbedingungen (Ergebnisse der Stichtagsmessung vom 6.11.89)

oberirdischen Gewässern von Bedeutung. Für den Stichtag 6.11.1989 wurde die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag mit rd. 9 l/s km² eingerechnet. Für die beiden weiteren Stichtage, anhand derer Verifikationen durchgeführt wurden, wurden Neubildungsraten von durchschnittlich rd. 10 und 6 l/s km² angesetzt.

Der Grundwasserzu- und -abfluß über den Modellrand wurde teilweise durch Ansetzen von Festpotentialen und teilweise aus Bilanzbetrachtungen im Randbereich bestimmt und liegt im Mittel bei ca. 24 l/s km Talrand.

Einen generellen Überblick über die Grundwasserhältnisse im Untersuchungsgebiet gibt die nachstehend aufgestellte Grundwasserbilanz. In Tab. 14 sind die Zuflüsse und die Abflüsse für das gesamte Modellgebiet nach ihren einzelnen Komponenten aufgegliedert.

Aus Tab. 14 ist erkennbar, daß im gesamten Modellgebiet bei mittleren hydrologischen Bedingungen rd. 57 Mio. m³/a Grundwasser umgesetzt werden. Hauptzuflußanteile sind die Grundwasserzuflüsse über die Modellränder mit rd. 47 % und die einsinkenden Mengen aus Fließgewässern mit insgesamt 34% des Gesamtzuflusses. Hauptabflußkomponente ist die Aussickerungsmenge in die Fließgewässer mit rd. 70 %, wobei in den Rhein rd. 22 % des Gesamtabflusses austreten. Eine weitere größere Abflußkomponente stellen die Entnahmen mit 23 % des Gesamtabflusses dar.

Die in Tab. 14 und Abb. 28 dargestellten Größen des Grundwasserhaushalts bzw. der Grundwasserströmung gelten für langfristige mittlere hydrologische Bedingungen und bei derzeitigen Entnahmen. Im Rahmen von Prognoserechnungen mit dem Grundwassermodell können diese Größen bei anderen hydrologischen Bedingungen bzw. bei anderen Entnahmekonstellationen vorausberechnet werden.

Tab: 14: Grundwasserbilanz für das gesamte Modellgebiet; Stichtag 6.11.1989; Ergebnis der Modellkalibrierung; die Modellgrenzen stimmen nicht mit den Grenzen des Bilanzgebiets in Kap. 5.6.5 überein

Zuflüsse	Mio. m ³ /a	l/s	%
GW-Neubildung aus Niederschlag	11,0	348	19
GW-Zustrom über Modellränder insgesamt	26,8	850	47
davon aus dem Schweizer Klettgau	(13,8)	(436)	(24)
davon über weitere Kiesrinnen	(11,2)	(355)	(19)
davon aus angrenzendem Festgestein	(1,9)	(59)	(3)
GW-Zustrom aus oberirdischen Gewässern	19,7	625	34
davon aus Rhein	(1,6)	(51)	(3)
Summe (Umsatz)	57,5	1823	100
<hr/>			
Abflüsse			
GW-Entnahme	13,0	411	23
GW-Abstrom über Modellränder insgesamt (Muschelkalk)	4,1	130	7
GW-Abstrom in oberirdische Gewässer	40,4	1282	70
davon in den Rhein	(12,9)	(409)	(22)
Summe (Umsatz)	57,5	1823	100

Werte in () sind bei der Summenbildung nicht berücksichtigt

9.3 Einsatzmöglichkeiten

Mit dem mathematischen Grundwassermodell können großräumig sämtliche natürlichen und künstli-

chen Einflüsse auf das Strömungsgeschehen im Untergrund simuliert werden. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, die generellen Auswirkungen von Entnahmen und anderen wasserwirtschaftlichen Maß-

nahmen aufzuzeigen. Somit steht eine anerkannte Beurteilungs- und Entscheidungsgrundlage für grundwasserrelevante wasserwirtschaftliche Planungen zur Verfügung.

Beim vorliegenden Bearbeitungsstand ist das Modell zur Nachbildung zeitlich konstanter, d.h. stationärer Strömungen einsetzbar. Mit dem stationären Modell können die maßgebenden Charakteristiken der Strömung im langzeitigen statistischen Mittel verdeutlicht und langandauernde Auswirkungen natürlicher und künstlicher Einflüsse erkennbar gemacht werden. Für die Beurteilung der Auswirkungen von geplanten Maßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse können z. B. folgende Grundlagen mit dem Modell erarbeitet werden:

- Örtliche Verteilung der langfristigen Veränderungen der Grundwasserstände im Grundwasserleiter,
- Fließwege des Grundwassers und damit auch Abgrenzungen von Einzugsgebieten im Grundwasserleiter,
- Isochronen zur Ermittlung und Darstellung von Fließzeiten,
- langfristige Grundwasserbilanz im gesamten Untersuchungsraum und in Teilgebieten des Grundwasserleiters.

Einschränkungen für den Modelleinsatz liegen bedingt im räumlichen Auflösungsvermögen des Mo-

dells, in der stationären Kalibrierung sowie in der lückenhaften Datengrundlage im Westteil des Modellgebiets.

Mit dem Modell wird eine wichtige Grundlage bereitgestellt, um Fragestellungen lokaler Art mit weiter verfeinerten Detailmodellen untersuchen zu können. Auch für die Erstellung von Stofftransportmodellen zur Untersuchung von Fragen der Grundwasserbeschaffenheit (lokale Schadensfälle, großräumige Grundwasserbeschaffenheit etc.) werden durch das Grundwasserströmungsmodell wesentliche Grundlagen verfügbar gemacht.

Durch zusätzliche Erkundungsmaßnahmen im Rahmen örtlicher Untersuchungen werden erfahrungsgemäß laufend neue Erkenntnisse gewonnen. Diese müssen in das Modell eingearbeitet werden, um dessen optimale Einsatzmöglichkeit auch langfristig zu gewährleisten. Solche regelmäßigen Aktualisierungen werden zu den künftigen Aufgaben bei der Arbeit mit dem vorhandenen Modell gehören.

Zur Beurteilung kurzzeitiger Veränderungen im Grundwasserregime, z.B. infolge von Trockenperioden, Hochwasserereignissen oder zeitweise erhöhten Grundwasserentnahmen ist ein instationäres Modell erforderlich. Die Erweiterung des vorliegenden stationären Grundwassermodells im Hinblick auf den Einsatz für instationäre Fragestellungen ist mittelfristig notwendig, erfordert jedoch noch eine wesentliche Verbesserung des derzeitigen Kenntnisstandes.

10 Zusammenfassung und Folgerungen

10.1 Untersuchungsgebiet

Gegenstand der Hydrogeologischen Kartierung Klettgau sind die Grundwasservorkommen im deutschen Teil der Klettgaurinne, einer eiszeitlichen, mit Schottern gefüllten Schmelzwasserrinne, die sich von Schaffhausen (CH) im Osten über Neunkirch (CH), Erzingen, Griesen, Geißlingen, Lauchringen bis nach Koblenz (CH) erstreckt, wo sie in das heutige Rheintal einmündet. Im Norden wird die Klettgaurinne vom Rechberg-Hallau-Rücken bzw. der südlichen Abdachung des Schwarzwalds begrenzt, im Süden vom Kleinen Randen.

Morphologisch weist die Talsohle der Klettgaurinne ein geringes Gefälle von Osten nach Westen auf. Zwischen Erzingen und Geißlingen erhebt sich im zentralen Teil ein flacher Höhenrücken, aufgebaut aus Ablagerungen eines ehemaligen Eisrandstausees. Westlich von Lauchringen ragen aus den quartären Ablagerungen die Muschelkalkfelsen des Bürgerwalds und Homburgs heraus. Der Raum Kadelburg ist morphologisch durch die Terrassen des Rheins gegliedert.

Das Kartiergebiet wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Zusammenhängende Waldgebiete finden sich im wesentlichen an den steilen Talflanken im Norden und Süden. Feuchtgebiete treten stellenweise am Fuß des nördlichen Talhangs sowie in einer flachen Senke nördlich Weisweil auf, hervorgerufen durch den Oberflächenabfluß von den Talhängen.

10.2 Geologie

Die Entstehung der Klettgaurinne ist mit der Flußgeschichte des Rheins verknüpft. Er legte die Rinne spätestens im Altpleistozän an. Ihre hauptsächliche Ausformung fällt in die Rißeiszeit, in deren Verlauf das tief ausgeräumte Tal des Ur-Rheins von den hochglazialen Schmelzwässern mit über 100 m Schotter aufgefüllt wurde. Im westlichen Teil bestand in diesem Zeitraum zwischen Reiherwald und Bürgerwald zeitweise eine Verbindung zum Gebiet von Ettikon/Kadelburg.

Im jüngeren Riß stieß der Aaregletscher auf der Höhe von Lauchringen bis in den unteren Klettgau vor. In dem Eisrandstausee, der sich vor der Gletscherzunge bildete, lagerten sich feinkörnige Seesedimente ab, die als „Klettgau-Löß“ bezeichnet werden.

Gegen Ende der Rißeiszeit wurde der Rhein bei Schaffhausen nach Süden in das Thurtal umgelenkt, wodurch die Klettgaurinne weitgehend trockenfiel. Parallel zum nördlichen und südlichen Rand der Rinne bildeten sich im Riß-Würm-Interglazial Täler aus, wobei die Erosion in erster Linie den „Klettgau-Löß“ erfaßte, in geringerem Umfang auch die rißeiszeitlichen Kiese. Im Westen wurden die Moränen, die im Zusammenhang mit dem Vorstoß des Aaregletschers abgelagert worden waren, nördlich des Bürgerwalds und Homburgs (Raum Tiengen) erodiert, während sie südlich weitgehend erhalten blieben.

In der Würmeiszeit lag die Klettgaurinne im periglazialen Vorfeld der Gletscher.

10.3 Hydrogeologie

Die pleistozänen Kiese in der Klettgaurinne bilden einen ergiebigen Grundwasserleiter hoher Durchlässigkeit. Die aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im Durchschnitt bei $k_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Dem entsprechen hohe Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers in der Größenordnung von 1 m/h (mittlere Abstandsgeschwindigkeit beim Markierungsversuch Klettgau-Griesen).

Die Basis des Grundwasserleiters wird östlich von Lauchringen aus gering durchlässigen Gesteinen des Schwarzen und Braunen Juras gebildet, die die Kiesrinne allseits weitgehend abdichten. Westlich von Lauchringen stehen die pleistozänen Kiese demgegenüber in hydraulischem Kontakt mit stark verkarsteten, wasserführenden Gesteinen des Oberen und Mittleren Muschelkalks.

Eine Überdeckung, die den Grundwasserleiter wirksam vor Verunreinigungen von der Erdoberfläche her schützt, bilden die tonig-schluffigen Seesedimente im zentralen Rinnenbereich zwischen Erzingen und Geißlingen sowie die Moränendecke südlich des Homburgs und Bürgerwalds. In den übrigen Gebieten wird der Grundwasserleiter nur von geringmächtigem Kiesverwitterungslehm überdeckt.

Die Klettgaurinne wird von Osten nach Westen von Grundwasser durchströmt, wobei die Grundwassermächtigkeit bereichsweise über 40 m erreicht. Im östlichen Teil, zwischen Erzingen und Lauchringen, erfolgt der Grundwasserabstrom gleichmäßig und rinnenparallel mit einem Grundwassergefälle zwischen 1,8 ‰ und 4 ‰. Aufgrund der canyonartigen Verengung des Rinnenquerschnitts nördlich des Bür-

gerwalds steigt hier das Gefälle bis auf 34 % an. Großräumig biegt die Grundwasserfließrichtung in diesem Gebiet nach Südwesten um, wobei der Abstrom z.T. über die Gesteine des Muschelkalks erfolgt.

Das Grundwasservorkommen im Kartiergebiet wird ständig durch einen Zustrom aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne gespeist, der im Mittel rd. 600 l/s beträgt. Bis zum Profil Nr. 3 (Bechtersbohl) steigt der mittlere Grundwasserabstrom auf rd. 850 l/s an. Diese Zunahme wird in erster Linie durch die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag hervorgerufen. Die Neubildungsrate beträgt im Tal rd. 15 l/s km², auf dem Rechberg-Hallau-Rücken nur etwa 5 bis 6 l/s km². Darüber hinaus tragen Zuflüsse von den angrenzenden Hochgebieten sowie Einspeisungen aus den Fließgewässern zur Grundwasserneubildung bei.

Weiter im Westen läßt sich der Grundwasserabstrom bei dem derzeitigen Kenntnisstand nicht mehr herkömmlich bilanzieren, da der Austausch zwischen dem pleistozänen Porengrundwasserleiter und dem unterlagernden Muschelkalkgrundwasserleiter bisher zu wenig erforscht ist. Auch der Austausch mit der Wutach, die im Gegensatz zu Klingengraben, Schwarzbach und Kotbach an das Grundwasser angeschlossen ist, läßt sich derzeit nicht quantifizieren. Eine Abschätzung dieser Größen ist dort mit dem erstellten Grundwasserfließmodell möglich (Tab. 14).

Als überregionaler Vorfluter wirkt der Rhein, dem letztlich das gesamte Grundwasser der Klettgaurinne zuströmt.

Der im Abschnitt zwischen Erzingen (Profil Nr. 1) und Bechtersbohl (Profil Nr. 3) ständig im Grundwasserleiter gespeicherte Grundwasservorrat läßt sich für mittlere Grundwasserstände auf rd. 50 Mio. m³ abschätzen. Zeitliche Veränderungen des Grundwasservorrats sind an den Grundwasserstandsschwankungen erkennbar, die mehr als 10 m ausmachen können. Sie werden durch langfristige Klimaschwankungen hervorgerufen. Dem langfristigen Gang des Grundwasserspiegels sind jahreszeitliche Variationen von rd. 1 m überlagert.

10.4 Oberirdische Gewässer

Die oberirdischen Gewässer der Klettgaurinne sind innerhalb des Bilanzgebiets ausnahmslos Gewässer I. Ordnung und stehen somit in der Unterhaltungspflicht des Landes. Die in den Abschnitten 5.3.2 bis 5.3.6 angegebenen Abflußwerte sind Mittelwerte, die bei extremen Wetterlagen und bei den gegebenen

morphologischen Verhältnissen – steile Talflanken, starkes Sohlengefälle im oberen Schwarzbachtal – weit überschritten werden. Solche Starkniederschläge führten am 9.2.1958 und am 23.6.1975 zu Hochwassern, die in den Ortslagen Riedern, Weisweil und Gießen größte Schäden anrichteten. Die Abflussspende erreichte im Westteil der Klettgaurinne bei letzterem Ereignis einen Wert von ca. 1,35 m³/s km² (ca. HQ 20); örtlich, insbesondere bei Weisweil und Riedern, entsprach das Ereignis sicherlich einem HQ 200.

Der über das notwendige Maß hinausgehende Ausbau der oberirdischen Gewässer soll in absehbarer Zeit durch geeignete Umgestaltungsmaßnahmen, z. B. durch Ersatz der massiven Pflasterung durch naturgemäße Ufersicherung, zurückgenommen werden. Durch Grunderwerb soll die Schaffung von Gewässerrandstreifen ermöglicht werden. Ebenso ist eine Verbreiterung des Abflußprofils und eine naturnahe Uferbepflanzung geplant. Ein Ausbau der Gewässer für ein HQ 100 ist hier allerdings nicht sinnvoll und auch nicht geplant. Zum Schutz bebauter Gebiete vor Katastrophenhochwasser ist die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten im Gange. Soweit es das Gelände und die Eigentumsverhältnisse erlauben, sollen auch flache Überflutungsbecken (sogenannte Polder) zur Hochwasserrückhaltung angelegt werden.

Eine Verschärfung der Abflußverhältnisse bei Hochwasser ist durch den vorgesehenen Bau der A 98 mitten durch die Klettgaurinne zu erwarten.

10.5 Grundwasserbeschaffenheit

Die hydrochemischen Eigenschaften des Grundwassers in der Klettgaurinne werden einerseits durch natürliche geogene Prozesse geprägt. Von besonderer Bedeutung ist der Zufluß von kalziumsulfatreichen Wässern aus den Gipskeupergebieten nördlich von Erzingen, der am nördlichen Rinnenrand eine Fahne erhöhter Sulfatkonzentrationen erzeugt, die sich nach Westen bis Lauchringen verfolgen läßt. Die Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser ist in den betroffenen Gebieten durch die hohen Sulfatgehalte, die bei Erzingen 250 mg/l erreichen, eingeschränkt.

Die Nitratkonzentration des Grundwassers kann nach den vorliegenden Erkenntnissen derzeit noch als günstig bezeichnet werden. Trotz intensiver landwirtschaftlicher Nutzung liegen die Nitratkonzentrationen überwiegend noch unter dem Richtwert der Trinkwasserverordnung von 25 mg/l. Höhere Werte

bis zum Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l findet man am nördlichen Rand der Klettgaurinne, hervorgerufen durch den Zufluß von nitratbelastetem Grund- und Oberflächenwasser aus dem Bereich der landwirtschaftlich intensiv genutzten Talhänge.

Pflanzenschutzmittel lassen sich bisher, von wenigen Ausnahmen abgesehen, im Grundwasser in der Klettgaurinne nicht nachweisen.

Eine erhebliche Verunreinigung des Grundwassers durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW) ist in der Klettgaurinne westlich der Einmündung des Wutachtals nachweisbar. Die Konzentrationen überschreiten bereichsweise den Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 25 µg/l erheblich. Ausgangspunkt der LCKW-Fahnen, die sich aus dem unteren Wutachtal in die Klettgaurinne und weiter bis in den Raum Ettikon verfolgen lassen, sind mehrere LCKW-Schadensfälle bei Wutöschingen.

10.6 Grundwassermodell

Das Grundwassermodell umfaßt mit einer Fläche von rd. 39 km² den Bereich zwischen der Schweizer Grenze im Nordosten und dem Rhein bei Waldshut im Südwesten. Das im Kap. 5.6.5 beschriebene Bilanzgebiet wurde wegen der komplexen hydrogeologischen Verhältnisse im westlichen Teil der Klettgaurinne wesentlich kleiner gewählt als das Modellgebiet.

Grundlage für den Aufbau und die Kalibrierung des Modells bildete die systematische Erkundung der Hydrogeologie der Klettgaurinne im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung.

Die stationäre Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgte für den Stichtag 6.11.89, der langfristig mittleren Grundwasserverhältnissen entspricht.

Mit dem mathematischen Grundwassermodell können großräumig sämtliche natürlichen und künstlichen Einflüsse auf das Strömungsgeschehen im Untergrund simuliert werden. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, die generellen Auswirkungen von Entnahmen und anderen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen aufzuzeigen.

Beim vorliegenden Bearbeitungsstand ist das Modell zur Nachbildung zeitlich konstanter (stationärer) Strömungen einsetzbar. Einschränkungen für den Modelleinsatz liegen u. a. im räumlichen Auflösungsvermögen sowie in der lückenhaften Datengrundlage im Westteil des Modellgebiets. Trotz dieser Ein-

schränkungen steht mit dem Grundwassermodell ein wichtiges wasserwirtschaftliches Planungsinstrument zur Verfügung.

Durch zusätzliche Erkundungsmaßnahmen im Rahmen der örtlichen Untersuchungen werden erfahrungsgemäß laufend neue Erkenntnisse gewonnen. Darüber hinaus müssen aber gezielte weitere Untersuchungen insbesondere im Westteil des Untersuchungsgebiets angestrebt werden, um Informationen über die dort bereichsweise sehr intensive hydraulische Wechselwirkung zwischen dem Kiesgrundwasserleiter und dem darunter anstehenden Muschelkalkgrundwasserleiter zu bekommen. Diese müssen in das Modell eingearbeitet werden, um dessen optimale Einsatzmöglichkeiten auch langfristig zu gewährleisten. Solche regelmäßigen Aktualisierungen werden u. a. zu den künftigen Aufgaben bei der Arbeit mit dem vorhandenen Modell im Rahmen der Fortschreibung der Hydrogeologischen Kartierung gehören.

10.7 Folgerungen für die Grundwassernutzung

Das Grundwasservorkommen in der Klettgaurinne gehört zu den bedeutendsten im Hochrheingebiet. Die derzeitige Nutzung ist demgegenüber gering und erfolgt zur Deckung des örtlichen Wasserbedarfs.

Für die Ermittlung des nutzbaren Dargebots wurde der Teil der Klettgaurinne westlich der Einmündung des Wutachtals wegen der anthropogenen Belastung des Grundwassers sowie der dichten Besiedlung nicht berücksichtigt. Für den verbleibenden östlichen Teil, der dem in Kap. 5.6.5 beschriebenen Bilanzgebiet entspricht, ergibt sich bei einer Grundwasserneubildungsrate von 15 l/s km² (Kap. 5.6.3) und einer Fläche von 21,5 km² (Tab. 6) eine Neubildung von 322 l/s (Δ 10,2 Mio. m³/a). Dazu kommt noch ein geringer Beitrag aus Randzuflüssen von den angrenzenden Hochgebieten und der Infiltration aus den Fließgewässern.

Da im Bilanzgebiet das Grundwasser am nördlichen Rand geogen durch hohe Sulfatgehalte belastet ist, verbleibt für die Grundwassererschließung nur der mittlere und südliche Teil der Klettgaurinne zwischen der Deutsch/Schweizer Grenze im Osten und Lauchringen im Westen. Für dieses Gebiet reduziert sich die oben genannte Neubildung auf rd. 250 l/s (Δ 7,9 Mio. m³/a), die dem nutzbaren Grundwasserdargebot entsprechen. Nicht in Rechnung gestellt ist dabei der Grundwasserzufluß aus dem Schweizer Teil der Klettgaurinne, da über diesen Anteil nicht verfügt werden kann.

Aufgrund des großen gespeicherten Grundwasservorrats von rd. 50 Mio. m³ (Kap. 5.6.5) kann die Entnahme das nutzbare Dargebot kurzfristig erheblich übersteigen. Langfristig muß jedoch mindestens eine ausgeglichene Bilanz zwischen Entnahme und nutzbarem Dargebot gesichert sein, um den Grundwasserleiter nicht überzubewirtschaften.

Bezüglich potentieller Standorte für Entnahmebrunnen ergeben sich in erster Linie Restriktionen aus der

Notwendigkeit, einen ausreichenden Schutz für die jeweilige Fassung durch die Ausweisung von Wasserschutzgebieten zu gewährleisten. Darüber hinaus sind auch die Auswirkungen auf bereits bestehende Fassungen zu prüfen. Ökologische Folgen einer verstärkten Grundwasserentnahme sind hingegen im östlichen Teil der Klettgaurinne wegen der großen Flurabstände von z.T. mehr als 40 m nicht zu erwarten.

11 Literatur

- BAUSCH, W. (1988): Erläuterungen zur geologischen Karte der Blätter 8316 Klettgau und 8416 Hohen-tengen am Hochrhein, Teil 1. – Diss. Univ. Stuttgart; Stuttgart.
- BAUSCH, W., GEYER, O. F., SCHÖBER, TH. & SCHREINER, A. (1989): Zur Geologie des badischen Klettgaus (Exkursion M am 31.03.1989). – Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F., **71**: 199–224; Karlsruhe.
- BÜCHI & MÜLLER AG (1985): Kantonaler Wasserwirtschaftsplan; Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Klettgau. – Hydrogeologisches Gutachten, Bericht Nr. 1764/II: 54 S.; Frauenfeld (Schweiz). – [Unveröff.]
- ERB, L. (1936): Zur Stratigraphie des mittleren und jüngeren Diluviums in Südwestdeutschland und dem schweizerischen Grenzgebiet. – Mitt. bad. geol. Landesanstalt, **11**, (6): 187–220; Freiburg.
- FINCK, K. M. (1988): Geologische Untersuchungen in der Umgebung von Tiengen (Waldshut-Tiengen)/Südbaden. – Dipl.-Arb. Univ. Freiburg: 83 S.; Freiburg.
- FREI, R. (1912): Monographie des Schweizerischen Deckenschotters. – Beitr. geol. Kt. Schweiz, N.F., **3**: 182 S.; Bern.
- FRITZ, P. & FONTES, J. CH. (1980): Handbook of Environmental Isotope Geochemistry 1. The Terrestrial Environment, A. – 545 S.; Amsterdam, Oxford-New York (Elsevier).
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1987a): Hydrogeologisches Gutachten zur Schutzgebietsausweisung für den Tiefbrunnen Eichwald. – 20 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1987b): Hydrogeologisches Gutachten zur Schutzgebietsausweisung für den Tiefbrunnen Hardtwald, Gemeinde Klettgau. – 20 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1988): Hydrogeologisches Gutachten zur Schutzgebietsausweisung für den Brunnen Weisweil/Im See. – 9 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1989a): Hydrogeologisches Gutachten zur Grundwassererschließung in der Klettgaurinne. – 10 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1989b): Hydrogeologisches Gutachten zur Ausweisung eines Schutzgebiets für die Benzlequelle und die beiden Rechbergquellen I und II. – 7 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1990): Hydrogeologisches Gutachten zur Ausweisung eines Wasserschutzgebiets für den Tiefbrunnen Kieß in Klettgau-Geißlingen. – 16 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- GILLAND, P. A. (1970): Etude Geoelectrique du Klettgau (Suisse), Canton de Schaffhouse. – Mat. Geol. Suisse, Geophys., **12**: 83 S.; Bern.
- GYAN, W. U. (1938): Der Grundwasserstrom bei Schaffhausen. – Mitt. natf. Ges. Schaffhausen, **12**: 68 S.; Schaffhausen (Kühn & Co.).
- HANTKE, R. et al. (1967): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete in 2 Blättern 1:50 000. – Vierteljahresschr. naturf. Ges. Zürich, **112**: 91–122; Zürich.
- HOFMANN, F. (1981): Erläuterungen zu Blatt Neunkirch. – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000 [Hrsg.: Schweiz. Geol. Kom.]: 49 S.; Basel.
- HOFMANN, F. & HÜBSCHER, H. (1977): Geologieführer der Region Schaffhausen. – 139 S.; Schaffhausen (Meier).
- KRUSEMANN & DERIDDER (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. – 191 S.; Köln-Braunsfeld (Müller).

- KÜHNLE-BAIKER, E. (1992): Erkundung des Grundwasservorkommens in der Klettgaurinne (deutscher Teil). – Diss. Univ. Freiburg: 226 S.; Freiburg.
- Landesstelle Für Gewässerkunde (1957): Die Grundwasserverhältnisse im Wutachtal: Wasserwirtschaftlicher Gesamtplan für das Flußgebiet Wutach. – 18 S.; Karlsruhe. – [Unveröff.]
- LINIGER, H. (1966): Das Plio-altpleistozäne Flußnetz der Nordschweiz. – Regio Basilensis, 7 (2): 158–177; Basel.
- MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt. – Lehrbuch der Hydrogeologie Bd. 1: 483 S.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- MOSER, H. & RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrogeologie. – Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 8: 400 S.; Stuttgart – Berlin (Borntraeger).
- MÜLLER, W. H., HUBER, M., ISLER, A. & KLEBOTH, P. (1984): Erläuterungen zur „Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100 000“. – NAGRA, Techn. Ber., 84–25: 234 S.; Baden/Schweiz.
- NEUSCHEL, P. (1987): Ergebnisse der quartärgeologischen Untersuchung von acht Grundwasserbohrungen in der Klettgaurinne. – Geologisches Landesamt Bad.-Württ.: 41 S.; Freiburg. – [Unveröff.]
- NEUWIRTH, R. (1971): Das Klima des Südostabhangs des Schwarzwaldes unter besonderer Berücksichtigung der Wutachschlucht. – In: SAUER, K. F. J. & SCHNETTER, M. [Hrsg.]: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. – Bad. L.-Ver. Naturkde. u. Naturschutz: 209–219; Freiburg.
- Niedersächsisches Landesamt Für Bodenforschung (1979): Geoelektrische Untersuchungen Klettgaurinne bei Erzingen, Lkr. Waldshut. – Int. Bericht NILfB Nr. 93439: 7 S.; Hannover. – [Unveröff.]
- PAUL, W. (1971): Von der spätjurassischen (frühkreatazischen?) Landwerdung bis zur Gegenwart: Portlandium (Valendis?) bis Holozän. – In: SAUER, K. F. J. & SCHNETTER, M. [Hrsg.]: Die Wutach. Naturkundliche Monographie einer Flußlandschaft. – Bad. L.-Ver. Naturkde. u. Naturschutz: 135–194; Freiburg.
- PLUM, H. (1978): Statistische Modelle zur mittelfristigen Grundwasserstandsvorhersage in einem genutzten devonischen Kalksteinaquifer bei Aachen. – Mitt. Ingenieurgeol. u. Hydrogeol., 8: 210 S.; Aachen.
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. – Z. kulturtechn. Flurberein., 15: 148–160, 206–221, 263–271, 353–366; Berlin-Hamburg.
- SCHALCH, F. (1912): Erläuterungen zu Blatt Stühlingen (Nr. 144). – Geol. Spez.-Kt. Großherzogtum Baden: 91 S.; Heidelberg. (Unveränderter Nachdruck als Geol. Kt. 1: 25 000 Baden-Württ., Bl. 8216 Stühlingen; Stuttgart 1984).
- SCHALCH, F. (1916): Erläuterungen zu Blatt Wiechs-Schaffhausen (Nr. 145). – Geol. Spez.-Kt. Großherzogtum Baden 1: 25 000. – Bad. geol. Landesanst. und schweiz. geol. Komm.: 160 S.; Heidelberg.
- SCHALCH, F. (1921): Erläuterungen zur Blatt Jestetten-Schaffhausen (Nr. 158). – Geologische Spezialkarte von Baden: 80 S.; Heidelberg
- SCHALCH, F. (1922): Erläuterungen zu Blatt Griesen (Nr. 157). – Geol. Spez.-Kt. Baden: 117 S.; Heidelberg. (Unveränderter Nachdruck als Geol. Kt. 1: 25 000 Baden-Württ., Bl. 8316 Klettgau, Stuttgart 1985).
- SCHOBER, TH. (1989): Erläuterungen zur geologischen Karte der Blätter 8316 Klettgau und 8416 Hohentengen am Hochrhein, Teil 2. – Diss. Univ. Stuttgart; Stuttgart.
- SCHREINER, A. (1968): Eiszeitliche Rinnen und Becken und deren Füllung im Hegau und westlichen Bodenseegebiet. – Jh. geol. Landesamt Bad.-Württ., 10: 79–104; Freiburg.
- SCHREINER, A. (1974): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1: 50 000: 286 S.; Freiburg.
- SCHOEPP, M. (1973): Klimatologie der Schweiz G: Wind 1.–3. Teil. – Beiheft zu den Annalen: 1–60; Zürich.
- SCHWEIZER, R., STÖBER, I. & STRAYLE, G. (1985): Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse von Tracerversuchen im Grundwasser. – Abh. geol. Landesamt Bad.-Württ., 11: 93–139; Freiburg.
- SPRAUER, K.-J. & STRAUB, H. (1988): Wasserwirtschaftliche Untersuchungen in der Klettgaurinne. – Jb. Landkreis Waldshut: 162–187; Waldshut.
- STÖBER, I. (1980): Bestimmung von Aquiferparametern aus Markierungsversuchen in Porengrundwasserleitern mit analytischen Lösungen. – Dipl.-Arb. geograph. Inst. Univ. Freiburg: 109 S.; Freiburg.
- VERDERBER, R. (1992): Quartärgeologie des Hochrheintals zwischen Schaffhausen und Rheinfelden. – Diss. Univ. Freiburg; Freiburg. (In Vorbereitung).

- VILLINGER, E. (1986): Untersuchungen zur Flußgeschichte von Aare-Donau/Alpenrhein und zur Entwicklung des Malm-Karsts in Südwestdeutschland. – Jh. geol. Landesamt Bad.-Württ., **28**: 297–362; Freiburg.
- VILLINGER, E. (1989): Zur Fluß- und Landschaftsgeschichte im Gebiet Aare-Donau und Alpenrhein. – Jh. Ges. Naturkde. Württ., **144**: 5–27; Stuttgart.
- VON MOOS, A. & NÄNNY, P. (1970): Grundwasseruntersuchungen im Klettgau, Kanton Schaffhausen. – Ecl. geol. Helv., **63**: 467–481; Basel.

12 Anhang

12.1 Bohrdatei

Erläuterung zur Bohrdatei

Bohrdatei-Nr.:	Nr. der Bohrung im Landesmeßstellennetz (maximal dreistellig mit dem Zusatz 223 für Bohrungen auf TK25, Bl. 8315 und mit dem Zusatz 273 für Bohrungen auf TK25, Bl. 8316) bzw. interne Numerierung maximal dreistellig
Bezeichnung:	Name der Bohrung
TK25:	Nr. der Topographischen Karte 1: 25 000
R-Wert:	Rechtswert (Gauss-Krüger)
H-Wert:	Hochwert (Gauss-Krüger)
Hf:	Höhenfindung; Geländehöhe eingemessen (=0) bzw. Geländehöhe aus der TK entnommen (=1)
Gel.-Höhe:	Geländehöhe (m ü.NN; deutsche Höhe)
MP-Höhe:	Meßpunkthöhe (m ü.NN; deutsche Höhe)
Bohrteufe:	Bohrteufe (m u. Geländeoberkante)
Qu.-Basis:	Niveau der Quartärbasis (m ü.NN; deutsche Höhe)
Geologie:	Kurzbeschreibung der erbohrten Gesteinsformationen q = Quartär; t = Tertiär; j = Jura; jo = Weißjura (Malm); jm = Braunjura (Dogger); ju = Schwarzjura (Lias); k = Keuper; m = Muschelkalk; gn = Gneis; ? = geologische Ansprache fraglich
Filterstrecke:	Lage der Filterstrecken (m u. Geländeoberkante)
Ausbaunnenweite:	Ausbaunnenweite (mm)
Baujahr:	Baujahr der Bohrung

77Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
901	314 d (CH)	8217	3462570	3484710	1	443.00	—	64.00	381.0	q/km	—	—	1921
902	B 3 (CH)	8217	3463930	5284660	0	448.50	452.74	100.00	—	q	—	—	1967
001	B III	8315	3443265	5277205	1	423.00	—	48.40	—	q	—	—	1943
002	B II	8315	3443430	5277160	1	397.00	—	20.20	—	q	—	—	1943
003	Schacht I	8315	3444005	5277850	0	351.03	—	9.90	—	q	—	—	1946
004	PB Gurtweil	8315	3444180	5277020	1	334.00	—	90.00	310.3	q/mu3-gn	45.2–86.5	250	—
005	B 2 FMA	8315	3444778	5276777	0	333.35	—	10.50	—	q	—	—	1973
006	B 6	8315	3444756	5276810	0	336.00	—	18.00	—	q	—	—	1973
007	B 4	8315	3444765	5276790	0	336.30	—	12.00	—	q	—	—	1973
008	B 5	8315	3444781	5276810	0	338.30	—	14.00	—	q	—	—	1973
009	B 3	8315	3444784	5276783	0	335.95	—	13.00	—	q	—	—	1973
010	TB Stoll	8315	3444885	5276680	1	334.00	—	10.00	—	q	—	—	1946
011	B 2	8315	3444785	5277455	0	352.90	—	10.00	—	q	—	—	1963
012	B 1	8315	3445460	5277060	1	325.00	—	3.50	—	q	—	50	—
013	B 1	8315	3445500	5277380	0	326.58	—	10.50	—	q	—	—	1986
014	KB 2	8315	3445630	5277670	1	345.00	—	22.00	329.0	q/m	—	—	1984
015	KB 1	8315	3445640	5277660	1	333.00	—	10.00	323.0	q/m	—	—	1984
016	B 1	8315	3445580	5278090	1	390.00	—	23.50	369.1	q/mm	—	—	1975
101	B 2	8315	3444225	5276130	0	324.20	—	15.50	—	q	—	—	1983
102	GB 1	8315	3444590	5276400	1	333.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
103	GB 2	8315	3444640	5276370	1	332.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
104	GB 3	8315	3444845	5276360	1	334.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
105	KB 351/1	8315	3444860	5276360	0	324.50	—	31.00	304.9	q/mm	—	—	—
106	KB 351/2	8315	3444960	5276380	0	320.48	—	33.00	309.8	q/mm	—	—	1987
107	KB 351/3	8315	3445050	5276420	0	320.93	—	35.00	310.6	q/mm	—	—	1987
108	KB 2	8315	3445334	5276425	0	356.00	—	37.00	—	q	—	—	—
109	KB 4a	8315	3445349	5276450	0	354.90	—	75.00	301.9	q/mm	—	—	—
110	KB 4	8315	3445379	5276436	0	366.04	—	50.00	—	q	—	—	—
111	KB 3	8315	3445361	5276471	0	354.60	—	44.00	—	q	—	—	—
112	KB 5	8315	3445450	5276505	0	358.80	—	44.00	—	q	—	—	—
113	KB 6	8315	3445528	5276501	0	363.70	—	44.00	—	q	—	—	—
114	KB 7	8315	3445567	5276540	0	364.40	—	102.00	318.9	q/mm	—	—	—
115	KB 8	8315	3445610	5276538	0	368.50	—	49.00	—	q	—	—	—
116	KB 10	8315	3445682	5276575	1	369.50	—	58.30	315.5	q/mm	—	—	—
117	KB 11	8315	3445684	5276621	0	360.40	—	43.00	—	q	—	—	—
118	KB 11a	8315	3445733	5276647	0	358.80	—	40.00	—	q	—	—	—
119	KB 12a	8315	3445770	5276631	0	363.90	—	70.00	308.9	q/mm	—	—	—
120	KB 12	8315	3445759	5276674	0	358.25	—	39.50	—	q	—	—	—
121	KB 13	8315	3445771	5276720	0	360.40	—	39.00	—	q	—	—	—
122	KB 14	8315	3445796	5276684	0	359.30	—	39.00	—	q	—	—	—
123	KB 15	8315	3445817	5276656	0	361.30	—	39.00	—	q	—	—	—
124	KB 16	8315	3445829	5276634	0	364.10	—	39.00	—	q	—	—	—
125	KB 17	8315	3445870	5276746	0	361.80	—	41.50	—	q	—	—	—
126	KB 17a	8315	3445928	5276748	0	365.90	—	70.00	304.9	q/mm	—	—	—
127	KB 18	8315	3446027	5276800	0	371.90	—	49.00	333.1	q/m	—	—	—
128	KB 19	8315	3446029	5276873	0	377.60	—	53.00	341.0	q/mo	—	—	—
129	KB 18a	8315	3446071	5276753	0	380.60	—	64.40	326.1	q/mo	—	—	—
130	KB 20	8315	3446098	5276878	0	381.70	—	60.00	—	q	—	—	—
131	KB 20a	8315	3446119	5276887	0	383.60	—	85.00	324.1	q/mm	—	—	—
132	KB 21	8315	3446101	5276944	0	389.90	—	66.50	333.5	q/mo	—	—	—
133	KB 22	8315	3446202	5277042	0	407.20	—	83.00	343.5	q/mo	—	—	—
134	KB 23	8315	3446285	5277136	0	400.60	—	81.00	352.6	q/mo	—	—	—
135	KB 25	8315	3446396	5277240	0	357.65	—	36.00	354.2	q/mo	—	—	—
136	KB 28	8315	3446412	5277243	0	357.60	—	38.00	352.1	q/mo	—	—	—
137	KB 27	8315	3446652	5277255	0	356.30	—	25.00	352.0	q/mo	—	—	—
138	KB 24	8315	3446420	5277183	0	366.50	—	48.00	360.5	q/mo	—	—	—
139	KB 353/1	8315	3446605	5277390	0	339.36	—	22.00	—	q	—	—	1987
140	KB 353/3	8315	3446670	5277425	0	330.30	—	12.00	—	q	—	—	1987
141	KB 353/2	8315	3446635	5277405	0	330.78	—	12.00	—	q	—	—	1987
142	KB 30	8315	3446685	5277475	1	330.00	—	12.20	—	q	—	—	—
143	KB 353/4	8315	3446710	5277450	0	331.00	—	20.00	—	q	—	—	1987
201	KB 353/5	8315	3446740	5277470	0	332.65	—	20.00	—	q	—	—	1987

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
202	KB 353/6	8315	3446770	5277465	0	331.01	—	12.00	—	q	—	—	1986
203	KB 357/1	8315	3446840	5277480	0	331.28	—	12.00	—	q	—	—	1986
204	KB 354/1	8315	3447090	5277600	0	331.78	—	12.00	—	q	—	—	—
205	KB 354/2	8315	3447100	5277560	0	332.78	—	12.00	—	q	—	—	1986
206	KB 32	8315	3447105	5277526	1	335.00	—	10.00	—	q	3.0–8.0	—	—
207	KB 355/1	8315	3447170	5277560	0	333.53	—	12.00	—	q	—	—	1987
208	KB 355/2	8315	3447190	5277570	0	334.73	—	12.00	—	q	—	—	1987
209	KB 34	8315	3447340	5277615	1	355.00	—	10.00	—	q	—	—	—
210	KB LS1	8315	3447370	5277620	0	355.81	355.81	18.00	352.1	q/m	—	—	1987
211	KB LS2	8315	3447435	5277640	0	355.93	355.90	18.00	—	m	—	—	—
212	KB LS3	8315	3447460	5277670	0	355.45	355.45	10.80	—	m	—	—	1985
213	KB LS4	8315	3447475	5277635	0	356.33	—	10.00	355.2	q/m	—	—	1986
214	KB 35	8315	3447490	5277680	0	357.00	—	10.00	355.0	q/m	—	—	—
215	GB 4	8315	3447554	5277701	0	356.50	—	8.50	354.0	q/mo	—	—	1985
216	358/1	8315	3447765	5277830	0	352.57	—	12.00	349.6	q/mo	—	—	1986
217	358/2	8315	3447780	5277780	0	352.94	—	12.00	348.9	q/mo–mm	—	—	1986
218	KB ST/1	8315	3447860	5277820	0	353.12	—	10.00	348.1	q/m	—	—	1986
219	GB 5	8315	3447914	5277847	0	357.50	—	10.00	349.0	q/m	—	—	—
220	KB 37	8315	3448190	5277880	1	350.99	351.60	10.00	347.8	q/m	5.4–8.4	50	—
301	KB 360/1	8315	3448230	5277860	0	354.46	—	30.00	350.5	q/m	—	—	1987
302	GB 6	8315	3448250	5277860	1	356.00	—	10.00	351.1	q/m	—	—	1985
303	GB 7	8315	3448340	5277840	1	362.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
304	GB 8	8315	3448500	5277770	1	364.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
305	GB 9	8315	3448730	5277670	1	366.00	—	—	—	q	—	—	1985
306	KB 362/1	8315	3448805	5277615	0	365.72	—	8.00	—	q	—	—	1987
307	KB 362/2	8315	3448820	5277630	0	365.94	—	8.00	—	q	—	—	1987
308	KB 362/3	8315	3448835	5277645	0	366.03	—	8.00	—	q	—	—	1987
309	GB 10	8315	3448990	5277540	1	379.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
310	B 4	8315	3449245	5277550	1	389.00	—	11.50	—	q	—	—	1968
311	B 3	8315	3449380	5277670	1	381.00	—	26.00	—	q	—	—	1968
312	B II	8315	3449420	5277440	1	375.00	—	20.00	—	q	—	—	1968
313	B I	8315	3449505	5277440	1	375.00	—	20.00	—	q	—	—	1968
314	B 1a	8315	3449565	5277430	1	369.00	—	17.50	—	q	—	—	1968
315	KB 373/1	8315	3449780	5277300	0	367.84	—	10.00	—	q	—	—	1987
316	KB 373/2	8315	3449780	5277315	0	367.91	—	10.00	—	q	—	—	1987
401	B 81B	8315	3443630	5275380	0	317.67	—	15.90	306.4	q/mm	—	—	—
402	B 81A	8315	3443710	5275400	1	316.00	—	14.00	302.3	q/m	—	—	—
403	P 52	8315	3443995	5275520	1	315.00	—	13.50	301.5	q/?	—	—	—
404	P Va	8315	3444120	5275540	1	315.00	—	13.00	302.0	q/?	—	—	—
405	P VI	8315	3443960	5275500	1	315.00	—	15.70	299.3	q/?	—	—	—
406	P V	8315	3444220	5275560	1	315.00	—	12.50	297.5	q/?	—	—	—
407	P IV	8315	3444310	5275560	1	315.00	—	13.50	301.5	q/?	—	—	—
408	P III	8315	3444400	5275540	1	315.00	—	10.30	304.7	q/?	—	—	—
409	B 23	8315	3444440	5275720	0	324.88	—	25.30	299.6	q/mo	—	—	—
410	B 22	8315	3444460	5275670	1	323.00	—	3.00	298.4	q/?	—	—	—
411	B 75a	8315	3444700	5275950	0	338.60	—	6.50	335.1	q/mo2	—	—	—
412	G 65e	8315	3445060	5275730	0	322.11	322.70	10.00	—	q	6.0–10.0	50	—
413	P 13	8315	3444495	5275535	1	315.00	—	16.00	299.0	q/?	—	—	—
414	P 19	8315	3444670	5275495	1	319.00	—	14.30	304.7	q/?	—	—	—
415	P1	8315	3444595	5275525	1	330.00	—	31.00	299.0	q/?	—	—	—
416	P3	8315	3444635	5275520	0	331.00	—	33.00	298.0	q/?	—	—	—
417	P2	8315	3444610	5275470	1	330.00	—	31.00	299.0	q/?	—	—	—
418	P4	8315	3444675	5275455	0	333.00	—	36.00	297.0	q/?	—	—	—
419	P 20	8315	3444525	5275455	1	319.00	—	15.50	303.5	q/?	—	—	—
420	P I	8315	3444585	5275390	1	319.00	—	6.10	312.9	q/?	—	—	—
421	71b	8315	3444625	5275390	0	326.60	—	19.70	310.0	q/mo	—	—	1955
422	71a	8315	3444620	5275380	0	322.40	—	14.50	314.9	q/mo	—	—	1955
423	33	8315	3444660	5275370	1	330.00	—	15.50	314.5	q/?	—	—	—
424	32	8315	3444640	5275365	0	326.10	—	1.00	—	m	—	—	—
425	32a	8315	3444645	5275345	0	330.30	—	1.00	—	m	—	—	—
426	31b	8315	3444605	5275340	0	312.50	—	1.00	—	m	—	—	—
427	31a	8315	3444585	5275330	0	307.10	—	1.00	—	m	—	—	—

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
428	St4	8315	3444785	5275265	1	332.00	—	2.00	330.0	q/?	—	—	—
429	St3	8315	3444745	5275220	0	332.60	—	1.00	—	m	—	—	—
430	35	8315	3444845	5275205	1	327.00	—	2.00	325.0	q/?	—	—	—
431	St1	8315	3444870	5275070	1	326.00	—	2.00	324.0	q/?	—	—	—
432	St2	8315	3444905	5275130	1	327.00	—	2.00	325.0	q/?	—	—	—
433	32b	8315	3444815	5275010	1	328.00	—	3.00	325.0	q/?	—	—	—
434	32c	8315	3444870	5274950	1	327.00	—	3.00	324.0	q/?	—	—	—
435	201c	8315	3444950	5274950	1	327.50	—	20.30	—	q/?	—	—	—
436	201b	8315	3444980	5274960	2	330.50	—	8.20	328.5	q/?	—	—	—
437	201e	8315	3445000	5274920	1	320.00	—	20.30	316.7	q/ku—mo3	—	—	1955
438	201a	8315	3445000	5274970	1	330.00	—	19.70	325.1	q/km1—mo	—	—	1955
439	B 201	8315	3445030	5274960	0	324.35	—	16.40	317.4	q/km1—ku	—	—	1955
440	201d	8315	3445080	5274940	1	318.50	—	6.60	—	q/?	—	—	—
441	201f	8315	3445075	5275010	0	319.60	—	12.00	317.4	q/ku—mo3	—	—	1955
442	B 202	8315	3445300	5275045	0	316.77	—	11.00	309.6	q/km1	—	—	1955
443	B 203	8315	3445420	5275070	0	317.84	—	11.00	310.0	q/km—ku	—	—	1955
444	B 204	8315	3445660	5275120	0	318.56	—	19.70	305.7	q/km—ku	—	—	1955
445	B 205	8315	3445855	5275160	0	321.46	—	19.10	304.2	q/km	—	—	—
446	K 1	8315	3445830	5275465	0	322.40	—	187.30	311.1	q/mo—mu	—	—	1934
447	B 116	8315	3445925	5275140	0	320.58	—	165.00	300.6	q/km1—mu	—	—	—
448	P 7	8315	3445945	5275120	1	319.00	—	12.30	306.7	q/?	—	—	—
449	B 206	8315	3446030	5275110	0	323.71	—	17.50	309.2	q/km1	—	—	1955
450	B 207	8315	3446190	5275080	1	318.00	—	12.00	306.0	q/?	—	—	—
451	B 208	8315	3446390	5275040	1	318.00	—	16.00	302.0	q/?	—	—	—
452	B 209	8315	3446580	5275000	1	320.00	—	26.00	294.0	q/?	—	—	—
453	K 3	8315	3446650	5275640	0	322.59	—	175.80	303.6	q/mo—mu	7.0–17.0	—	1935
454	K 2	8315	3446850	5275300	0	320.89	—	175.90	291.4	q/k—mu3	—	—	1934
455	B 43e	8315	3446800	5274845	1	321.00	—	24.00	297.0	q/?	—	—	—
456	B 115	8315	3446810	5274840	0	320.95	—	24.00	297.0	q/?	—	—	—
457	B 43f	8315	3447105	5274690	1	320.00	—	18.00	302.0	q/?	—	—	—
458	B 114	8315	3447350	5274250	0	320.48	—	259.90	310.5	q/km1—mu	—	—	1934
502	B 13	8315	3446300	5276200	0	350.54	—	11.50	339.0	q/?	—	—	1976
503	B 12	8315	3446320	5276330	0	351.22	—	19.20	332.0	q/?	—	—	1976
504	B 10	8315	3446455	5276420	1	355.00	—	10.00	—	q	—	—	—
505	B 9	8315	3446610	5276480	1	369.00	—	16.50	—	q	—	—	—
506	B 11	8315	3446450	5276340	0	355.71	—	17.50	338.2	q/?	—	—	1976
507	B 8	8315	3446450	5276255	0	367.61	—	28.50	339.1	q/?	—	—	1976
508	B 7	8315	3446410	5276200	0	358.60	—	20.30	338.3	q/?	—	—	1976
509	B 3	8315	3446600	5276220	0	372.14	—	34.30	337.8	q/?	—	—	1976
510	B 2	8315	3446470	5276160	0	357.03	—	23.50	333.5	q/?	—	—	1976
511	B 4	8315	3446605	5276160	0	369.05	—	33.00	336.1	q/?	—	—	1976
512	B 1	8315	3446420	5276035	0	350.28	—	13.80	336.5	q/?	—	—	1976
513	B 6	8315	3446505	5276035	0	366.40	—	28.20	338.2	q/?	—	—	1976
514	B 5	8315	3446570	5276060	0	368.34	—	31.20	337.1	q/?	—	—	1976
515	B 15	8315	3446755	5276020	1	368.00	—	32.50	336.0	q/?	—	—	1976
516	B 16	8315	3446905	5275965	1	368.00	—	20.00	348.2	q/?	—	—	1976
517	B 14	8315	3447085	5276215	1	403.00	—	22.50	381.0	q/?	—	—	1976
518	B 1	8315	3447250	5276680	0	—	—	20.00	—	q	—	—	1961
519	B 2	8315	3447270	5276420	0	—	—	40.00	—	q	—	—	1961
520	B 1	8315	3447320	5277030	1	343.00	—	16.10	327.0	q/mo	—	—	—
521	B 2	8315	3447380	5277110	1	343.00	—	12.00	—	q	—	—	—
522	B 4	8315	3447380	5277020	1	343.00	—	12.00	—	q	—	—	—
523	B 3	8315	3447400	5277060	1	343.00	—	12.00	—	q	—	—	—
601	B 1	8315	3449215	5276890	0	370.76	—	12.00	—	q	—	—	1986
602	B 2	8315	3449380	5276230	1	350.00	—	11.00	—	q	—	—	1963
603	B 1	8315	3449400	5276280	1	350.00	—	10.00	—	q	—	—	1963
604	KB 6	8315	3449100	5275640	1	430.00	—	15.00	425.1	q/jm1	—	—	—
605	KB 7	8315	3449140	5275590	1	430.00	—	10.00	426.5	q/jm1	—	—	—
606	KB 5	8315	3449330	5275690	1	400.00	—	10.00	396.4	q/ju5	—	—	—
607	KB 3	8315	3449520	5275540	1	390.00	—	10.00	381.3	q/j	—	—	—
608	KB 4	8315	3449485	5275620	1	382.00	—	10.00	372.5	q/j	—	—	—
609	KB 2a	8315	3449680	5275430	1	387.00	—	11.00	376.3	q/j	—	—	—

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
610	KB 2	8315	3449820	5275295	1	390.00	—	10.00	—	q	—	—	—
11 223	TB Schwimmbad	8315	3448765	5276350	0	349.38	348.08	39.00	311.3	q/km	10.3–16.3	100	1972
11 223	TB Schwimmbad	8315	3448765	5276350	0	—	—	—	—	—	21.3–36.8	—	—
12 223	P I	8315	3448775	5276425	1	350.00	349.99	—	—	q	—	—	—
13 223	P 3	8315	3448755	5276500	0	349.05	348.07	—	—	q	—	—	—
14 223	P III	8315	3448746	5276480	1	350.00	350.39	—	—	q	—	—	—
15 223	P 1	8315	3448779	5276380	1	350.00	350.05	35.00	—	q	—	—	1972
16 223	P 5	8315	3448760	5276205	1	350.00	350.17	8.00	—	q	—	—	1972
17 223	P 8	8315	3448650	5276205	1	349.00	349.37	8.00	—	q	—	—	1972
18 223	P 9	8315	3448565	5276375	1	347.00	346.85	—	—	q	—	—	1972
19 223	P 1	8315	3448570	5277225	0	361.09	361.75	37.00	325.8	q/mo	13.0–35.0	114	1984
20 223	P 2	8315	3448600	5277170	0	361.23	361.23	38.50	325.2	q/mo	13.5–37.0	114	1984
21 223	P 3	8315	3448700	5277110	0	361.79	362.47	38.00	325.6	q/mo	13.0–37.0	114	1984
22 223	P 4	8315	3448835	5277060	0	362.74	363.39	35.00	—	q	12.0–34.0	114	1984
23 223	P 5	8315	3448705	5277020	0	361.39	362.10	35.00	—	q	12.0–34.0	114	1984
24 223	P 6	8315	3449355	5277015	0	364.41	365.08	40.50	324.5	q/km1	13.5–40.0	114	1984
25 223	P Fa. Habermann	8315	3448770	5277015	0	361.76	—	36.10	—	q	—	—	—
26 223	P 33	8315	3448185	5276990	0	354.85	355.60	20.50	—	q	—	150	1956
27 223	P 34	8315	3448730	5277000	0	361.50	362.21	43.80	324.7	q/mm	—	—	1956
28 223	P 2	8315	3448865	5276595	0	348.71	349.47	9.60	—	q	—	50	—
29 223	TB Oberlauchr.	8315	3449240	5276750	0	356.24	356.52	15.70	340.6	q/m?	7.0–15.6	1000	1938
30 223	TB König	8315	3449085	5277180	0	363.64	365.09	27.00	—	q	16.0–26.0	800	1969
31 223	TB König alt	8315	3449880	5275425	0	360.15	360.39	14.20	347.8	q/?	6.5–12.7	400	—
32 223	Entnahmabr.	8315	3448965	5276530	1	349.00	—	7.00	—	q	—	—	—
33 223	Schluckbr.	8315	3448960	5276550	1	349.00	—	5.00	—	q	—	—	—
34 223	TB Maier	8315	3449075	5276660	1	350.00	—	—	—	q	—	—	—
35 223	Entnahmabr.	8315	3449200	5276550	1	350.00	—	10.50	—	q	—	—	—
36 223	Schluckbr.	8315	3449210	5276570	1	350.00	—	12.30	—	q	—	—	—
37 223	Entnahmabr.	8315	3449540	5276775	0	364.37	—	16.00	—	q	—	—	—
38 223	Schluckbr.	8315	3449520	5276738	0	363.92	362.97	16.00	—	q	—	—	—
39 223	Entnahmabr.	8315	3449370	5276615	1	355.00	—	9.00	—	q	—	—	—
40 223	Schluckbr.	8315	3449370	5276630	1	355.00	—	—	—	q	—	—	—
41 223	Entnahmabr.	8315	3449270	5276200	1	352.00	—	4.20	—	q	—	—	—
42 223	Schluckbr.	8315	3449255	5276230	1	352.00	—	4.20	—	q	—	—	—
43 223	TB Reiherwald	8315	3447090	5276870	0	339.29	340.97	14.50	—	q	6.0–14.0	350	1950
44 223	Entnahmabr.	8315	3448065	5276710	0	346.48	—	11.50	—	q	—	—	—
45 223	Schluckbr.	8315	3448040	5276690	0	344.35	—	4.60	—	q	—	—	—
46 223	Entnahmabr.	8315	3447855	5276420	0	342.88	—	2.50	—	q	—	80	—
47 223	Schluckbr.	8315	3447850	5276410	0	342.75	—	1.40	—	q	—	—	—
49 223	TB Güthler	8315	3447240	5276870	0	339.75	—	8.00	—	q	—	—	—
50 223	P W20	8315	3449774	5277741	0	370.26	370.83	30.30	—	q	14.3–29.3	50	1983
51 223	P NNW15	8315	3449784	5277757	0	370.83	371.01	39.00	334.3	q/mo	14.0–36.0	114	1982
52 223	P NNO40	8315	3449804	5277784	0	371.40	372.01	25.30	—	q	14.3–24.3	50	1983
53 223	P NO50	8315	3449835	5277772	0	370.10	370.82	25.30	—	q	14.3–24.3	50	1983
54 223	P NO20	8315	3449810	5277756	0	370.03	370.77	30.30	—	q	14.3–29.3	50	1983
55 223	P O70	8315	3449863	5277738	0	369.18	370.28	25.30	—	q	14.3–24.3	50	1983
56 223	P SO20	8315	3449802	5277729	0	370.40	370.85	30.30	—	q	14.3–29.3	50	1983
62 223	P 4	8315	3448820	5276420	0	349.12	349.67	2.40	—	q	—	50	—
63 223	P 5	8315	3448740	5276160	0	349.14	349.89	5.80	—	q	—	50	—
64 223	P 6	8315	3448680	5276020	0	348.76	349.60	34.50	—	q	—	50	—
65 223	P 31	8315	3446845	5277505	0	330.50	331.17	27.60	306.7	q/mo	—	50	1957
69 223	P 32	8315	3447165	5276970	0	339.50	340.18	17.90	324.3	q/mo3	—	50	1956
70 223	P II	8315	3448790	5276450	1	350.00	350.52	—	—	q	—	—	—
71 223	P 2	8315	3448760	5276345	1	350.00	349.91	15.00	—	q	—	—	1972
72 223	P 7	8315	3448745	5276340	1	350.00	350.08	12.00	—	q	—	—	1972
73 223	P 6	8315	3448775	5276340	1	350.00	350.05	12.00	—	q	—	—	1972
74 223	P 3	8315	3448760	5276325	1	349.53	349.95	12.00	—	q	—	50	1972
75 223	P 4	8315	3448760	5276295	1	350.00	350.01	10.00	—	q	—	—	1972
76 223	TB Tress	8315	3448285	5276550	1	346.04	346.22	2.20	—	q	—	400	—
100 223	TB 1	8315	3443240	5275440	0	317.84	—	33.00	297.1	q/mm	7.4–15.4	600	—
101 223	TB 2	8315	3443285	5275400	1	317.00	—	15.60	—	q	—	—	—
102 223	TB 3	8315	3443310	5275460	0	316.80	—	15.30	—	q	6.3–15.3	600	—

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
103 223	TB 4	8315	3443350	5275410	0	316.80	—	15.00	—	q	7.0–15.0	600	—
104 223	TB 5	8315	3443365	5275475	0	316.47	—	14.90	—	q	6.9–19.9	600	—
105 223	TB 6	8315	3443415	5275435	0	316.33	—	20.00	296.8	q/m	6.7–19.7	600	—
106 223	TB 7	8315	3443440	5275490	0	316.63	—	20.00	296.8	q/m	6.4–19.4	600	—
107 223	TB 8	8315	3443505	5275510	0	316.53	—	20.00	—	q	6.4–19.4	600	—
108 223	TB 9	8315	3443555	5275530	0	316.86	—	21.50	—	q	11.0–21.0	600	—
109 223	TB 10	8315	3443600	5275550	0	317.20	—	22.80	—	q	—	—	—
110 223	TB 11	8315	3443560	5275460	0	316.26	—	24.00	293.1	q/m	—	—	—
111 223	P	8315	3443795	5276000	0	319.27	—	24.40	—	q	—	—	—
120 223	TB Gurtweil	8315	3444180	5277040	0	334.08	—	26.50	311.1	q/mu3	12.6–22.6	800	1974
121 223	TB Steina	8315	3446820	5277580	0	330.48	328.42	18.50	—	q	6.0–17.5	600	—
122 223	TB Schwimmbad	8315	3444470	5277120	0	335.58	333.69	12.50	—	q	5.4–12.0	300	—
123 223	TB Tennisclub	8315	3444390	5277260	1	340.00	—	—	—	q	—	—	—
124 223	TB Wäscherei	8315	3445712	5277590	0	328.16	326.77	—	—	q	—	300	—
125 223	Entnahmebr.	8315	3445750	5277415	1	325.00	—	11.80	—	q	—	—	—
126 223	Schluckbr.	8315	3445745	5277390	1	325.00	—	11.80	—	q	—	—	—
127 223	TB FC Tiengen	8315	3445598	5276780	1	323.84	323.96	3.60	—	q	—	—	—
128 223	TB Fa. Walser	8315	3443845	5276100	0	318.15	318.15	—	—	q	—	—	—
129 223	TB Fa. Kiechle	8315	3443918	5276035	1	325.00	—	—	—	q	—	—	—
130 223	B 83	8315	3443480	5275735	0	318.71	318.52	10.50	—	q	—	125	—
132 223	G 80a	8315	3443220	5275310	0	314.62	315.16	7.50	—	q	3.5–7.5	50	—
133 223	B 81	8315	3443610	5275400	0	315.16	315.28	20.20	298.0	q/mm	5.0–12.7	125	—
135 223	B 74	8315	3444230	5275820	0	317.71	317.60	32.40	287.6	q/mm	2.0–19.0	50	—
136 223	G 70a	8315	3444000	5275520	0	315.51	316.37	12.80	—	q	9.8–12.8	50	—
137 223	G 70b	8315	3444001	5275521	0	315.51	316.34	4.20	—	q	1.2–4.2	50	—
138 223	B 83	8315	3443630	5275900	0	319.26	319.51	10.50	—	q	—	—	1955
139 223	P	8315	3443858	5275958	0	—	—	—	—	q	—	—	—
140 223	G 82	8315	3443598	5275575	0	317.09	318.27	25.30	—	q	—	150	—
141 223	P	8315	3444180	5277095	0	—	—	—	—	q	—	—	—
142 223	P	8315	3444200	5277062	0	—	—	—	—	q	—	—	—
143 223	P	8315	3444160	5277033	0	—	—	—	—	q	—	—	—
144 223	P	8315	3444185	5277039	0	—	—	—	—	q	—	—	—
145 223	P	8315	3444245	5277050	0	—	—	—	—	q	—	—	—
146 223	P	8315	3444305	5277062	0	333.66	334.37	—	—	q	—	50	—
147 223	P	8315	3444228	5277020	0	—	—	—	—	q	—	—	—
148 223	TB K'baumaecker	8315	3445280	5275390	0	321.68	—	13.10	308.7	q/?	—	—	—
149 223	TB Mueller	8315	3445072	5275845	0	324.21	—	13.70	—	q	—	—	—
150 223	TB Kaiser	8315	3445170	5275857	1	326.00	—	13.00	—	q	—	—	—
151 223	TB Tröndle P68	8315	3445665	5275855	0	319.14	317.99	1.30	—	q	—	400	—
152 223	TB Hässig	8315	3446895	5275265	1	322.00	—	5.00	—	q	—	—	—
153 223	TB Schmidt	8315	3447017	5275100	1	322.00	—	5.00	—	q	—	—	—
154 223	TB Gebr. Hirt	8315	3447245	5275162	1	328.00	—	—	—	q	—	—	—
155 223	TB Roder	8315	3446492	5275340	1	321.00	—	5.00	—	q	—	—	—
156 223	TB Sprauer	8315	3446842	5274865	1	322.00	—	12.00	—	q	—	—	—
159 223	G'74a	8315	3444710	5275875	0	334.00	334.83	26.50	310.5	q/mo1–mm	17.8–23.6	50	—
160 223	G 67	8315	3445775	5275690	0	323.56	323.92	11.40	—	q	7.4–11.4	50	—
161 223	B 55	8315	3446790	5275365	0	320.31	320.23	21.00	299.6	q/?	2.0–18.2	125	—
162 223	G 43b	8315	3446995	5274815	0	321.19	321.10	8.00	—	q	4.0–8.0	50	—
164 223	G 73	8315	3444240	5275730	0	316.85	317.65	3.80	—	q	—	150	—
165 223	G' 73a	8315	3444660	5275670	0	332.29	332.92	34.00	301.3	q/m	15.8–31.0	50	1955
166 223	G 72	8315	3444555	5275515	0	319.02	320.22	10.40	—	q	6.4–10.4	50	—
167 223	B 71	8315	3444615	5275410	0	319.71	320.47	17.00	305.7	q/m	5.3–13.3	125	—
168 223	P	8315	3445060	5275745	1	326.00	—	—	—	q	—	—	—
169 223	G 65d	8315	3444827	5275535	0	321.92	322.40	11.00	—	q	7.0–11.0	50	—
170 223	G 65c	8315	3445055	5275465	0	323.50	323.45	11.50	—	q	7.5–11.5	50	—
171 223	G 65b	8315	3445160	5275275	0	321.36	321.62	9.00	—	q	5.0–9.0	50	—
172 223	G 65a	8315	3445265	5275195	0	317.86	317.79	6.00	—	q	2.0–6.0	50	—
173 223	TB Ettikonerhof	8315	3445038	5275190	0	321.33	318.80	—	—	q	—	—	—
174 223	G 65	8315	3445595	5275250	0	320.02	320.46	7.50	—	q	3.5–7.5	50	—
175 223	B 66	8315	3445740	5275360	0	321.75	—	19.70	305.4	q/mo3	—	—	1955
176 223	G 54a	8315	3446195	5275338	0	320.44	320.32	8.00	—	q	4.0–8.0	50	—
177 223	G 54	8315	3446550	5275120	0	321.51	321.26	8.20	—	q	4.0–8.0	50	—

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Tiefe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
178 223	B 44a	8315	3447020	5275040	0	320.32	320.39	31.00	290.6	q/km3?	—	—	—
179 223	G 43a	8315	3446908	5274863	0	320.54	321.05	7.50	—	q	3.5–7.5	50	—
180 223	G 43c	8315	3446782	5274950	0	321.27	321.76	7.80	—	q	3.8–7.8	50	—
182 223	B 43d	8315	3447000	5274755	1	320.00	—	27.00	293.0	q/?	—	—	—
183 223	P Homburg	8315	3444892	5275885	1	336.00	—	—	—	q	—	—	—
184 223	P	8315	3445530	5275365	1	323.00	—	18.50	308.0	q/?	—	200	—
243 223	TB Eichwald	8315	3449793	5277745	0	370.06	370.78	38.50	332.4	q/mm	19.5–35.5	1000	1982
259 223	B 6	8315	3447125	5276745	0	354.55	355.43	46.00	323.6	q/m	11.1–43.1	125	1987
348 223	B 11	8315	3446630	5276740	0	390.63	391.35	73.00	323.6	q/m	59.2–71.2	100	1988
349 223	B 6a	8315	3448960	5277130	0	363.47	364.10	39.00	326.5	q/m	12.3–37.3	125	1988
350 223	B 14	8315	3445780	5276150	0	325.54	325.29	22.00	304.5	q/m	5.0–21.0	125	1988
353 223	KB 1	8315	3445310	5276426	0	354.41	355.24	41.00	—	q	—	50	—
354 223	KB 9	8315	3445615	5276585	0	363.99	364.96	61.00	317.3	q/mm	—	50	—
355 223	KB 26	8315	3446420	5277227	0	364.56	364.34	38.00	359.6	q/mo	—	50	—
356 223	KB 31	8315	3446770	5277480	1	330.79	331.45	10.00	—	q	5.4–8.4	50	—
357 223	KB 33	8315	3447168	5277541	1	339.47	340.14	10.00	—	q	—	50	—
358 223	KB 36	8315	3447966	5277855	1	347.04	347.51	10.00	—	q	5.4–8.4	50	—
359 223	P Komp.-Anlage	8315	3446205	5275793	0	326.22	327.22	24.50	304.2	q/m	6.2–22.2	125	1989
701	PB 2	8316	3450100	5277890	0	371.88	—	23.00	353.9	q/k	—	—	982
702	S1	8316	3452188	5277785	0	397.29	—	306.50	391.3	q/ju–mu	—	—	1955
703	GB 11	8316	3449995	5277130	1	350.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
704	GB 12	8316	3450030	5277100	1	350.00	—	10.00	—	q	—	—	1985
705	O2	8316	3451615	5276370	0	393.97	—	388.00	328.8	q/jm1–mu	—	—	1955
706	KB 1	8316	3450000	5275195	1	383.00	—	10.00	376.1	q/ju	—	—	1978
707	O1	8316	3450280	5275360	0	365.50	—	353.50	346.4	q/jm1–mu	—	—	1951
708	O3	8316	3452120	5275100	0	377.98	—	454.50	363.0	q/jm1–mu	—	—	1955
709	G1	8316	3452560	5275015	0	379.00	—	467.80	355.5	q/jm1–mu	—	—	1952
710	G2	8316	3453630	5275340	0	382.07	—	477.70	340.8	q/jm3–mu	—	—	1955
712	B 1	8316	3455995	5276705	1	389.00	—	11.30	—	q	—	—	1967
713	B Griessen I	8316	3457600	5276700	1	402.00	—	145.40	377.0	q/jo1–jm	—	—	1956
714	B 1	8316	3457980	5276700	1	400.00	—	11.00	—	q	—	—	1967
715	B. Bühl	8316	3459640	5275250	1	455.00	—	286.80	—	t–jm4.2	—	—	1938
716	Griessen 1	8316	3455190	5278310	0	398.35	—	360.00	—	jm1–mu	—	—	1956
717	B 5/86	8316	3456685	5278330	1	413.00	—	10.00	—	q	—	—	1986
718	KB 12	8316	3456725	5278280	1	418.00	—	20.00	—	q	—	—	1987
719	KB 11	8316	3456765	5278290	1	418.00	—	14.00	—	q	—	—	1987
720	B 3/86	8316	3456795	5278345	1	412.00	—	12.00	—	q	—	—	1986
721	KB 13	8316	3456900	5278430	1	407.00	—	11.00	—	q	—	—	1987
722	B 1/86	8316	3456900	5278380	1	411.00	—	10.00	—	q	—	—	1986
723	B 3/70	8316	3456830	5279320	0	403.39	—	10.00	—	q	—	—	1970
724	B 2/70	8316	3456865	5279365	0	403.54	—	10.00	—	q	—	—	1970
725	B 1/70	8316	3456900	5279400	0	403.55	—	10.00	—	q	—	—	1970
726	B 6/70	8316	3456855	5279280	0	403.44	—	10.00	—	q	—	—	1970
727	B 5/70	8316	3456900	5279320	0	403.45	—	10.00	—	q	—	—	1970
728	B 4/70	8316	3456935	5279335	0	403.90	—	10.00	—	q	—	—	1970
729	B 13/70	8316	3456875	5279250	0	403.39	—	10.00	—	q	—	—	1970
730	B 12/85	8316	3456865	5279195	0	399.89	—	12.00	—	q	—	—	1985
731	B 11/70	8316	3456985	5279280	0	403.41	—	10.00	—	q	—	—	1970
732	B 7/70	8316	3457040	5279310	0	404.54	—	10.00	—	q	—	—	1970
733	B 9/70	8316	3457100	5279325	0	405.53	—	10.00	—	q	—	—	1970
734	B 8	8316	3457050	5279280	0	403.94	—	10.00	—	q	—	—	1970
735	B 10/70	8316	3457115	5279285	0	404.49	—	10.00	—	q	—	—	1970
736	B 12/70	8316	3456930	5279260	0	403.45	—	10.00	—	q	—	—	1970
737	B 6/85	8316	3457055	5279210	0	400.30	—	11.00	—	q	—	—	1985
738	B 5/85	8316	3457090	5279220	0	400.48	—	12.00	—	q	—	—	1985
739	B 3/85	8316	3457160	5279230	0	400.75	—	10.00	—	q	—	—	1985
740	VB Weisweil	8316	3459340	5279030	1	401.00	—	27.80	380.0	q/jm2.2	—	—	1955
741	314 i (CH)	8316	3457745	5280895	0	403.66	380.46	31.80	—	q	—	—	1934
742	B 6 (CH)	8316	3458030	5281840	0	405.94	405.74	64.00	347.5	q/km1	24.5–54.5	160	1967
743	B 1921 (CH)	8316	3458540	5280770	1	407.00	—	272.20	317.0	q/km1–mu	—	—	1921
744	B 5 (CH)	8316	3458720	5280900	0	407.94	407.53	82.00	332.9	q/km1	36.0–69.0	160	1967
745	B 7 (CH)	8316	3459840	5280470	0	403.21	403.10	50.00	357.2	q/jm1	22.5–46.5	191	1983

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
746	314 k (CH)	8316	3461320	5279680	0	402.97	400.85	28.40	—	q	22.7–27.2	—	1949
747	B 8 (CH)	8316	3461340	5283095	0	421.84	405.92	84.00	342.8	q/k?	44.0–77.0	114	1983
748	B 9 (CH)	8316	3459080	5281540	0	413.09	410.24	83.00	333.6	q/k?	35.0–70.0	110	1983
749	314 h (CH)	8316	3459400	5282405	0	395.67	—	29.60	—	q	—	—	1937
750	B 1913 (CH)	8316	3459620	5282080	1	415.00	—	65.00	65.0	q/?	—	—	1913
751	314 g (CH)	8316	3459920	5282380	0	410.67	—	39.40	—	q	32.2–38.4	800	1946
752	B 1 (CH)	8316	3460135	5283560	0	418.00	—	86.00	336.9	q/km	41.6–51.2	100	1966
753	B 2 (CH)	8316	3460510	5282770	0	408.09	—	79.00	340.7	q/km	20.0–68.0	114	1966
754	314 f (CH)	8316	3459635	5284190	0	419.21	—	52.50	—	q	42.0–54.0	—	1934
755	B 1938 (CH)	8316	3459190	5284240	1	423.00	—	40.40	396.0	q/km	—	—	1838
11 273	TB Fröschlach.	8316	3450563	5274993	0	373.62	370.71	25.00	350.0	q/jm1	18.5–23.0	1200	1965
12 273	P N100	8316	3450581	5275091	1	373.00	373.32	—	—	q	—	50	1965
13 273	P O100	8316	3450661	5274976	1	374.00	374.59	—	—	q	—	50	1965
14 273	P O40	8316	3450602	5274986	1	374.00	374.46	—	—	q	—	50	1965
15 273	P N25	8316	3450567	5275018	1	374.00	374.19	—	—	q	—	50	1965
16 273	P W10	8316	3450553	5274996	1	373.00	374.05	—	—	q	—	50	1965
17 273	P W25	8316	3450538	5274998	1	373.00	373.70	—	—	q	—	50	1965
18 273	P S25	8316	3450558	5274969	1	374.00	374.41	—	—	q	—	50	1965
19 273	P S50	8316	3450553	5274945	1	374.00	374.81	—	—	q	—	50	1965
20 273	P 7	8316	3450190	5276755	0	357.05	357.78	3.40	—	q	—	—	—
21 273	P 8	8316	3450160	5277030	0	357.65	358.36	8.70	—	q	—	—	—
22 273	TB Bechtersbohl	8316	3451185	5275065	0	374.30	371.88	25.30	—	q	20.0–24.0	—	1963
23 273	TB Manz	8316	3451505	5276170	0	381.50	382.77	31.00	—	q	—	195	—
25 273	P NO100	8316	3450645	5275050	1	374.00	374.80	—	—	q	—	50	1965
26 273	TB Szilagy	8316	3452530	5275595	0	379.94	378.04	41.50	—	q	21.5–29.5	—	1968
26 273	TB Szilagy	8316	3452530	5275595	0	—	—	—	—	—	33.5–41.5	—	—
27 273	P 4	8316	3452538	5275623	0	382.00	382.23	29.00	—	q	20.0–29.0	50	1968
28 273	P 5	8316	3452520	5275676	0	382.56	382.65	29.50	—	q	20.0–29.0	50	1968
29 273	P 6	8316	3452543	5275566	0	379.60	379.50	27.00	—	q	20.0–27.0	50	1968
30 273	P 7	8316	3452562	5275497	0	379.00	379.99	29.00	—	q	20.0–29.0	60	1968
31 273	P 8	8316	3452645	5275618	0	382.30	382.56	33.30	—	q	20.0–30.0	50	1968
32 273	P 2 neu	8316	3452025	5275265	0	379.34	380.30	20.00	—	q	—	—	—
33 273	P 1 neu	8316	3451960	5275315	0	380.04	381.02	20.00	—	q	—	—	—
34 273	TB Stehli	8316	3456985	5279770	0	399.11	385.08	40.00	—	q	21.6–29.9	350	1950
34 273	TB Stehli	8316	3456975	5279780	0	—	—	—	—	—	32.9–40.0	—	—
35 273	TB Hardtwald	8316	3457418	5278210	0	412.93	411.87	75.20	338.8	q/j	45.5–60.5	600	1982
35 273	TB Hardtwald	8316	3457418	5278210	0	—	—	—	—	—	63.5–73.5	—	—
36 273	P 190N	8316	3457390	5278374	0	420.43	421.49	80.00	—	q	33.0–79.0	114	1982
37 273	P NO50	8316	3457438	5278245	0	413.60	414.72	54.50	—	q	33.0–51.5	114	1982
38 273	P NO25	8316	3457428	5278222	0	413.00	414.09	55.00	—	q	33.0–54.0	50	1982
39 273	P NW20	8316	3457400	5278208	0	412.44	413.48	55.00	—	q	33.0–54.0	50	1982
40 273	P SO30	8316	3457445	5278188	0	412.80	413.88	52.00	—	q	33.0–51.0	50	1982
41 273	P SO18	8316	3457434	5278193	0	412.70	413.77	55.00	—	q	33.0–54.0	50	1982
42 273	P SW24	8316	3457408	5278180	0	412.56	413.07	89.00	335.6	q/j	37.2–77.2	200	1981
43 273	TB Weisweil	8316	3459600	5279520	0	399.88	397.17	28.00	—	q	—	—	1956
44 273	TB Kiess	8316	3454300	5276620	0	387.97	386.30	33.00	—	q	—	600	1950
45 273	TB Maidlewag	8316	3456230	5276800	0	390.07	383.78	33.00	—	q	22.0–33.0	600	—
46 273	TB Strick	8316	3457200	5276930	0	393.81	392.47	45.00	350.4	q/jm4	25.0–35.0	1000	1965
46 273	TB Strick	8316	3457200	5276930	0	—	—	—	—	—	42.0–43.0	—	—
47 273	P 1	8316	3457241	5276936	0	393.80	394.53	—	—	q	—	—	1965
48 273	P 2	8316	3457220	5276933	0	393.80	394.39	—	—	q	—	—	1965
49 273	P 3	8316	3457200	5276900	0	393.80	394.20	—	—	q	—	—	1965
50 273	P 4	8316	3457208	5277026	0	393.80	394.28	—	—	q	—	—	1965
51 273	P 5	8316	3457162	5276927	0	393.80	394.06	—	—	q	—	—	1965
52 273	P 6	8316	3457139	5276924	0	393.80	393.95	—	—	q	—	—	1965
53 273	P 7	8316	3457113	5276921	0	393.80	393.67	—	—	q	—	—	1965
54 273	TB Rechberg	8316	3455980	5278680	0	395.04	392.78	34.10	—	q	24.0–34.1	600	1970
62 273	P 9	8316	3450700	5277840	0	365.74	366.19	14.10	—	q	—	50	—
63 273	P 11	8316	3450805	5278245	0	369.27	369.39	14.30	—	q	—	50	—
64 273	P 10	8316	3450810	5278235	0	369.30	369.90	14.90	—	q	—	50	—
65 273	P 12	8316	3450860	5278880	0	372.80	373.48	18.90	—	q	—	50	—
66 273	P 13	8316	3451110	5278720	0	371.81	372.33	15.40	—	q	—	50	—

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
67 273	P 14	8316	3451355	5278625	0	372.22	373.06	17.70	—	q	—	50	—
68 273	P 15	8316	3451585	5278560	0	373.10	373.73	17.70	—	q	—	50	—
69 273	P 35	8316	3451475	5279290	0	374.50	375.16	27.70	351.8	q/mo3	—	—	—
71 273	P 36	8316	3451845	5279130	0	376.21	376.91	35.70	342.4	q/ku	—	100	1956
72 273	P 16	8316	3451745	5279650	0	377.47	377.87	14.50	—	q	—	50	—
73 273	P 17	8316	3451970	5279795	0	378.76	379.29	4.40	—	q	—	50	—
75 273	P I	8316	3452250	5280460	0	381.72	382.62	17.00	364.8	q/m	5.6–16.6	100	—
76 273	P IIIa	8316	3452290	5280395	0	383.26	383.96	15.30	368.4	q/mm?	—	—	1983
77 273	P III	8316	3452380	5280335	0	383.18	383.63	12.20	371.3	q/mm	—	—	1983
78 273	P VI	8316	3452370	5280250	0	383.60	384.10	23.20	360.8	q/m	—	—	1983
79 273	P IV	8316	3452475	5280250	0	386.60	387.35	24.80	362.0	q/m	—	—	1983
80 273	P II	8316	3452390	5280465	0	383.72	384.92	14.50	369.5	q/mm?	—	—	1983
89 273	P II	8316	3451150	5278770	0	371.84	372.21	21.40	350.6	q/m	—	—	—
90 273	P III	8316	3451185	5278760	0	371.28	370.65	21.80	349.7	q/m	—	400	—
91 273	P I	8316	3451200	5278830	0	371.84	372.62	21.20	350.8	q/m	—	—	—
92 273	TB	8316	3451300	5278895	0	372.10	372.58	21.00	—	q	13.8–18.1	600	—
98 273	TB Hochbord	8316	3452100	5279795	1	380.00	—	21.70	360.8	q/mo	—	—	1959
99 273	PB 1 Eichwald	8316	3450080	5277970	0	372.21	373.03	30.00	349.2	q/km	13.2–23.2	200	1981
116 273	P 1	8316	3452542	5275597	0	380.00	380.31	—	—	q	—	—	1968
117 273	P 2	8316	3452513	5275583	0	380.00	379.88	—	—	q	—	—	1968
118 273	P 3	8316	3452460	5275562	0	382.00	382.26	—	—	q	—	—	1968
119 273	P 1	8316	3456002	5278711	0	393.17	393.31	35.00	—	q	—	50	1970
120 273	P 2	8316	3455991	5278696	0	393.13	394.39	34.50	—	q	—	50	1970
121 273	P 3	8316	3455977	5278676	0	393.07	393.86	34.50	—	q	—	50	1970
122 273	P 4	8316	3455966	5278661	0	392.81	393.73	35.00	—	q	—	50	1970
123 273	P 5	8316	3455952	5278644	0	393.03	393.84	35.00	—	q	—	50	1970
124 273	P 6	8316	3455946	5278704	0	393.33	393.99	34.50	—	q	—	50	1970
125 273	P 7	8316	3455964	5278696	0	393.33	393.99	34.50	—	q	—	50	1970
126 273	P 8	8316	3455991	5278672	0	394.91	394.78	34.50	—	q	—	50	1970
127 273	P 9	8316	3456013	5278657	0	394.65	394.10	34.50	—	q	—	50	1970
128 273	B 1	8316	3452400	5275502	0	382.69	383.26	33.00	—	q	20.0–30.0	—	1968
129 273	B 2	8316	3452500	5275225	0	381.59	382.29	—	—	q	—	—	1968
130 273	B 3	8316	3452867	5275593	0	380.19	380.82	33.00	—	q	20.0–30.0	—	1968
131 273	P 4/ P Sportpl.	8316	3451035	5278900	0	372.94	373.57	18.30	—	q	—	50	—
143 273	P Hackbrett	8316	3451760	5279250	0	375.65	376.16	25.10	354.1	q/mo	—	130	1956
145 273	P Klingenacker	8316	3456175	5279105	0	395.69	395.26	65.00	361.3	q/ju4	—	100	1966
164 273	B 7	8316	3453470	5275905	0	400.76	400.46	69.00	334.8	q/jm?	22.0–67.2	125	1987
165 273	KB 3	8316	3455520	5275750	0	390.91	389.82	55.00	336.4	q/jm3.1	20.0–29.0	200	1987
165 273	KB 3	8316	3455520	5275750	0	—	—	—	—	—	31.0–40.0	—	—
165 273	KB 3	8316	3455520	5275750	0	—	—	—	—	—	42.0–52.0	—	—
166 273	B 4	8316	3454810	5276500	0	418.43	419.01	83.40	338.4	q/jm?	20.4–82.4	125	1987
167 273	B 5	8316	3454960	5276200	0	—	—	—	—	—	52.2–63.2	—	—
167 273	B 5	8316	3454960	5276200	0	—	—	—	—	—	42.2–50.2	—	—
167 273	B 5	8316	3454960	5276200	0	397.95	398.79	65.00	334.0	q/jm?	30.2–40.2	125	1987
168 273	B 8	8316	3456055	5277425	0	416.40	416.22	83.00	335.4	q/j	32.2–81.2	125	1987
169 273	B 1	8316	3457875	5279910	0	403.68	404.57	63.00	342.7	q/j	16.1–61.1	125	1987
170 273	B 2	8316	3458460	5279545	0	408.85	409.85	70.00	339.9	q/jm1–ju	26.0–69.0	125	1987
205 273	B 10	8316	3450410	5276650	0	360.64	360.72	36.80	325.6	q/?	7.2–35.2	100	1988
206 273	B 9	8316	3451040	5277430	0	363.76	364.54	17.00	349.8	q/k	7.3–14.3	100	1988
208 273	P 3/1	8316	3455512	5275763	0	390.40	390.34	25.00	—	q	—	50	1988
209 273	P 3/3	8316	3455541	5275761	0	390.70	391.35	25.00	—	q	—	50	1988
210 273	P 3/2	8316	3455528	5275738	0	390.90	390.85	25.00	—	q	—	50	1988
211 273	P Untere Ruesse	8316	3454740	5276910	0	389.04	390.39	42.00	347.7	q/jm	17.0–41.0	125	1989
212 273	TB Villiger	8316	3454860	5276860	0	390.26	390.21	31.00	—	q	20.0–32.0	40	—
213 273	B 1 Kleinfeld	8316	3450080	5275380	0	370.18	370.04	21.50	349.2	q/?	11.4–20.4	125	1989
214 273	B 2 Kleinfeld	8316	3450100	5275325	0	364.65	364.44	18.20	348.0	q/j?	8.2–17.2	125	1989
215 273	P1	8316	3457784	5279920	1	402.94	402.76	63.00	340.7	q/ju2	20.0–40.0	125	1990
215 273	P1	8316	3457784	5279920	0	—	—	—	—	—	42.0–63.0	125	1990
216 273	P2	8316	3456851	5279194	1	401.38	401.19	60.30	342.7	q/jm?	20.0–38.0	125	1990
216 273	P2	8316	3456851	5279194	0	—	—	—	—	—	40.0–60.0	125	—
217 273	P3	8316	3456878	5279417	1	401.38	401.60	47.50	354.6	q/ju3	21.0–32.0	125	1990
217 273	P3	8316	3456878	5279417	0	—	—	—	—	—	34.0–46.5	—	1990

Bohr- datei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Hf	Gel.- Höhe mü.NN	MP- Höhe mü.NN	Bohr- Teufe m	Qu.- Basis mü.NN	Geologie	Filter- strecke m	Ausbau- nennweite mm	Bau- jahr
218 273	P4	8316	3456562	5279185	1	396.60	396.36	41.00	356.3	q/ju5?	17.0–31.0	125	1990
218 273	P4	8316	3456562	5279185	0	–	–	–	–	–	33.0–41.0	–	–
219 273	P5	8316	3456620	5278847	1	397.53	397.30	61.30	337.0	q/ju6	20.0–45.0	125	1990
219 273	P5	8316	3456620	5278847	0	–	–	–	–	–	47.0–61.0	125	–
801	314 c (CH)	8317	3462770	5283420	0	426.00	–	55.70	–	q	–	–	1924
802	314 c' (CH)	8317	3462800	5284405	0	443.09	–	83.80	359.3	q/k	–	–	1973
803	B 4 (CH)	8317	3463870	5282915	0	429.94	–	68.00	376.0	q/jm1	–	–	1967
804	B 654 (CH)	8317	3464100	5283430	1	461.00	–	83.00	–	q	–	–	1984
805	314 b (CH)	8317	3466645	5283975	0	432.74	–	65.70	–	q	–	–	1933
806	B 0 (CH)	8317	3467890	5284150	0	440.06	–	95.00	352.1	q/ju	–	–	1966
807	314 a (CH)	8317	3469235	5283745	0	440.34	–	59.10	–	q	–	–	1957
808	K 11 (CH)	8317	3469975	3484135	1	446.00	–	99.00	–	q/jo1	–	–	1974

12.2 Quellendatei

Erläuterung zur Quellendatei

Quellendatei:	Nr. der Quelle im Landesmeßstellennetz
Bezeichnung:	Name der Quelle (Qu. = Quelle, Qf. = Quelfassung)
TK25:	Nr. der Topographischen Karte 1: 25 000
R-Wert:	Rechtswert (Gauss-Krüger)
H-Wert:	Hochwert (Gauss-Krüger)
Austrittsniveau:	Niveau des Quellaustritts (mü.NN; deutsche Höhe)
Geologie:	Kurzbezeichnung des Grundwasserleiters

Quellendatei Nr.	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert	Austrittsniveau müNN	Geologie
185 223	Talbach-Qu.	8315	3446330	5279505	425	mm
193 223	Tugo-Qu.	8315	3446220	5279060	488	mm
202 223	Bergäcker-Qu.	8315	3447725	5279590	512	k
203 223	Rommelhalden-Qu. 1	8315	3447820	5279920	445	mo
204 223	Rommelhalden-Qu. 2	8315	3447855	5279955	523	k
205 223	Hasenhof-Qu.	8315	3447565	5279380	509	mo
260 223	Ros-Qu.	8315	3447035	5275760	340	q
261 223	See-Qu.	8315	3447160	5275560	338	q
24 273	Heerenwiesen-Qu.	8316	3452880	5277600	425	q
105 273	Heerenwiesen-Qu. 3	8316	3452800	5277590	422	q
106 273	Heerenwiesen-Qu. 2	8316	3452885	5277570	426	q
107 273	Heerenwiesen-Qu. 1	8316	3452825	5277520	430	q
113 273	Bachtobel-Qu.	8316	3460660	5277920	510	jo
114 273	Bergwiesen-Qu.	8316	3457500	5274550	533	USM
115 273	Detzelbrunnen-Qu.	8316	3453610	5278360	494	jm
146 273	Qf. Benzle	8316	3454435	5277190	412	jm
147 273	Qf. 1 Rechberg	8316	3454190	5277100	420	jm
148 273	Qf. 2 Rechberg	8316	3454280	5277110	416	jm
149 273	Ried-Qu.	8316	3457920	5275820	533	USM/jo
150 273	Obere Berg-Qu.	8316	3457820	5275600	565	USM
151 273	Qf. Mooshof	8316	3458430	5275570	535	USM
159 273	Untere Berg-Qu.	8316	3457945	5275780	534	USM/jo
160 273	Detzelbrunnen 3	8316	3453670	5278455	502	jo
161 273	Detzelbrunnen 4	8316	3453720	5278430	499	jo
162 273	Detzelbrunnen 2	8316	3453605	5278430	509	jo

12.3 Datei der Probenahmepunkte an oberirdischen Gewässern

Erläuterung zu den Probenahmepunkten an oberirdischen Gewässern

Nr. der Probenahmestelle: Nr. der Probenahmestelle im Landesmeßstellennetz bzw. interne Numerierung (vierstellig, beginnend mit Ziffer 3)

Bezeichnung: Bezeichnung des oberirdischen Gewässers

TK25: Nr. der Topographischen Karte 1: 25 000

R-Wert: Rechtswert (Gauss-Krüger)

H-Wert: Hochwert (Gauss-Krüger)

Nr. der Probenahmestelle	Bezeichnung	TK25	R-Wert	H-Wert
800 223	Kotbach, Lattenpegel	8315	3449550	5276150
3002	Wutach, Schreibpegel	8315	3449390	5276330
3003	Steina-Mündung	8315	3446820	5277550
3004	Schlucht-Mündung	8315	3444430	5276230
3005	Kotbach-Mündung	8315	3449390	5276270
3006	Rhein, Ettikon	8315	3445870	5275120
3001	Seegraben, Weisweil	8316	3459680	5279480
3002	Schwarzbach, Riedern a.S.	8316	3457360	5276980
3003	Klingengraben, Schreibpegel	8316	3457460	5280240
3005	Wutach, Schwerzen	8316	3451680	5279300

12.4 Chemiedatei

Erläuterung zur Chemiedatei

Analytik:	Chemisches Labor des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg (Proben Juli 1987) Chemisches Labor Heppeler, Konstanz (Proben November 1989) Chemisches Labor der Landesanstalt für Umweltschutz (CKW; Proben Juli 1987) Chemische Landesuntersuchungsanstalt, Offenburg (CKW, Pestizide; Nachbeprobungen) Chemisches Labor Zipfel, Offenburg (Nachbeprobungen) Chemisches Labor Ciba-Geigy, Basel (Pestizide; Proben 1987)
Nr. der Probenahmestelle:	Nr. der Probenahmestelle gemäß Bohrdatei
Art:	Gewässerart; F = oberirdisches Fließgewässer G = Grundwasser Q = Quellwasser
TriClEthan:	1,1,1-Trichlorethan
TriClEthen:	Trichlorethen
TetraClEthen:	Tetrachlorethen
TriClMethan:	Trichlormethan
cis-1,2 DiClEthen:	cis-1,2-Dichlorethen

Nr. der Probe- nahmestelle	Art	Probe- nahme- datum	T °C	el. L 25 °C S/cm	pH 20 °C	HCO ₃ mg/l	freies CO ₂ mg/l	O ₂ mg/l	SAK 254 1/m	KMnO ₄ ⁻ Verbr. mg/l O ₂	DOC mg/l	AOX mg/l
1 223	Q	13.05.87	9.1	579	7.27	336	10.6	10.9	0.4	0.9	0.3	—
2 223	Q	12.05.87	8.4	476	7.34	280	10.6	8.9	0.3	1.1	0.3	—
11 223	G	28.07.87	11.2	757	7.29	338	8.8	9.1	—	0.6	—	—
11 223	G	15.11.89	11.7	654	7.22	342	—	7.9	—	—	0.8	<0.01
23 223	G	29.07.87	9.9	788	6.86	285	24.2	6.7	—	0.7	—	—
23 223	G	17.11.89	10.4	723	7.24	315	—	7.4	1.9	—	0.8	0.02
30 223	G	27.07.87	11.0	746	7.34	277	11.0	7.7	—	0.7	—	—
30 223	G	17.11.89	10.2	637	7.35	281	—	7.6	1.5	—	0.7	<0.01
31 223	G	28.07.87	16.5	670	7.28	300	4.4	4.9	—	0.9	—	—
31 223	G	17.11.89	10.5	650	7.27	357	—	8.1	1.6	—	0.9	0.02
43 223	G	28.07.87	12.2	840	7.17	330	13.2	6.3	—	0.8	—	—
51 223	G	29.07.87	12.3	789	7.23	305	19.8	6.5	—	0.6	—	—
51 223	G	18.11.89	10.1	681	7.39	305	—	8.0	1.4	—	0.7	0.01
120 223	G	27.07.87	10.8	526	6.75	211	19.8	6.0	—	0.8	—	—
121 223	G	27.07.87	13.2	585	6.94	250	8.8	7.1	—	1.2	—	—
122 223	G	27.07.87	10.4	481	6.62	195	13.2	6.1	—	1.0	—	—
130 223	G	27.07.87	9.6	689	6.94	274	13.2	13.0	—	0.6	—	—
130 223	G	17.11.89	10.8	603	7.40	285	—	5.0	0.9	—	1.2	<0.01
148 223	G	11.04.89	10.6	604	7.39	323	26.5	7.8	—	0.4	—	—
148 223	G	04.07.89	10.6	582	7.38	324	27.5	7.9	—	0.3	—	—
159 223	G	30.07.87	9.9	793	6.87	326	15.4	8.1	—	0.7	—	—
159 223	G	17.11.89	9.8	691	7.30	328	—	7.1	1.9	—	0.8	<0.01
160 223	G	27.07.87	9.9	712	6.81	288	15.4	10.0	—	0.7	—	—
161 223	G	27.07.87	11.9	777	7.19	319	13.2	6.3	—	1.2	—	—
185 223	Q	27.07.87	9.4	691	7.61	325	15.4	10.0	—	0.7	—	—
185 223	Q	15.11.89	9.5	625	7.49	335	—	10.3	—	—	0.8	<0.01
259 223	G	01.08.88	10.6	735	7.29	344	22.2	8.4	—	0.5	—	—
259 223	G	11.04.89	10.5	645	7.41	345	28.2	9.2	—	0.6	—	—
259 223	G	04.07.89	10.8	617	7.38	343	30.0	9.3	—	0.2	—	—
259 223	G	15.11.89	10.9	714	7.25	344	—	8.8	—	—	0.7	0.01
260 223	Q	23.05.89	9.5	625	7.41	342	34.5	8.2	—	0.4	—	—
261 223	Q	23.05.89	10.0	619	7.57	348	27.4	9.8	—	0.4	—	—
348 223	G	17.08.88	10.5	891	7.31	334	35.2	7.1	—	0.7	—	—
348 223	G	11.04.89	10.1	641	7.35	339	30.7	8.6	—	0.5	—	—
348 223	G	04.07.89	10.3	674	7.38	338	31.1	8.6	—	0.2	—	—
350 223	G	24.10.88	10.9	683	7.23	347	13.2	6.3	—	0.6	—	—
350 223	G	11.04.89	10.2	612	7.37	323	27.7	8.1	—	0.4	—	—
350 223	G	04.07.89	10.1	586	7.54	328	30.9	7.7	—	0.2	—	—
350 223	G	17.11.89	10.8	665	7.26	322	—	7.0	1.0	—	1.0	<0.01
354 223	G	15.11.89	9.9	700	7.24	352	—	8.3	—	—	0.7	<0.01
357 223	G	18.11.89	10.3	721	7.26	322	—	8.0	3.0	—	0.8	0.02
800 223	F	18.11.89	1.9	938	8.19	311	—	13.4	11.5	—	6.3	0.02
11 273	G	28.07.87	10.7	748	7.19	328	7.7	6.4	—	0.8	—	—
11 273	G	15.11.89	10.5	608	7.42	343	—	9.0	—	—	0.9	<0.01
22 273	G	28.07.87	11.8	701	7.28	324	6.6	8.2	—	0.5	—	—
22 273	G	16.11.89	10.0	611	7.35	341	—	8.9	2.2	—	1.0	<0.01
24 273	Q	28.07.87	12.8	561	7.50	265	8.8	9.1	—	0.5	—	—
24 273	Q	15.11.89	10.3	493	7.49	274	—	10.5	—	—	0.7	<0.01
26 273	G	28.07.87	17.5	769	7.22	349	7.7	7.4	—	0.5	—	—
26 273	G	17.11.89	10.3	656	7.32	346	—	9.2	1.3	—	0.7	<0.01
34 273	G	29.07.87	12.3	173	6.80	358	26.4	6.6	—	0.9	—	—
34 273	G	16.11.89	11.3	045	7.13	359	—	8.7	1.9	—	2.5	<0.01
35 273	G	28.07.87	13.4	752	6.92	336	9.9	8.1	—	0.4	—	—
35 273	G	16.11.89	10.5	638	7.30	331	—	9.7	1.9	—	0.8	<0.01
43 273	G	29.07.87	11.1	688	7.00	304	11.0	8.6	—	0.7	—	—

Nr. der Probe- nahmestelle	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Fe _{ges} mg/l	Mn _{ges} mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
1 223	73.2	32.2	1.2	0.0	< 0.06	< 0.01	< 0.01	3.9	7.9	< 0.07	44.1
2 223	90.0	9.0	2.8	0.0	0.06	< 0.01	< 0.01	3.9	4.9	< 0.07	26.3
11 223	118.0	9.1	6.1	2.1	< 0.05	< 0.01	< 0.05	15.6	28.5	< 0.005	23.5
11 223	108.0	17.2	5.0	2.6	< 0.02	0.43	< 0.01	17.0	29.4	–	23.8
23 223	108.2	13.0	9.0	2.3	0.005	0.05	< 0.05	19.1	26.8	0.050	68.8
23 223	116.0	20.8	6.8	2.9	< 0.02	0.02	< 0.01	17.4	26.5	–	89.0
30 223	107.0	12.7	8.2	2.0	0.05	0.11	< 0.05	19.1	21.8	< 0.005	69.2
30 223	91.5	25.2	6.5	2.2	< 0.02	0.15	< 0.01	14.2	18.8	–	73.7
31 223	112.2	2.7	6.5	2.5	< 0.05	0.12	< 0.05	9.9	14.5	0.005	34.8
31 223	119.0	10.6	5.7	1.6	< 0.02	0.02	< 0.01	12.8	26.6	–	31.1
43 223	120.2	14.6	6.0	2.0	0.35	0.51	< 0.05	18.4	28.4	0.005	64.2
51 223	106.6	21.6	7.2	2.0	0.05	0.09	< 0.05	14.2	23.6	0.005	84.8
51 223	102.0	24.9	6.4	2.2	< 0.02	0.09	< 0.01	13.5	22.9	–	93.2
120 223	77.4	6.2	10.1	2.8	0.10	0.05	< 0.05	18.4	19.8	< 0.005	27.8
121 223	95.2	8.6	6.4	2.2	0.05	0.11	< 0.05	14.2	17.0	< 0.005	48.7
122 223	73.0	2.7	8.3	2.8	0.05	0.28	< 0.05	13.5	11.7	< 0.005	26.0
130 223	106.2	7.3	12.1	2.0	< 0.05	0.06	< 0.05	19.9	29.6	< 0.005	41.6
130 223	93.5	16.1	8.6	1.9	< 0.02	0.04	< 0.01	16.3	25.8	–	54.9
148 223	106.0	17.1	6.6	3.7	< 0.02	0.03	< 0.01	14.9	23.7	< 0.01	45.2
148 223	91.5	26.5	5.7	4.3	< 0.02	0.01	< 0.01	14.9	28.6	< 0.01	42.9
159 223	104.2	21.6	10.0	4.1	0.08	0.44	< 0.05	20.6	31.0	0.012	51.0
159 223	106.0	21.2	7.6	4.0	< 0.02	5.66	0.14	20.2	28.3	–	57.5
160 223	106.0	14.5	7.4	2.3	< 0.05	0.29	< 0.05	16.3	25.5	0.009	56.7
161 223	115.0	17.0	6.7	2.1	< 0.05	0.05	< 0.05	15.6	21.4	0.005	73.0
185 223	107.8	14.0	2.6	0.3	< 0.05	0.02	< 0.05	9.2	18.9	0.005	34.7
185 223	76.5	37.2	2.0	0.4	< 0.02	0.01	< 0.01	10.6	25.2	–	39.6
259 223	142.5	4.1	5.7	2.3	0.84	0.07	< 0.05	20.2	34.4	< 0.020	50.4
259 223	116.0	18.6	4.8	2.4	< 0.02	< 0.01	< 0.01	19.9	30.0	< 0.01	44.4
259 223	99.5	29.8	3.5	2.8	< 0.02	0.02	< 0.01	19.9	36.0	< 0.01	41.0
259 223	121.0	17.3	5.0	2.3	< 0.02	0.02	< 0.01	20.6	36.4	–	45.5
260 223	111.0	13.9	6.0	2.8	< 0.02	0.32	< 0.01	10.6	28.3	< 0.01	39.0
261 223	109.0	15.1	6.2	2.5	< 0.02	< 0.01	< 0.01	11.3	27.2	< 0.01	27.3
348 223	119.6	20.8	6.8	2.2	0.11	< 0.01	< 0.05	19.1	41.9	< 0.020	63.8
348 223	118.0	20.9	5.8	2.6	< 0.02	0.02	< 0.01	20.2	30.7	< 0.01	60.9
348 223	113.0	20.9	4.4	2.9	< 0.02	< 0.01	< 0.01	19.5	34.8	< 0.01	56.3
350 223	115.4	15.5	8.3	2.3	0.15	< 0.05	< 0.05	13.5	27.5	< 0.010	49.1
350 223	103.0	20.4	6.6	2.5	< 0.02	0.12	< 0.01	14.2	27.5	< 0.01	56.9
350 223	90.5	29.6	5.2	2.9	< 0.02	0.01	< 0.01	13.1	32.8	< 0.01	44.2
350 223	102.0	23.4	5.7	2.2	< 0.02	0.01	< 0.01	13.5	23.7	–	55.1
354 223	116.0	19.1	5.2	2.3	< 0.02	0.06	< 0.01	18.4	32.6	–	41.1
357 223	113.0	23.2	7.3	2.7	< 0.02	0.52	0.02	18.8	30.3	–	73.9
800 223	121.0	21.8	46.0	12.3	0.58	0.04	< 0.01	55.7	67.5	–	127.0
11 273	122.9	5.9	5.3	1.1	0.05	0.09	< 0.05	16.3	28.0	< 0.005	22.1
11 273	119.0	6.6	3.8	1.3	< 0.02	0.01	< 0.01	9.9	19.0	–	18.9
22 273	114.6	6.3	3.8	1.0	0.05	0.05	< 0.05	9.2	20.7	0.012	26.1
22 273	112.0	10.5	3.9	1.3	< 0.02	0.02	< 0.01	12.8	20.6	–	19.0
24 273	93.2	4.5	2.5	0.4	< 0.05	0.01	< 0.05	7.8	15.5	< 0.005	15.0
24 273	90.5	7.6	2.5	0.5	< 0.02	0.04	< 0.01	6.7	17.0	–	16.5
26 273	120.6	11.8	6.6	2.9	< 0.05	0.14	< 0.05	22.0	30.9	0.005	25.5
26 273	108.0	17.4	4.2	2.6	< 0.02	< 0.01	< 0.01	18.4	28.5	–	20.2
34 273	185.8	25.2	6.8	2.6	0.05	0.02	< 0.05	21.3	39.6	0.005	224.0
34 273	182.0	30.4	5.6	2.9	< 0.02	0.03	< 0.01	19.9	37.7	–	245.0
35 273	107.4	15.8	4.0	1.3	0.05	0.08	< 0.05	18.4	27.4	< 0.005	19.5
35 273	101.0	21.0	3.5	1.7	< 0.02	0.05	< 0.01	20.6	30.7	–	20.7
43 273	116.2	3.5	4.2	0.9	< 0.05	< 0.01	< 0.05	14.9	32.3	< 0.005	21.5

Nr. der Probe- nahmestelle	PO ₄ ³⁻ mg/l	Si ⁴⁺ mg/l	B ³⁺ mg/l	Li ⁺ mg/l	Rb ⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	F ⁻ mg/l	As _{ges} mg/l	Pb _{ges} mg/l	Cd ²⁺ mg/l
1 223	0.071	3.20	—	—	—	—	0.420	0.001	< 0.001	< 0.0001
2 223	0.037	3.50	—	—	—	—	0.140	< 0.001	< 0.001	< 0.0001
11 223	0.041	3.56	0.027	0.00272	—	—	0.080	< 0.002	0.001	< 0.0001
11 223	0.054	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
23 223	0.127	3.24	0.040	0.00511	—	—	0.180	< 0.002	0.001	0.0002
23 223	0.069	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
30 223	0.042	3.18	0.042	0.00541	—	—	0.220	< 0.002	0.003	< 0.0001
30 223	0.055	—	0.210	—	—	—	—	—	—	—
31 223	1.116	2.77	0.077	0.00321	—	—	0.140	< 0.002	0.004	< 0.0001
31 223	0.412	—	0.060	—	—	—	—	—	—	—
43 223	0.059	2.39	0.022	0.00442	—	—	0.120	< 0.002	< 0.001	< 0.0001
51 223	0.020	3.35	0.025	0.00534	—	—	0.260	< 0.002	0.004	0.0006
51 223	0.085	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
120 223	0.154	3.96	0.025	0.00715	—	—	0.200	< 0.002	0.002	< 0.0001
121 223	0.095	3.96	0.027	0.00578	—	—	0.250	< 0.002	0.002	< 0.0001
122 223	0.139	3.00	0.030	0.00148	—	—	0.190	0.004	< 0.001	< 0.0001
130 223	0.032	3.46	0.032	0.00314	—	—	0.130	< 0.002	0.002	< 0.0001
130 223	0.020	—	0.040	—	—	—	—	—	—	—
148 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
148 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
159 223	0.098	3.60	0.049	0.00366	—	—	0.170	0.003	0.006	< 0.0001
159 223	0.285	—	0.050	—	—	—	—	—	—	—
160 223	0.031	3.35	0.030	0.00479	—	—	0.200	< 0.002	0.003	< 0.0001
161 223	0.011	3.60	0.030	0.00855	—	—	0.440	< 0.002	< 0.001	< 0.0001
185 223	0.042	3.06	0.005	0.00231	—	—	0.220	< 0.002	0.003	< 0.0001
185 223	0.074	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
259 223	0.059	3.90	—	0.00460	0.0026	0.556	0.120	—	0.001	0.0001
259 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
259 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
259 223	0.032	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
260 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
261 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
348 223	—	3.80	0.005	0.00590	0.0043	0.678	0.140	—	0.001	0.0001
348 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
348 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350 223	0.049	3.40	0.020	—	—	—	0.200	—	0.003	< 0.0001
350 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350 223	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350 223	0.047	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
354 223	0.024	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
357 223	0.087	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
800 223	4.770	—	0.710	—	—	—	—	—	—	—
11 273	0.023	2.70	0.020	0.00290	—	—	0.090	< 0.002	0.002	0.0002
11 273	0.058	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
22 273	0.025	2.88	0.012	0.00300	—	—	0.090	< 0.002	0.008	0.0002
22 273	0.021	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
24 273	0.039	3.35	0.010	0.00203	—	—	0.110	—	—	—
24 273	0.045	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
26 273	0.026	3.60	0.010	0.00257	—	—	0.070	< 0.002	0.015	0.0003
26 273	0.060	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
34 273	0.029	3.96	0.079	0.00808	—	—	0.170	< 0.002	0.014	0.0002
34 273	0.163	—	0.080	—	—	—	—	—	—	—
35 273	0.005	3.96	0.005	0.00226	—	—	0.080	< 0.002	0.010	0.0002
35 273	0.057	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
43 273	—	2.88	0.032	0.00268	—	—	0.080	0.003	0.004	0.0001

Nr. der Probe- nahmestelle	Cu _{ges} mg/l	Cr _{ges} mg/l	Zn ²⁺ mg/l	TriCl Ethan µg/l	TriCl Ethen µg/l	TetraCl Ethen µg/l	TriCl Methan µg/l	cis-1,2 DiClEthen µg/l
1 223	—	< 0.001	< 0.010	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 10
2 223	—	< 0.001	< 0.010	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 10
11 223	—	—	0.004	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
11 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
23 223	—	—	0.010	0.5	1.8	78.0	< 0.2	< 5
23 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	27.0	—	< 10
30 223	—	—	0.062	0.7	1.5	21.0	< 0.2	< 5
30 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	15.0	—	< 10
31 223	—	—	0.117	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
31 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
43 223	—	—	0.036	0.2	0.1	20.0	< 0.2	< 5
51 223	—	—	0.020	0.7	8.0	31.0	0.2	< 5
51 223	—	—	—	< 1.0	2.0	14.0	—	< 10
120 223	—	—	3.200	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
121 223	—	—	0.026	0.3	0.2	9.7	< 0.2	< 5
122 223	—	—	0.048	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
130 223	—	—	0.005	—	—	—	< 0.2	—
130 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
148 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	8.0	< 1.0	—
148 223	—	—	—	< 1.0	—	12.0	< 1.0	—
159 223	—	—	0.015	—	—	—	< 0.2	—
159 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	2.0	—	< 10
160 223	—	—	0.010	—	—	—	< 0.2	—
161 223	—	—	0.008	—	—	—	< 0.2	—
185 223	—	—	0.004	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
185 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
259 223	0.007	0.005	0.030	< 0.1	1.9	1.2	< 0.1	25
259 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	2.0	< 1.0	—
259 223	—	—	—	< 1.0	—	4.0	< 1.0	—
259 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	3.0	—	< 10
260 223	—	—	—	—	—	—	—	—
261 223	—	—	—	—	—	—	—	—
348 223	0.004	0.005	0.004	< 0.2	< 0.2	3.8	< 0.2	< 5
348 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	8.0	< 1.0	—
348 223	—	—	—	< 1.0	—	7.0	< 1.0	—
350 223	0.005	< 0.001	0.015	0.1	< 0.1	3.1	< 0.1	< 5
350 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	6.0	< 1.0	—
350 223	—	—	—	< 1.0	—	18.0	< 1.0	—
350 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	15.0	—	< 10
354 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	1.0	—	< 10
357 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	23.0	—	< 10
800 223	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
11 273	—	—	0.018	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
11 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
22 273	—	—	0.011	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
22 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
24 273	—	—	—	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
24 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
26 273	—	—	0.231	< 0.1	0.7	< 0.1	< 0.2	< 5
26 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
34 273	—	—	0.052	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
34 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
35 273	—	—	0.011	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5
35 273	—	—	—	< 1.0	< 1.0	< 1.0	—	< 10
43 273	—	—	0.077	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.2	< 5

Nr. der Probe- nahmestelle	Atrazin µg/l	Simazin µg/l	Desethyl- atrazin µg/l	Terbutyl- azin µg/l	Karbonat- härte °dH	Gesamt- härte °dH	Feststoff- inhalt mg/l
1 223	—	—	—	—	15.42	17.65	509.98
2 223	—	—	—	—	12.85	14.65	429.15
11 223	< 0.1	< 0.1	—	—	15.51	18.58	553.36
11 223	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.70	19.05	545.56
23 223	< 0.01	< 0.01	—	—	13.08	18.11	543.81
23 223	< 0.02	< 0.02	0.02	0.02	14.46	21.00	594.61
30 223	< 0.01	< 0.01	—	—	12.71	17.88	528.47
30 223	< 0.02	< 0.02	0.03	< 0.02	12.90	18.59	514.16
31 223	—	—	—	—	13.78	16.30	494.26
31 223	0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	16.39	19.07	565.08
43 223	< 0.01	< 0.01	—	—	15.15	20.16	593.10
51 223	< 0.1	< 0.1	—	—	14.00	19.87	576.98
51 223	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	14.00	19.99	570.40
120 223	< 0.01	< 0.01	—	—	9.69	12.24	387.65
121 223	0.2	< 0.1	—	—	11.48	15.28	456.46
122 223	0.2	< 0.1	—	—	8.96	10.82	344.04
130 223	< 0.1	< 0.1	—	—	12.57	16.52	504.89
130 223	0.02	< 0.02	0.07	< 0.02	13.08	16.77	502.32
148 223	0.08	< 0.05	0.06	< 0.05	14.83	18.75	540.23
148 223	0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	14.87	18.89	538.41
159 223	< 0.1	< 0.1	—	—	14.95	19.54	581.80
159 223	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.06	19.69	579.09
160 223	< 0.5	< 0.5	—	—	13.22	18.15	528.80
161 223	< 0.5	< 0.5	—	—	14.64	19.98	582.74
185 223	< 0.1	< 0.1	—	—	14.92	18.29	523.27
185 223	0.03	< 0.02	0.02	< 0.02	15.38	19.26	526.63
259 223	< 0.01	< 0.01	—	—	15.79	20.86	618.03
259 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	15.84	20.49	581.10
259 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	15.74	20.77	575.52
259 223	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	15.79	20.89	592.23
260 223	—	—	—	—	15.70	18.71	553.92
261 223	—	—	—	—	15.97	18.71	546.60
348 223	< 0.01	< 0.01	—	—	15.33	21.50	621.47
348 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	15.56	21.30	598.12
348 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	15.51	20.60	589.80
350 223	0.04	< 0.01	< 0.03	—	15.93	19.68	590.71
350 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	14.83	19.09	554.22
350 223	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	15.06	19.46	546.31
350 223	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	14.78	19.64	547.78
354 223	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.16	20.61	586.87
357 223	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	14.78	21.13	591.93
800 223	< 0.02	0.02	< 0.02	0.03	14.28	21.93	770.57
11 273	< 0.1	< 0.1	—	—	15.06	18.53	539.17
11 273	0.02	< 0.02	0.04	< 0.02	15.74	18.15	521.65
22 273	< 0.1	< 0.1	—	—	14.87	17.46	515.82
22 273	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	15.65	18.07	521.18
24 273	—	—	—	—	12.15	14.06	415.56
24 273	< 0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	12.58	14.40	415.43
26 273	< 0.1	< 0.1	—	—	16.02	19.57	581.89
26 273	< 0.02	< 0.02	0.03	< 0.02	15.88	19.10	545.40
34 273	< 0.1	< 0.1	—	—	16.44	31.77	877.44
34 273	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.48	32.43	883.02
35 273	< 0.1	< 0.1	—	—	15.43	18.65	543.58
35 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.19	18.95	530.35
43 273	< 0.1	< 0.1	—	—	13.94	17.04	507.56

Nr. der Probe- nahmestelle	Art	Probe- nahme- datum	T °C	el. L 25 °C S/cm	pH 20 °C	HCO ₃ mg/l	freies CO ₂ mg/l	O ₂ mg/l	SAK 254 1/m	KMnO ₄ ⁻ Verbr. mg/l O ₂	DOC mg/l	AOX mg/l
43 273	G	16.11.89	9.8	570	7.44	312	—	9.2	0.8	—	1.0	<0.01
44 273	G	28.07.87	13.2	960	6.75	357	13.2	7.9	—	0.7	—	—
44 273	G	24.09.89	11.0	790	7.25	355	30.5	9.1	—	0.5	—	—
44 273	G	05.10.89	10.9	827	7.27	361	34.7	8.8	—	0.1	—	—
44 273	G	16.11.89	10.9	825	7.24	353	—	9.0	0.9	—	0.7	0.03
45 273	G	29.07.87	11.3	695	6.97	321	9.9	8.3	—	0.5	—	—
45 273	G	16.11.89	9.9	611	7.40	325	—	9.0	0.6	—	1.1	<0.01
46 273	G	28.07.87	11.8	698	7.02	330	11.0	8.9	—	0.4	—	—
46 273	G	16.11.89	10.3	590	7.40	321	—	8.5	2.2	—	0.9	<0.01
54 273	G	30.07.87	13.8	756	7.09	333	15.4	6.8	—	1.1	—	—
54 273	G	16.11.89	11.3	977	7.13	357	—	8.3	2.5	—	0.8	0.03
92 273	G	29.07.87	12.8	710	7.18	258	18.7	6.3	—	0.7	—	—
113 273	Q	29.07.87	10.3	679	7.03	317	7.7	8.6	—	0.9	—	—
114 273	Q	28.07.87	12.3	693	6.63	361	19.8	12.5	—	0.7	—	—
114 273	Q	23.11.89	9.2	626	7.22	379	—	10.1	1.9	—	1.1	<0.01
115 273	Q	30.07.87	12.8	677	7.33	277	9.9	8.6	—	0.7	—	—
115 273	Q	23.11.89	10.0	510	7.74	272	—	10.8	1.8	—	1.1	<0.01
143 273	G	30.07.87	9.2	688	7.30	328	31.9	1.8	—	0.8	—	—
143 273	G	18.11.89	9.5	614	7.34	260	—	2.0	5.6	—	6.8	<0.01
145 273	G	16.11.89	10.5	983	7.15	319	—	8.0	10.5	—	1.0	<0.01
148 273	Q	16.11.89	9.6	363	7.66	214	—	10.5	1.4	—	0.8	<0.01
151 273	Q	29.07.87	10.0	669	7.15	355	15.4	7.6	—	0.7	—	—
151 273	Q	16.11.89	9.8	558	7.29	362	—	8.9	1.1	—	0.9	<0.01
157 273	Q	28.07.87	10.5	453	7.21	214	5.5	8.8	—	0.4	—	—
164 273	G	01.08.88	10.2	717	7.16	357	33.0	9.8	—	0.9	—	—
164 273	G	18.11.89	10.4	695	7.31	342	—	9.5	1.4	—	0.8	<0.01
165 273	G	25.09.87	10.7	726	7.01	338	12.1	11.7	—	0.6	—	—
165 273	G	18.11.89	10.0	617	7.35	339	—	8.6	1.0	—	0.8	<0.01
167 273	G	01.08.88	10.1	680	7.31	342	17.6	9.9	—	0.7	—	—
167 273	G	18.11.89	10.4	658	7.40	339	—	9.8	1.3	—	0.7	<0.01
168 273	G	01.08.88	10.1	584	7.60	342	8.8	0.3	—	4.2	—	—
168 273	G	27.07.89	10.1	692	7.50	330	18.7	2.1	—	3.5	—	—
168 273	G	18.11.89	9.5	603	7.39	349	—	7.9	5.3	—	1.0	<0.01
169 273	G	01.08.88	10.3	684	7.29	328	26.4	9.6	—	1.0	—	—
169 273	G	18.11.89	10.3	662	7.38	328	—	9.9	1.7	—	0.8	<0.01
170 273	G	01.08.88	10.1	674	7.28	344	22.0	10.3	—	0.8	—	—
170 273	G	17.11.89	10.3	630	7.33	333	—	9.7	1.4	—	0.9	<0.01
205 273	G	26.09.88	10.6	726	7.20	353	16.5	7.8	—	1.0	—	—
205 273	G	18.11.89	10.5	722	7.27	350	—	9.4	1.7	—	0.8	<0.01
206 273	G	26.09.88	9.7	716	7.20	340	17.6	7.4	—	0.8	—	—
206 273	G	18.11.89	9.9	637	7.26	356	—	8.4	1.6	—	0.7	<0.01
211 273	G	18.11.89	10.5	899	7.19	369	—	7.8	1.7	—	0.7	<0.01
213 273	G	18.11.89	9.9	640	7.21	354	—	8.3	1.2	—	0.9	<0.01
215 273	G	01.02.90	11.1	702	7.66	470	—	8.7	3.0	—	1.0	<0.005
216 273	G	20.03.90	12.9	685	7.90	360	—	7.9	0.9	—	—	<0.005
217 273	G	19.12.89	11.9	799	6.95	275	—	7.9	0.9	—	—	<0.005
218 273	G	19.12.89	11.4	1094	7.30	363	—	7.7	1.2	—	—	<0.005
219 273	G	19.12.89	11.2	833	7.30	354	—	8.4	1.0	—	—	<0.005
3001	F	29.07.87	23.5	517	8.87	244	30.0	22.9	—	2.9	—	—
3002	F	30.07.87	16.8	632	8.61	188	—	9.3	—	2.9	—	—
3002	F	29.07.87	—	617	8.60	287	36.0	9.6	—	2.7	—	—
3003	F	30.07.87	15.6	531	7.62	183	1.1	7.4	—	3.4	—	—
3003	F	29.07.87	22.0	956	8.64	273	42.0	19.6	—	3.5	—	—
3004	F	30.07.87	18.3	471	8.71	185	24.0	8.7	—	3.3	—	—
3005	F	30.07.87	19.6	768	8.48	172	18.0	7.6	—	6.1	—	—

Nr. der Probe- nahmestelle	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Fe _{ges} mg/l	Mn _{ges} mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
43 273	109.0	7.2	3.9	1.0	< 0.02	0.01	< 0.01	11.3	22.0	–	20.3
44 273	141.1	20.2	6.7	1.9	< 0.05	0.01	< 0.05	22.7	35.5	< 0.005	94.4
44 273	138.0	21.7	8.0	3.1	< 0.02	< 0.01	< 0.01	24.2	37.9	< 0.01	95.9
44 273	142.0	24.0	6.5	2.4	< 0.02	< 0.01	< 0.01	22.3	38.8	< 0.01	119.0
44 273	139.0	21.3	5.4	2.2	< 0.02	0.01	< 0.01	21.6	40.9	–	96.5
45 273	110.0	12.5	5.4	1.3	0.05	1.94	< 0.05	14.2	27.4	0.060	20.3
45 273	109.0	11.1	4.4	1.7	< 0.02	0.32	0.01	12.8	26.5	–	19.2
46 273	118.2	5.4	6.5	2.1	0.05	0.11	< 0.05	15.6	20.8	0.005	22.6
46 273	106.0	9.4	5.1	2.7	< 0.02	0.01	< 0.01	13.1	23.1	–	19.9
54 273	109.8	15.3	4.5	1.8	0.05	0.22	< 0.05	22.0	31.2	< 0.005	27.0
54 273	157.0	26.8	5.4	3.1	< 0.02	1.73	0.01	20.2	38.3	–	170.0
92 273	91.4	16.1	12.3	2.0	0.05	0.96	< 0.05	16.0	23.3	0.009	61.3
113 273	121.4	1.7	3.9	1.5	0.05	0.02	< 0.05	11.3	25.6	< 0.005	23.3
114 273	122.7	5.2	6.1	0.3	0.05	0.01	< 0.05	16.3	4.7	0.005	14.8
114 273	116.0	11.1	5.6	0.4	< 0.02	0.02	< 0.01	14.5	4.4	–	13.0
115 273	104.6	4.0	2.6	0.4	0.05	< 0.01	< 0.05	8.5	23.7	0.005	27.4
115 273	96.5	7.2	2.2	0.7	< 0.02	0.02	< 0.01	7.4	16.1	–	32.2
143 273	73.8	20.9	8.8	2.4	0.35	6.70	< 0.05	15.2	3.4	0.009	2.8
143 273	92.0	22.3	6.8	3.0	22.80	385.00	1.96	17.4	7.6	–	110.0
145 273	172.0	11.1	7.9	4.0	< 0.02	1.52	0.02	22.0	39.8	–	175.0
148 273	51.5	14.5	2.9	0.3	< 0.02	0.01	< 0.01	5.0	15.5	–	2.4
151 273	111.8	11.2	2.6	0.6	< 0.05	< 0.01	< 0.05	7.5	5.0	0.005	8.0
151 273	114.0	5.7	2.6	0.8	< 0.02	0.01	< 0.01	4.6	2.8	–	7.5
157 273	62.1	8.4	3.0	0.2	0.05	0.04	< 0.05	3.9	15.7	< 0.005	4.6
164 273	125.9	14.4	5.4	1.9	0.45	0.21	< 0.05	22.3	37.7	< 0.020	32.7
164 273	109.0	22.0	3.8	1.8	< 0.02	0.20	< 0.01	20.9	38.8	–	31.0
165 273	113.2	11.6	5.8	2.0	< 0.05	0.03	< 0.05	16.3	22.7	0.050	21.6
165 273	107.0	14.4	4.7	1.7	< 0.02	< 0.01	< 0.01	14.5	23.9	–	19.8
167 273	117.4	11.4	5.2	2.1	1.10	0.29	< 0.05	20.6	31.7	< 0.020	21.8
167 273	104.0	20.3	3.7	1.9	< 0.02	0.05	< 0.01	21.3	32.5	–	20.5
168 273	37.3	10.5	69.1	1.4	0.87	0.46	0.33	6.7	0.6	< 0.020	5.8
168 273	66.0	8.9	47.0	2.2	0.21	0.08	0.02	6.4	1.8	< 0.010	14.0
168 273	86.5	19.0	26.8	1.6	< 0.02	0.67	0.04	18.1	26.4	–	21.1
169 273	116.0	11.1	5.2	1.7	2.40	0.41	0.05	23.8	36.8	< 0.020	24.9
169 273	104.0	20.3	4.1	1.7	< 0.02	0.05	< 0.01	23.4	38.7	–	28.0
170 273	118.2	12.9	5.1	1.5	0.34	0.60	0.14	22.7	37.6	< 0.02	18.6
170 273	99.0	20.3	3.5	1.3	< 0.02	0.06	< 0.01	17.7	31.5	–	17.2
205 273	113.4	25.3	5.4	2.1	0.16	< 0.05	< 0.05	21.3	36.7	< 0.010	46.0
205 273	117.0	21.0	4.3	2.0	< 0.02	0.10	< 0.01	20.9	38.1	–	52.0
206 273	111.2	24.0	5.6	2.1	0.16	< 0.05	< 0.05	13.5	31.6	< 0.010	64.5
206 273	105.0	20.3	4.0	1.9	< 0.02	0.41	0.02	11.0	22.2	–	55.6
211 273	151.0	25.9	7.5	2.7	< 0.02	0.08	< 0.01	21.6	40.2	–	140.0
213 273	118.0	10.2	5.2	1.0	< 0.02	0.27	< 0.01	12.1	22.1	–	22.6
215 273	106.0	20.0	17.0	2.3	< 0.01	< 0.01	< 0.05	18.0	38.0	–	29.0
216 273	132.0	24.0	29.0	2.8	0.03	< 0.01	< 0.05	18.0	36.0	–	124.0
217 273	162.0	26.0	14.0	3.5	< 0.01	0.08	0.08	17.0	28.0	–	169.0
218 273	181.0	34.0	7.2	2.7	< 0.01	< 0.01	< 0.05	23.0	36.0	–	246.0
219 273	134.0	28.0	15.0	2.6	0.03	0.07	< 0.05	22.0	36.0	–	109.0
3001	85.4	4.1	9.4	4.0	0.10	0.04	< 0.05	18.4	18.1	0.360	22.0
3002	82.2	15.1	10.3	2.4	0.10	0.06	< 0.05	14.9	19.5	0.160	87.4
3002	92.6	9.9	7.9	2.8	0.05	0.11	< 0.05	17.0	20.1	0.070	19.1
3003	65.3	7.1	6.0	3.4	0.10	0.22	< 0.05	11.3	15.2	0.150	31.0
3003	165.1	6.6	20.4	6.5	0.08	0.08	< 0.05	33.3	52.2	0.170	174.0
3004	67.1	10.6	7.6	2.5	0.08	0.10	< 0.05	14.2	16.2	0.080	36.6
3005	107.4	4.0	20.3	7.4	0.10	0.09	< 0.05	30.5	32.5	0.530	90.1

Nr. der Probe- nahmestelle	PO ₄ ³⁻ mg/l	Si ⁴⁺ mg/l	B ³⁺ mg/l	Li ⁺ mg/l	Rb ⁺ mg/l	Sr ²⁺ mg/l	F ⁻ mg/l	As _{ges} mg/l	Pb _{ges} mg/l	Cd ²⁺ mg/l
43 273	0.142	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
44 273	0.047	3.96	0.035	0.00413	—	—	0.130	0.002	0.010	< 0.0001
44 273	—	—	—	—	—	—	0.180	< 0.001	< 0.002	< 0.0001
44 273	0.079	—	—	—	—	—	0.140	< 0.001	< 0.002	< 0.0001
44 273	0.048	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
45 273	—	3.18	0.030	0.00253	—	—	0.070	—	—	—
45 273	0.019	—	—	—	—	—	—	—	—	—
46 273	0.014	3.29	0.022	0.00274	—	—	0.090	< 0.002	0.009	< 0.0001
46 273	0.081	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
54 273	0.069	3.96	0.015	0.00286	—	—	0.090	< 0.002	0.010	0.0001
54 273	0.078	—	0.060	—	—	—	—	—	—	—
92 273	0.039	3.10	0.030	0.00447	—	—	0.290	< 0.002	0.017	< 0.0001
113 273	0.059	2.77	0.027	0.00441	—	—	0.130	< 0.002	< 0.001	< 0.0001
114 273	—	2.59	0.010	0.00322	—	—	0.110	< 0.002	< 0.001	< 0.0001
114 273	0.034	—	—	—	—	—	—	—	—	—
115 273	0.029	2.95	0.025	0.00785	—	—	0.170	< 0.002	0.007	< 0.0001
115 273	0.053	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
143 273	—	0.97	0.037	0.00507	—	—	0.150	< 0.002	0.019	0.0028
143 273	0.103	—	0.160	—	—	—	—	—	—	—
145 273	0.149	—	0.110	—	—	—	—	—	—	—
148 273	0.051	—	—	—	—	—	—	—	—	—
151 273	—	3.24	0.012	0.00454	—	—	0.090	< 0.002	0.001	< 0.0001
151 273	0.010	—	—	—	—	—	—	—	—	—
157 273	0.020	5.40	0.005	0.00154	—	—	0.080	< 0.002	0.001	< 0.0001
164 273	0.029	4.00	—	0.00540	0.0018	0.364	0.100	—	0.001	0.0001
164 273	0.034	—	—	—	—	—	—	—	—	—
165 273	—	3.80	0.020	—	—	—	0.090	< 0.002	0.001	< 0.0001
165 273	0.027	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
167 273	0.069	4.10	—	0.00250	0.0009	0.199	0.090	—	0.001	0.0006
167 273	0.037	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
168 273	0.108	4.00	0.012	0.00250	0.0009	0.104	0.280	—	0.003	0.0003
168 273	0.078	4.00	0.054	—	—	—	0.200	—	—	—
168 273	0.052	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
169 273	0.020	3.80	0.002	0.00290	0.0006	0.243	0.090	—	0.005	0.0006
169 273	0.041	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
170 273	—	3.90	—	0.00280	0.0007	0.252	0.080	—	0.002	0.0011
170 273	0.041	—	0.010	—	—	—	—	—	—	—
205 273	0.014	4.00	0.011	0.00400	0.0014	0.470	0.110	—	0.001	< 0.0001
205 273	0.003	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
206 273	0.072	4.10	0.022	0.00620	0.0024	0.784	0.170	—	—	—
206 273	0.129	—	0.020	—	—	—	—	—	—	—
211 273	0.155	—	0.080	—	—	—	—	—	—	—
213 273	0.070	—	0.030	—	—	—	—	—	—	—
215 273	—	—	0.050	—	—	—	—	—	< 0.005	< 0.0005
216 273	—	—	0.080	—	—	—	—	—	< 0.005	< 0.0005
217 273	—	—	0.060	—	—	—	—	—	< 0.005	< 0.0005
218 273	—	—	0.070	—	—	—	—	—	< 0.005	< 0.0005
219 273	—	—	0.060	—	—	—	—	—	< 0.005	< 0.0005
3001	0.627	1.33	0.111	0.00546	—	—	0.100	0.002	0.004	< 0.0001
3002	0.685	3.13	0.054	0.00550	—	—	0.150	0.002	0.003	< 0.0001
3002	0.548	2.28	0.062	0.00430	—	—	0.120	0.002	0.002	< 0.0001
3003	0.587	3.20	0.035	0.00536	—	—	0.180	0.004	0.001	< 0.0001
3003	3.994	2.20	0.366	0.00785	—	—	0.180	< 0.002	0.003	< 0.0001
3004	0.685	3.18	0.047	0.00517	—	—	0.170	< 0.002	0.003	< 0.0001
3005	0.382	0.72	0.321	0.00559	—	—	0.130	< 0.002	0.004	< 0.0001

Nr. der Probe- nahmestelle	Cu _{ges} mg/l	Cr _{ges} mg/l	Zn ²⁺ mg/l	TriCl Ethan µg/l	TriCl Ethen µg/l	TetraCl Ethen µg/l	TriCl Methan µg/l	cis-1,2 DiClEthen µg/l
43 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
44 273	—	—	0.009	0.5	1.0	1.5	<0.2	< 5
44 273	—	<0.01	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	—
44 273	—	<0.01	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	—
44 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
45 273	—	—	—	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
45 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
46 273	—	—	0.013	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
46 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
54 273	—	—	0.040	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
54 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
92 273	—	—	0.100	<0.1	0.5	11.0	<0.2	< 5
113 273	—	—	<0.001	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
114 273	—	—	<0.001	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
114 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
115 273	—	—	0.005	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
115 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
143 273	—	—	4.000	<0.1	<0.1	0.2	<0.2	< 5
143 273	—	—	—	<1.0	<1.0	4.0	—	<10
145 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
148 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
151 273	—	—	0.003	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
151 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
157 273	—	—	0.003	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
164 273	0.010	0.005	0.016	<0.1	1.0	0.1	<0.1	14
164 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
165 273	—	—	0.032	—	—	—	—	—
165 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
167 273	0.006	0.005	0.010	<0.1	0.4	0.1	<0.1	5
167 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
168 273	0.004	0.005	0.075	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	< 5
168 273	—	—	—	—	—	—	—	—
168 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
169 273	0.021	0.005	0.020	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	< 5
169 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
170 273	0.006	0.005	0.021	<0.1	0.3	0.1	<0.1	< 5
170 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
205 273	0.005	<0.001	0.012	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<10
205 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
206 273	—	—	—	<0.1	<0.1	2.5	<0.1	<10
206 273	—	—	—	<1.0	<1.0	12.0	—	<10
211 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
213 273	—	—	—	<1.0	<1.0	<1.0	—	<10
215 273	<0.005	<0.005	<0.01	—	<1	<1	<1	—
216 273	<0.005	<0.005	0.06	—	<1	<1	<1	—
217 273	<0.005	<0.005	<0.01	—	<1	<1	<1	—
218 273	<0.005	<0.005	0.08	—	<1	<1	<1	—
219 273	0.011	<0.005	<0.01	—	<1	<1	<1	—
3001	—	—	0.004	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
3002	—	—	0.006	<0.1	<0.1	0.1	<0.2	< 5
3002	—	—	0.015	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
3003	—	—	0.004	0.1	0.1	2.5	<0.2	< 5
3003	—	—	0.015	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
3004	—	—	0.010	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5
3005	—	—	0.010	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	< 5

Nr. der Probe- nahmestelle	Atrazin µg/l	Simazin µg/l	Desethyl- atrazin µg/l	Terbutyl- azin µg/l	Karbonat- härte °dH	Gesamt- härte °dH	Feststoff- inhalt mg/l
43 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	14.32	16.89	486.89
44 273	< 0.1	< 0.1	–	–	16.38	24.37	693.38
44 273	< 0.05	< 0.05	0.08	< 0.05	16.30	24.28	683.98
44 273	< 0.05	< 0.05	0.08	< 0.05	16.57	25.37	716.22
44 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.20	24.33	680.08
45 273	< 0.1	< 0.1	–	–	14.73	18.25	525.16
45 273	0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	14.92	17.79	510.05
46 273	< 0.1	< 0.1	–	–	15.15	17.76	532.81
46 273	< 0.02	< 0.02	0.09	< 0.02	14.73	16.98	500.47
54 273	0.3	< 0.1	–	–	15.29	18.87	558.54
54 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.39	28.11	779.86
92 273	< 0.1	< 0.1	–	–	11.84	16.48	492.47
113 273	0.2	< 0.1	–	–	14.56	17.35	515.52
114 273	–	–	–	–	16.58	18.34	540.17
114 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	17.40	18.77	544.05
115 273	0.1	< 0.1	–	–	12.71	15.54	458.64
115 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	12.49	15.14	434.50
143 273	< 0.5	< 0.5	–	–	15.06	15.13	465.95
143 273	0.02	< 0.02	0.03	< 0.02	11.93	17.99	929.61
145 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	14.64	26.59	752.94
148 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	9.82	10.54	306.16
151 273	< 0.1	< 0.1	–	–	16.30	18.20	512.92
151 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.62	17.24	500.02
157 273	< 0.1	< 0.1	–	–	9.83	10.61	330.58
164 273	< 0.01	< 0.01	–	–	16.39	20.92	611.77
164 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.70	20.30	569.53
165 273	–	–	–	–	15.51	18.48	544.40
165 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.56	18.27	525.07
167 273	< 0.01	< 0.01	–	–	15.70	19.04	567.77
167 273	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.56	19.21	543.37
168 273	< 0.01	< 0.01	–	–	15.70	7.64	489.18
168 273	–	–	–	–	15.15	11.28	490.79
168 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.02	16.46	549.34
169 273	< 0.01	< 0.01	–	–	15.06	18.76	563.58
169 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.06	19.21	548.37
170 273	< 0.01	< 0.01	–	–	15.79	19.49	575.10
170 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	15.29	18.51	523.64
205 273	< 0.01	< 0.01	< 0.03	–	16.20	21.67	617.21
205 273	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	16.07	21.19	605.48
206 273	< 0.01	< 0.01	< 0.03	–	15.61	21.06	607.02
206 273	0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	16.34	19.35	576.64
211 273	0.02	< 0.02	0.03	< 0.02	16.94	27.07	758.46
213 273	0.02	< 0.02	0.02	< 0.02	16.25	18.84	545.66
215 273	–	–	–	–	21.56	19.43	700.50
216 273	–	–	–	–	16.52	23.97	726.15
217 273	–	–	–	–	12.63	28.62	694.90
218 273	–	–	–	–	16.66	33.12	893.18
219 273	–	–	–	–	16.24	25.17	700.94
3001	–	–	–	–	11.20	12.88	411.27
3002	–	–	–	–	8.62	14.96	431.72
3002	–	–	–	–	13.16	15.22	465.28
3003	–	–	–	–	8.40	10.76	334.48
3003	–	–	–	–	12.52	24.59	744.44
3004	–	–	–	–	8.48	11.82	351.90
3005	–	–	–	–	7.90	15.93	468.67