

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Erolzheimer Feld/Illertal

Erläuterungen

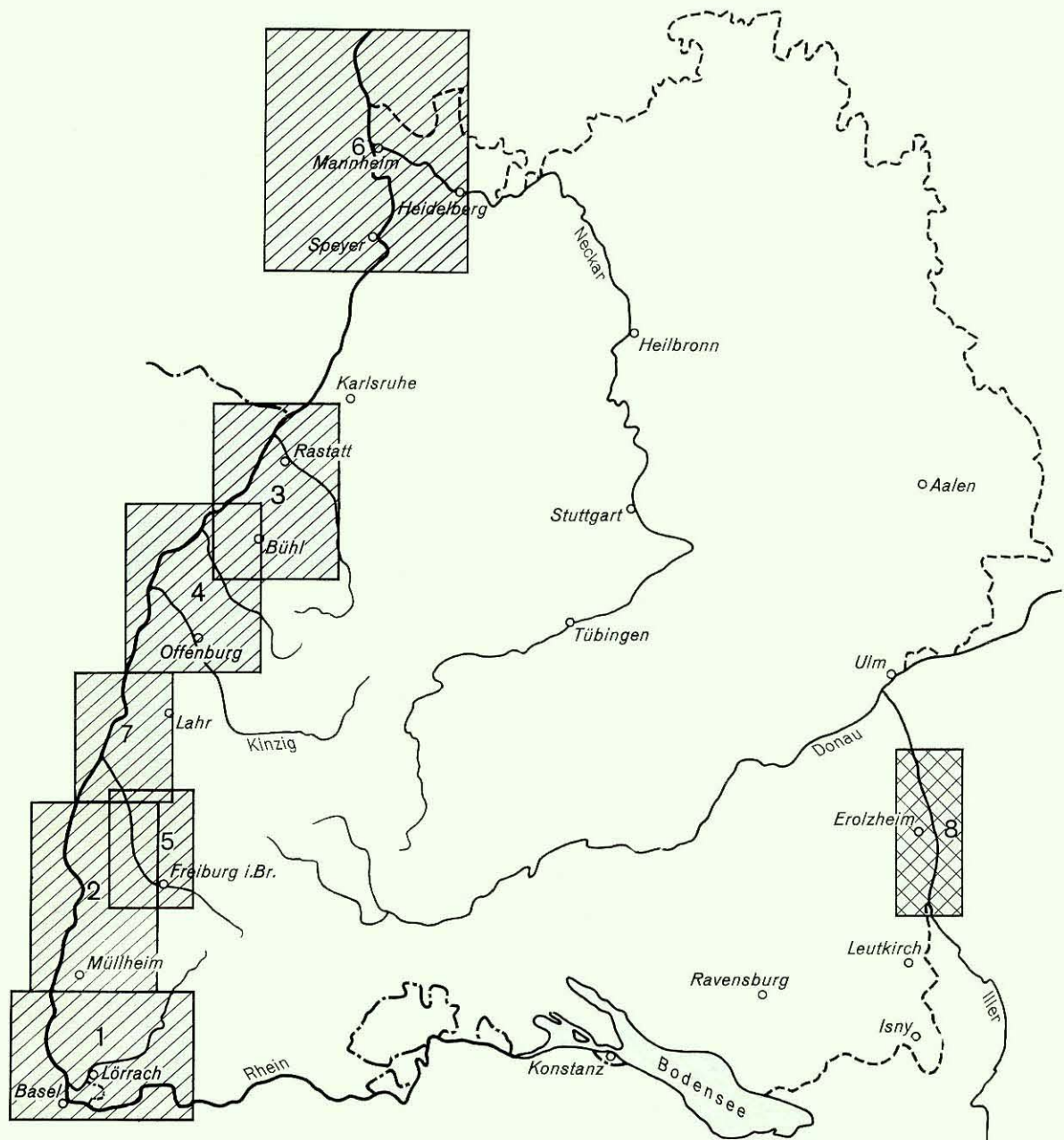


Hergestellt vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Br. und der Landesanstalt
für Umweltschutz – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft – Karlsruhe
unter Mitarbeit des Regierungspräsidiums Freiburg, Abt. Wasserwirtschaft

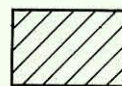
Im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

mit Erläuterungen (Erscheinungsjahr)



neu



bisher erschienen

- 1 Dinkelberg – Hochrhein (1975)
- 2 Kaiserstuhl – Markgräferland (1978)
- 3 Raum Rastatt (1978)

- 4 Bühl – Offenburg (1979)
- 5 Freiburger Bucht (1979)
- 6 Rhein-Neckar-Raum (1980)*

- 7 Raum Lahr (1980)
- 8 Erolzheimer Feld/ Illertal 1982

*gemeinsamer Bericht der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz

Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg

Oberschwaben

Erolzheimer Feld/Illertal

Erläuterungen

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg
Bearbeiter: F. Kupsch unter Mitarbeit
von W. Käss, G. Strayle, J. Werner

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg –
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe

Bearbeiter: D. Willibald unter Mitarbeit von B. Haupt, R. Ritter

1982

INHALT

Seite

0	Vorbemerkungen	9
1	Das Untersuchungsgebiet	11
1.1	Lage und morphologische Gliederung	11
1.2	Flächennutzung	11
2	Geologie	13
2.1	Einleitung	13
2.2	Flußgeschichte von Aitrach und Iller	13
2.2.1	Vorwürmeiszeitliches Flußnetz	13
2.2.2	Entstehung der Tiefen Aitrach-Rinne	15
2.2.3	Entstehung des heutigen Illertals	15
2.2.4	Hydrogeologische Auswirkungen	18
2.3	Struktur der Quartärbasis (Karte I und Schnitte Ia, b)	18
2.4	Der Grundwasserleiter	20
2.5	Obere Süßwassermolasse (Sohlschicht des Grundwasserleiters)	22
2.6	Deckschichten	22
3	Die geohydraulischen Parameter und das Fließverhalten des Grundwassers	24
3.1	Einleitung	24
3.2	Ergebnisse aus den Pumpversuchen	24
3.2.1	Pumpversuch Aitrach	24
3.2.2	Pumpversuch Mooshausen	26
3.2.3	Pumpversuch Tannheim	31
3.2.4	Pumpversuche bei Erolzheim und Unteropfingen	33
3.2.5	Pumpversuch Sinnigen	36
3.2.6	Pumpversuch Dietenheim	36
3.3	Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeit	37
3.4	Zur Konstruktion der Karte der Transmissivitätsverteilung (Karte VI)	37
3.5	Markierungsversuche mit Farbstoffen	39
3.5.1	Geohydraulische Auswertung der Markierungsversuche	39
3.5.2	Durch Markierungsversuche festgestellte Fließwege des Grundwassers	43
3.6	Markierungsversuche mit radioaktiven Markierungsstoffen	43
3.7	Bakterientriffsversuche	46

	Seite
3.8	Folgerungen für den Grundwasserschutz 46
4	Hydrologie 48
4.1	Grundlagen der hydrologischen Untersuchungen 48
4.1.1	Hydrologische und meteorologische Meßeinrichtungen (Karte II) 48
4.1.1.1	Niederschlagmeßstellen und Klimastationen 48
4.1.1.2	Lysimeter 48
4.1.1.3	Grundwassermeßstellen 48
4.1.1.4	Pegel zu Oberflächengewässern 48
4.1.2	Klima 51
4.1.3	Oberflächengewässer 51
4.1.3.1	Iller und Illerkanäle 51
4.1.3.2	Nebengewässer der Iller 56
4.1.3.3	Baggerseen 56
4.1.4	Grundwasserentnahmen 56
4.2	Hydrologie des Grundwassers 58
4.2.1	Der Grundwasserstrom des Illertals und seine hydraulischen Grenzen 58
4.2.2	Grundwasserstände 60
4.2.2.1	Entwicklung der Grundwasserstände seit der Illerkorrektur 60
4.2.2.2	Gegenwärtiges Verhalten der Grundwasserstände 63
4.2.3	Grundwasseroberfläche (Karte III) 69
4.2.3.1	Der Karte der Grundwasseroberfläche zugrundeliegende Unterlagen 69
4.2.3.2	Grundwassergleichen, -fließrichtungen und -gefälle 69
4.2.4	Grundwasserflurabstände (Karte IV) 70
4.2.4.1	Der Karte der Grundwasserflurabstände zugrundeliegende Unterlagen 70
4.2.4.2	Flurabstände und Deckschichten 71
4.3	Grundwasserhaushalt 71
4.3.1	Zustrom bei Aitrach 71
4.3.2	Grundwasserneubildung aus Niederschlag 71
4.3.3	Zustrom von den Talrändern 74
4.3.4	Austausch mit Oberflächengewässern 75
4.3.4.1	Iller (Karte VII a) 75
4.3.4.2	Illerkanäle (Karte VII b) 78

	Seite
4.3.4.3	Nebengewässer der Iller 78
4.3.5	Bilanz 79
5	Grundwasserbeschaffenheit 83
5.1	Einleitung 83
5.2	Chemische Untersuchungsergebnisse 83
5.3	Bakteriologische Untersuchungsergebnisse 87
5.4	Ergebnisse der Isotopenmessungen 90
6	Ergebnisse und Folgerungen 92
6.1	Das Untersuchungsgebiet 92
6.2	Geologie 92
6.3	Hydrologie 93
6.4	Grundwassernutzung 94
7	Literaturverzeichnis 95
8	Aufschlußliste zu Karte I 99

Verzeichnis der Abbildungen

Seite

1.1	Das Untersuchungsgebiet	10
2.1	Übersichtskarte des Jungpleistozäns im Illergebiet	12
2.2	Das vorwürmeiszeitliche Flußnetz	14
2.3	Das Flußnetz während des würmzeitlichen Gletschervorstoßes	16
2.4	Das Flußsystem während des Maximalstands der würmzeitlichen Gletscher	17
2.5	Geröllzählungen am Versuchsbrunnen Mooshausen (Br. Nr. 17) und aus dem Fellheimer Feld	21
3.1	Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Aitrach	25
3.2	Versuchsfeld und hydrogeologischer Schnitt Pumpversuch Mooshausen	28
3.3	Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Mooshausen	29
3.4	Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Mooshausen	30
3.5	Pumpversuch Tannheim – automatische Auswertung: Minimumfeld der Fehlerquadratsummen	32
3.6	Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Stufenpumpversuch Unteropfingen	34
3.7	Doppeltlogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs mit Typenkurvenauswertung der 1. Pumpstufe des Pumpversuchs Unteropfingen	35
3.8	Variation der Einzelwerte in den Versuchsfeldern Erolzheim und Unteropfingen	35
3.9	Typenkurvenauswertung Pumpversuch Sinnigen	36
3.10	Ermittlung der k_f -Werte aus den Pumpversuchen	38
3.11	Markierungsversuch Unteropfingen: Beispiel einer Auswertung mit Lageplan des Versuchsfeldes	41
3.12	Markierungsversuch Unteropfingen: Beispiel einer Auswertung mit Typkurve	42
3.13	Verteilung der Farbstoffkonzentration im Versuchsfeld Unteropfingen	44
3.14	Grundwasserfließrichtungen und Filtergeschwindigkeiten in unterschiedlichen Tiefen an der Meßstelle 145 770 (Nach Messungen des Instituts für Radiohydrometrie, Neuherberg)	45
4.1	Niederschlagshöhen und Lufttemperaturen	49
4.2	Monatsmittelwerte der Abflüsse am Pegel Wiblingen in den Jahren 1921 – 71	52
4.3	Jährlichkeit von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen	53
4.4	Schematische Darstellung der Gewässersysteme an der unteren Iller	54

		Seite
4.5	Mittlere Schwebstofffracht der Iller am Pegel Wiblingen in den Jahren 1966–70	56
4.6	Mittlerer u. größter Schwebstoffgehalt der Iller am Pegel Wiblingen in den Jahren 1966–70	56
4.7	Grundwasserentnahmen	57
4.8	Stromlinienplan des Grundwassers	59
4.9	Schematischer Querschnitt des Illertals in Höhe von Oberopfingen	60
4.10	Rückgang der Grundwasserstände von 1925/32 bis 1960/61	61
4.11	Ganglinie der Iller und der Grundwasserstände	62
4.12	Ganglinien des Illerpegels km 25 + 210 und der Grundwassermeßstelle 135 768	64
4.13	Ganglinien des Illerpegels km 50 + 660 und der Grundwassermeßstelle 125 770	64
4.14	Einfluß von Niederschlagsereignissen auf die Sickerung am Lysimeter Bonlanden und die Grundwasserstände an der Meßstelle 163 768	65
4.15	Ganglinie der Grundwasserstände an den Meßstellen 116 769, 113 769, 113 768 und Monatssumme der Niederschläge	66
4.16	Ganglinie der Grundwasserstände an den Meßstellen 103 769, 104 769, 118 769 und Monatssumme der Niederschläge	67
4.17	Mittlere monatliche Niederschlags- und Sickerungshöhen am Lysimeter Bonlanden (Sommer 1976 bis Winter 1980)	68
4.18	Speicherinhaltsganglinie des Hauptgrundwasserstromes zwischen Mooshausen und Kirchberg	68
4.19	Beziehung zwischen Niederschlag und Versickerung	72
4.20	Bodenprofile der Lysimeter Egelsee und Bonlanden	73
4.21	Isothermen des Grundwassers oberstrom und unterstrom der Iller bei Mooshausen	76
4.22	Temperaturprofil der Iller am 15. 8. 78 bei km 29 + 000	77
4.23	Beziehung zwischen dem Grundwasserstand an der Meßstelle 166 768 und dem Abfluß des Illerbaches südlich Klein-Kellmünz	79
4.24	Durchflußquerschnitte und Durchflüsse	80
5.1	Mittelwerte aus chemischen Wasseruntersuchungen 1976–77	85
5.2	Ganglinien von Nitrat und Chlorid im Brunnen Tännelesäcker (161 769) und Brunnen Tannheim (15)	86
5.3	Lageplan der Beprobungsstellen für hydrobakteriologische Untersuchungen bei Mooshausen	89
5.4	Koloniezahlen in der Iller und der Meßstelle 117 770 bei Beprobung nach etwa 20 minütigem Abpumpen.	90

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
3.1 Auswertungsergebnisse des Pumpversuchs Aitrach	26
3.2 Auswertungsergebnisse des Pumpversuchs Mooshausen	28
3.3 Mittlere Aquiferparameter aus den Pumpversuchen Erolzheim und Unteropfingen	33
3.4 Ergebnisse des Pumpversuchs Dietenheim	37
3.5 Auswertung der Markierungsversuche mit Typkurven nach STOBER [81]	40
3.6 Mittlere und maximale Abstandsgeschwindigkeiten nach Markierungsversuchen mit radioaktiven Lösungen	46
3.7 Aus Markierungsversuchen mit Uranin ermittelte maximale und mittlere Grundwasser-Abstandsgeschwindigkeiten im Erolzheimer Feld	47
4.1 Pegel an Oberflächengewässern	50
4.2 Klimadaten der Klimastation Memmingen	51
4.3 Hauptzahlen der Abflüsse an den Pegeln Kempten, Festhofen, Wiblingen und Aitrach	52
4.4 Oberflächengewässer, die dem Untersuchungsgebiet nördlich Mooshausen zufließen	55
4.5 Grundwasserentnahmen	58
4.6 Veränderung der Grundwasserverhältnisse als Folge der Illerkorrektur	60
4.7 Einspeisung der Iller bei Mooshausen: Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse	75
4.8 Grundwasserbilanz	81
5.1 Ergebnisse von 2 Volluntersuchungen des Grundwassers und Illerwassers	84
5.2 Abhängigkeit der Koloniezahlen von der Dauer des Pumpvorgangs bei der Gewinnung von Grundwasserproben	88
5.3 Höchste festgestellte Koloniezahlen im Grundwasser in der Stauhaltung der Schwelle Mooshausen	89
5.4 Hygienisch relevante Koloniezahlen in 100 ml Illerwasser; Mittelwerte sowie Maxima und Minima	90

Verzeichnis der Karten

- I. Hydrogeologische Grundkarte
 - I a. Hydrogeologische Querschnitte 1 – 9 zu Karte I
 - I b. Hydrogeologischer Längsschnitt zu Karte I
- II. Hydrologische Grundkarte
- III. Karte der Grundwasser-Oberfläche
- IV. Karte der Grundwasser-Flurabstände
- V. Karte der Grundwasser-Mächtigkeit
- VI. Karte der Transmissivitätsverteilung
- VII a. Längsschnitt der Iller
- VII b. Längsschnitt des EVS-Kanals
- VII c. Längsschnitt der Aitrach

Ergänzung zur Legende der Karte V: Obere Süßwassermolasse am Talrand und im Illerbett wie in Karte I.

0 Vorbemerkung

Die Hydrogeologische Kartierung des Landes Baden-Württemberg hat das Ziel, im Interesse der Wasserwirtschaft den Kenntnisstand über die Grundwasservorkommen des Landes zu dokumentieren. Sie ist eine Gemeinschaftsarbeit von Geologen, Wasserwirtschaftsingenieuren und Hydrologen unter Einbeziehung von Unterlagen weiterer Fachrichtungen, wie z.B. der Meteorologie. Die Ergebnisse der Hydrogeologischen Kartierung sind Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Planung und dienen u.a. der Sicherstellung der Wasserversorgung.

Die Untersuchungen des Grundwassers im Illertal reichen weit zurück. Bereits 1908 beschäftigte sich eine Arbeit mit der Nutzung des Grundwassers des Illertales für die Wasserversorgung der Stadt Stuttgart [78]. In den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg wurden diese Überlegungen wieder aufgegriffen [74].

Das Ansteigen des Grundwasserstandes im Erolzheimer Feld als Folge der Inbetriebnahme des Illerkanals in den zwanziger Jahren führte zu genaueren Untersuchungen und der Einrichtung eines ersten Grundwassermeßnetzes.

In den Jahren 1951 bis 1953 wurde von BUCHWALD [2,3] und WELLER [83] der Bodenwasserhaushalt und seine Auswirkungen auf die Pflanzengesellschaften sowie die durch die Illerkorrektur verursachten Veränderungen der Landschaft und der Vegetation untersucht. BUCHWALD machte darüber hinaus Vorschläge zur Verhinderung von Trockenschäden durch Beregnung, Bau von Stautufen und zeitweiser Überflutung der Auenwälder sowie durch Anpassung der Land- und Forstwirtschaft an die veränderten Grundwasserverhältnisse.

Vom Wasserwirtschaftsamt Riedlingen und vom Geologischen Landesamt wurden zur gleichen Zeit Aufschlußbohrungen sowie geoelektrische Messungen durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung [13] zur Untersuchung der Struktur des Grundwasserleiters veranlaßt. Auf Grund dieser Untersuchungen errechnete LOY [60] für den Querschnitt Kirchberg einen **mittleren Grundwasserabfluß von $Q = 1,43 \text{ m}^3/\text{s}$** . Weitere geoelektrische Messungen folgten 1974 im Raum Mooshausen – Tannheim [16].

Zur Ermittlung zuverlässiger Durchlässigkeitsbeiwerte wurden im Jahre 1971 **Pumpversuche** in einer Probebohrung bei Erolzheim und in den neu erstellten Brunnen der Gemeinde Tannheim gefahren. Es folgten **Markierungsversuche** zur Bestimmung der Grundwasserfließgeschwindigkeit durch das Geologische Landesamt, Freiburg und durch das Institut für Radiohydrometrie, München, sowie radiohydrometrische Messungen der Vertikalströmungen in den Meßrohren und der Fließrichtung in den Pegelfeldern. Die festgestellten, unerwartet hohen Fließgeschwindigkeiten warfen Fragen des Grundwasserschutzes auf. Deshalb wurden vom Hygiene-Institut der Universität Tübingen und vom Geologischen Landesamt Bakterien-Triftversuche durchgeführt.

Die Möglichkeit, den Kieskörper des Erolzheimer Feldes als unterirdischen Speicher zur Niedrigwasseranreicherung der Iller zu nutzen, wurde von MAROTZ [61, 62] untersucht.

Die Ergebnisse der bisher genannten Untersuchungen sind 1975 vom Geologischen Landesamt, Freiburg und der Landesanstalt für Umweltschutz – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft (LfU/IWA), Karlsruhe in einem Bericht zusammengefaßt worden [33]. In einem zweiten Bericht [34] wurden Grundwasserstandsdaten statistisch ausgewertet und die Möglichkeit der Grundwasseranreicherung und -speicherung untersucht. Die Auswirkungen der Illerschwelle nördlich Kirchberg auf das Grundwasser sowie die ersten Ergebnisse bakteriologischer und radiohydrometrischer Untersuchungen und der Grundwassertemperaturmessungen wurden in einem 3. Bericht behandelt [35–38]. Ein 4. Bericht [39] beinhaltet die Untersuchungen der Jahre 1975 bis 1977.

Seit 1978 steht der LfU/IWA zur Untersuchung der grundwasserhydrologischen Zusammenhänge ein mathematisches **Grundwasserhaushaltsmodell** zur Verfügung [43]. Das Modellgebiet umfaßt auch den bayerischen Teil des Illertales nördlich Kellmünz (Abb. 1.1).

Im übrigen deckt es sich mit dem Gebiet der Hydrogeologischen Kartierung und umfaßt eine Fläche von 135 km^2 .

1979/80 führte der Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart im Erolzheimer Feld einen Großpumpversuch durch. Auch die darin gewonnenen Erkenntnisse wurden in die vorliegende Kartierung mit aufgenommen [26–32].

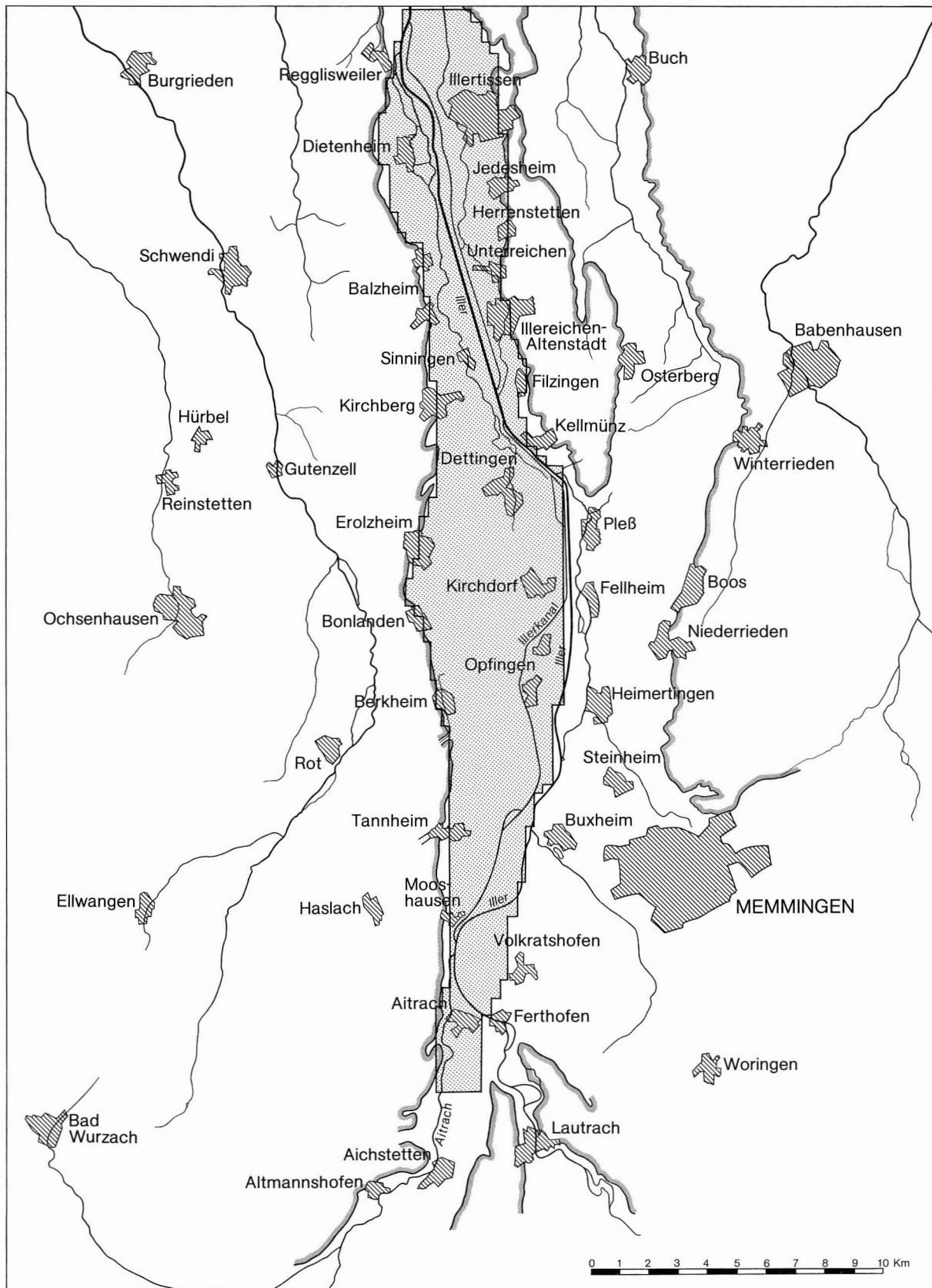


Abb. 1.1 Das Untersuchungsgebiet

 Durch mathematisches Modell erfaßtes Gebiet

1 Das Untersuchungsgebiet

1.1 Lage und morphologische Gliederung

Aus ihrem engen, teilweise cañonartig eingeschnittenen mittleren Talabschnitt zwischen Kempten und Kardorf kommend, fließt die Iller ab Aitrach in einer ausgedehnten, 2 bis 6 km breiten Talebene der Donau zu. Das Grundwasservorkommen dieses **unteren Illertals** von Aitrach im Süden bis Dietenheim im Norden ist Gegenstand der vorliegenden Hydrogeologischen Kartierung.

Die Bezeichnung „Erolzheimer Feld“ stammt aus der quartärgeologischen Literatur und bezieht sich auf die breite Niederterrassenfläche zwischen Mooshausen und Kirchberg.

Im Süden reicht das Untersuchungsgebiet noch in das Aitrachtal bis ca. 2 km oberhalb Aitrach, so daß der hydrogeologisch wichtige Zusammenfluß der Grundwasserströme beider Täler mit einbezogen ist. Am Westrand erhebt sich ca. 50 m über das Talniveau ein von Resten älterer Schotterkörper bedeckter Höhenrücken, über dessen Kamm die oberirdische Wasserscheide verläuft. Im Osten grenzt das Illertal an die höher als das Erolzheimer Feld liegenden Schotterebenen des Fellheimer, des Steinheimer und des Hitzenhofener Feldes. Erst nördlich Pleß bildet auch auf der Ostseite ein von Deckenschottern bedeckter Höhenrücken den Talrand. Zwischen Aitrachtal und Illertal oberhalb Ferthofen erhebt sich der Bergsporn der Breitenbacher Köpfe.

Morphologisch gliedert sich das untere Illertal in mehrere Terrassenniveaus (s. Karte I). Hauptniveau ist das „Erolzheimer Feld“, das nahezu die gesamte westliche Talhälfte einnimmt und im Norden ohne scharfe Abgrenzung in das „Sinninger Niveau“ übergeht.

Die Fortsetzung des Erolzheimer Niveaus nach Süden ist durch den Illerbogen unterbrochen. Es läßt sich aber in die Niederterrassenreste bei Brunnen und Aitrach durchverfolgen. Dem Niederterrassenniveau ist dort der große, aus dem Illertal oberhalb Ferthofen geschüttete Schwemmfächer aufgesetzt (s. Längsprofil Ib und Hydrogeologische Grundkarte I).

Die im Vergleich zum Erolzheimer Feld tiefergelegenen Niveaus folgen dem heutigen Illerlauf und sind auf der Hydrogeologischen Grundkarte nicht mehr untergliedert. In der Regel läßt sich von dem tiefsten Niveau innerhalb des Illergießes (Illeraue) noch eine geringfügig höhere Terrasse abgrenzen. Noch intensiver ist der Bereich des Illerbogens und Aitrach in viele z.T. kleine Terrassenflächen gegliedert.

Infolge einer allgemeinen Konvergenz der Terrassenober- (und unter-) Kanten nehmen die Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Terrassenniveaus nach Norden ab (s. Profilschnitte Ia, b). So beträgt der Höhenunterschied zwischen Erolzheimer Feld und Illeraue bei Tannheim 10 m, bei Dettingen nur noch 5 m.

1.2 Flächennutzung

Im Hinblick auf die Grundwasserneubildung sowie auf die qualitative Beeinträchtigung des Grundwassers durch anthropogene Einflüsse ist die Flächennutzung von Bedeutung.

Das Illertal wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Nur im Süden auf der Gemarkung Tannheim und längs der Iller liegen größere Waldgebiete. Von der landwirtschaftlichen Nutzfläche werden etwa 2/3 als Ackerland bewirtschaftet. Die Böden sind überwiegend leicht, teilweise auch mittelschwer und von mittlerer Güte [2, 3]. Ihr Humusgehalt ist gering.

Die als Grünland genutzten Flächen liegen überwiegend im Süden des Untersuchungsgebietes. Es sind im allgemeinen mittelgute Wiesen, zum Teil auch Wiesen geringerer Güte. Die Lagen längs des Talrandes und teilweise auch in der Illeraue sind naß; im übrigen handelt es sich überwiegend um Trockenwiesen.

Wohnsiedlungen, Gewerbe- und Industriegebiete nehmen nur einen sehr geringen Teil der Fläche ein. Im Norden, längs des Gießes, haben sich einige Betriebe angesiedelt, die dessen Wasserkraft nutzen; ein weiteres Gewerbegebiet besitzt Dietenheim. Im Süden, beim Bahnhof Tannheim, liegt eine Verladestation für das im Rottal geförderte Erdöl.

Bei Tannheim und Kirchdorf wurde an einigen Stellen Kies trocken abgebaut. Daneben sind insbesondere im Zusammenhang mit dem Bau der Autobahn längs der Iller Baggerseen entstanden.

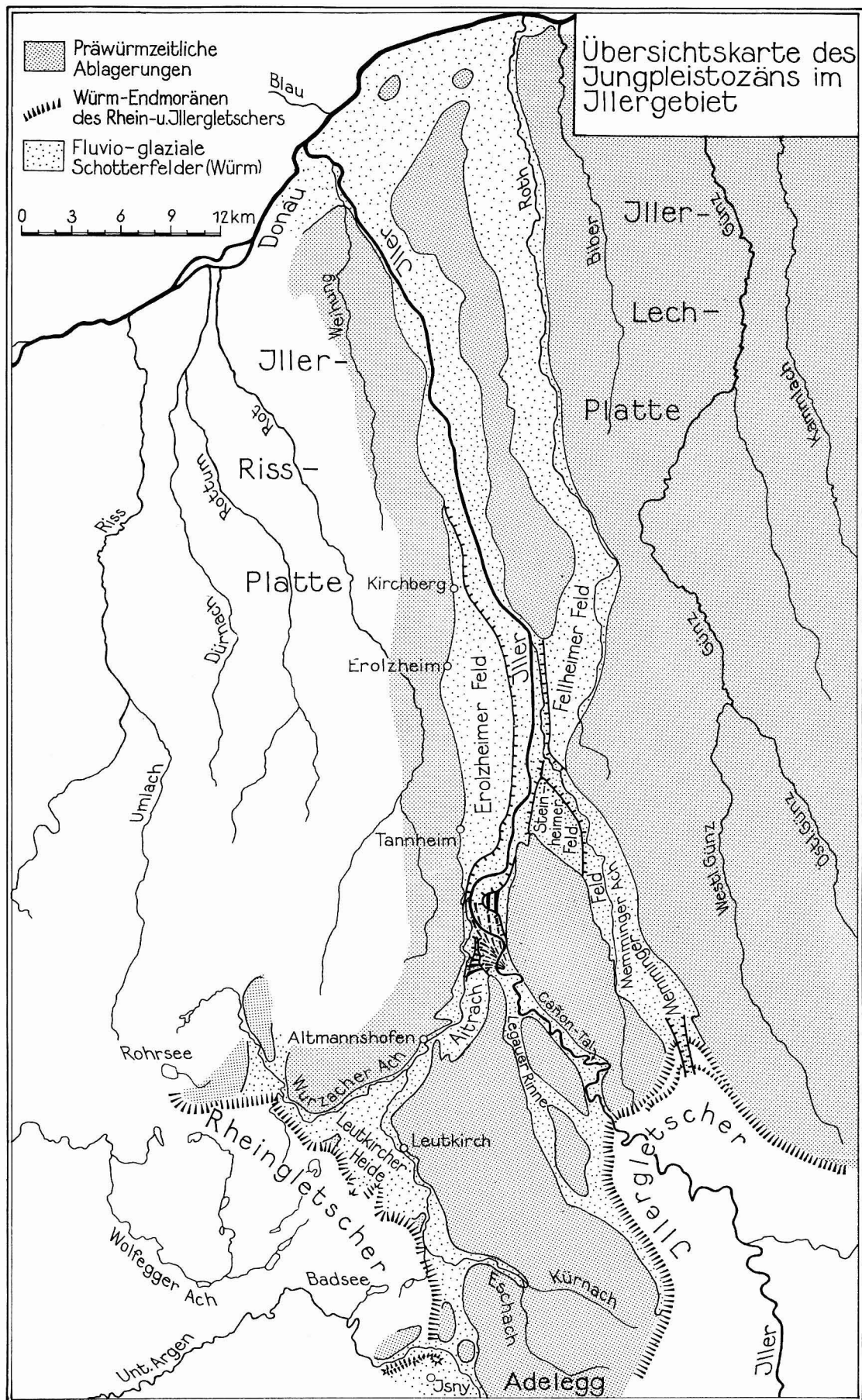


Abb. 2.1 Übersichtskarte des Jungpleistozäns im Illergebiet

2 Geologie

2.1 Einleitung

Die großen Schotterfelder im Aitrach- und unteren Illertal sind während der letzten Vereisung, dem Würmglazial, vor den Rand des östlichen Rheingletschers und westlichen Illergletschers geschützt worden (s. Abb. 2.1). Schon von PENCK [65] wurden die einzeitlichen Bildungen dieses Gebietes im Zusammenhang dargestellt und gedeutet. In ausführlichen Arbeiten haben dann später insbesondere I. SCHAEFER [71], H. GRAUL [24] und R. GERMAN [22] die Flußgeschichte des Illergebietes während der Würmeiszeit beschrieben. Die Autoren vertreten darin jeweils unterschiedliche Meinungen über den Ablauf der Flußgeschichte und der Würmvereisung.

Als geologische Karten sind vom Untersuchungsgebiet bisher nur geologische Übersichtskarten im Maßstab 1 : 100 000 (Iller-Riß-Gebiet, 1950 und Iller-Mindel-Gebiet, 1975) sowie 1 : 200 000 (Geologische Übersichtskarte von Baden-Württemberg) veröffentlicht. Das am Rande des Gebiets gelegene Kartenblatt 7927 Amendingen ist als Geologische Karte 1 : 25 000 erschienen (JERZ, [49]). Von den Kartenblättern 7826, 7926 und 8026 liegen Manuskriptkarten vor.

Durch die intensive Erkundungstätigkeit, die vor allem im Rahmen von Wassererschließungsmaßnahmen und der Hydrogeologischen Kartierung durchgeführt wurde, ist jetzt die Basis der eiszeitlichen Kiesfüllung der Täler gut aufgeschlossen worden. In der Hydrogeologischen Grundkarte (Karte I) wird dieser Kenntnisstand erstmals dargestellt. Er weicht z.T. erheblich von früheren Vorstellungen ab und ist in gleicher Weise für die Hydrogeologie und die Quartärgeologie des Illergebiets von Bedeutung.

Nach Süden, in aufwärtiger Richtung des Grundwasserstroms, schließt sich das Hydrogeologische Kartiergebiet „Leutkircher Heide“ an. Die wichtigsten geologischen und hydrogeologischen Grundzüge dieses Gebiets sind von VILLINGER [82] und WERNER, STRAYLE, WALSER [84] publiziert.

In den folgenden Abschnitten werden die geologischen Gegebenheiten des Kartiergebietes beschrieben und die Grundzüge der Flußgeschichte von Aitrach und Iller, wie sie sich aus den nun gewonnenen Erkenntnissen ableiten, dargestellt.

Die quartärgeologischen Ergebnisse der Hydrogeologischen Kartierungen Erolzheimer Feld und Leutkircher Heide/Isny sollen in einer besonderen Arbeit abgehandelt werden.

2.2 Flußgeschichte von Aitrach und Iller

2.2.1 Vorwürmeiszeitliches Flußnetz

Abb. 2.2 gibt das Flußnetz vor Beginn des Würm-Hauptglazials wieder. Das heutige Aitrachtal wurde oberhalb Altmannshofen von der Europäischen Wasserscheide gequert (GRAUL [24]); die Ur-Aitrach entsprang im Weizenhoftälchen westlich Altmannshofen und erhielt südlichen Zufluß von der (erhebliche längeren) Hofser Ach und den Vorläufern der Legauer Rinnen und des heutige Iller-Cañon-Talabschnittes.

Die Iller erreichte zu dieser Zeit noch durch das Memminger Tal und das Tal der bayerischen Rot die Donau.

Ur-Aitrachtal und Illertal müssen durch einen flachen Molasserücken, der von Ferthofen/Egelsee bis Pleß reichte, getrennt gewesen sein. Von ihm ist nur noch die in Abschnitt 2.3 beschriebene überschotterte Molasse-Aufragung von Egelsee – Untero핑ingen, sowie der Molassesockel an den steilen Erosionsrändern des Steinheimer- und Fellheimer Feldes, übriggeblieben (vgl. hierzu Karte I und Schnitte 5–7). Ohne einen solchen trennenden Rücken hätte das Ur-Illertal nicht höher als das Erolzheimer Feld aufgeschottert werden können; ferner wäre ohne ihn die zu beobachtende Materialtrennung zwischen Steinheimer- und Fellheimer Feld einerseits (fast reines Illermaterial) und Erolzheimer Feld andererseits (überwiegend Rheingletschermaterial) nicht erklärbar (s. Abb. 2.5).

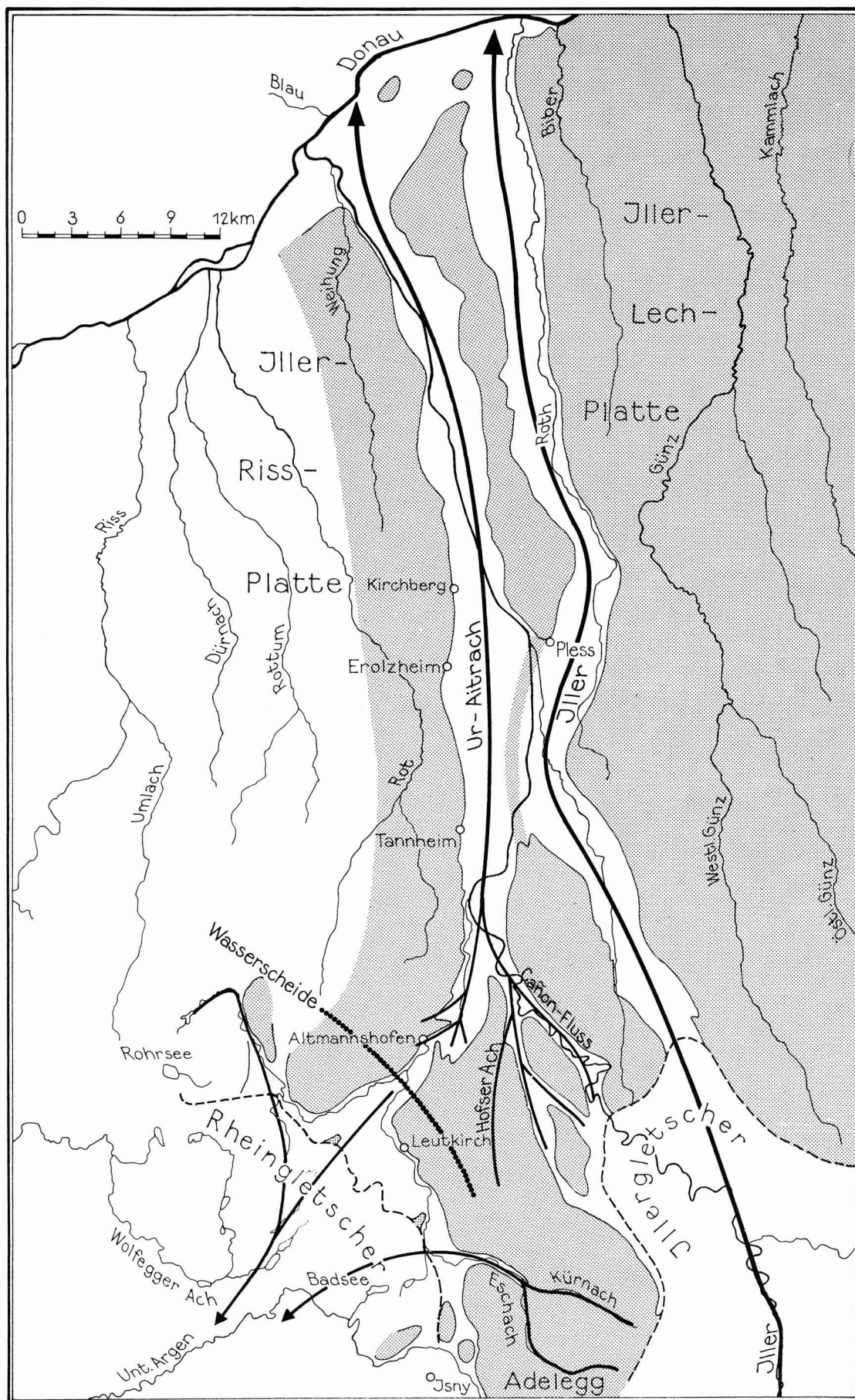


Abb. 2.2 Das vorwürmeiszeitliche Flußnetz

2.2.2 Entstehung der Tiefen Aitrach-Rinne (Abb. 2.3)

Die im Oberlauf bis fast 50 m unter die heutige Talaue in die weichen Schichten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) eingeschnittene Tiefe Aitrach-Rinne (vgl. auch Abschnitt 2.3 und Karte I) entstand wohl durch das Leerlaufen eines großen Eisstausees, der vor der Stirn des aus dem Bodenseebecken vorrückenden würmzeitlichen Rheingletschers aufgestaut wurde und der über die Europäische Wasserscheide oberhalb Altmannshofen ins Ur-Aitrachtal überlief. Die nicht durch Schotter belasteten Wassermassen konnten die zur Entstehung der Rinne erforderliche gewaltige Erosionsleistung vollbringen. Der raschen Tiefenerosion in der Hauptrinne vermochten auch die großen südlichen Seitenrinnen kaum zu folgen. Daher zeigt das Längsgefälle der (etwas jüngeren) Argen-Eschach-Rinne bei der Einmündung einen Gefällsknick, während dasjenige der Cañon-Iller-Rinne (Hofser Ach-Rinne) insgesamt ein sehr hohes Gefälle (4–5 ‰) aufweist; (zur Memminger-Ach-Rinne vgl. Kap. 2.2.3). An übersteilen Hangabschnitten in der Hauptrinne gerieten die OSM-Tonmergel ins Rutschen (vgl. Abschnitt 2.4).

Mit dem Heranrücken des schuttbeladenen Rheingletschers an seinen Maximalstand in der Leutkircher Heide folgte der Tiefenerosion eine rasche Aufschotterung, wobei die Rinnenhänge infolge starker Seitenerosion terrassenförmig ausgestaltet wurden (vgl. Kap. 2.3). Über die Materialzusammensetzung der Rinnenfüllung wird in Abschnitt 2.4 berichtet.

2.2.3 Entstehung des heutigen Illertales (Abb. 2.4)

Die Tiefe Aitrach-Rinne wurde bis zum höchsten Würm-Niveau (Erolzheimer Feld) aufgeschottert. Dieses läßt sich aufwärts in das Aitrachtal bis zu seiner Verknüpfung mit der äußeren Endmoräne des Rheingletschers durchverfolgen. Das Ur-Aitrachtal ist somit zur Hauptschmelzwasserrinne des östlichen Rheingletschers geworden (s. Abb. 2.4).

Die Iller schotterte ihre alte Talung bis zum höchsten Würm-Niveau auf (Memminger-, Steinheimer-, Fellheimer Feld), das deutlich höher liegt als das Niveau des Erolzheimer Feldes und das sich mit der äußeren Würmendemoräne des Illergletschers bei Ziegelberg verzahnt. Mit dem Erreichen dieses Niveaus während des Maximalstandes des Illergletschers überliefen seine Schmelzwässer den niedrigen trennenden Molasserücken und strömten in die Tiefe Aitrach-Rinne, die zu diesem Zeitpunkt erst etwa zu $\frac{1}{3}$ aufgeschottert war. Sie erodierten eine Rinne, die im Zuge des heutigen Memminger Achtals verläuft (vgl. Abschnitt 2.3). Ihr steiles Sohlengefälle (4–5 ‰) zeigt, daß der Erosionsvorgang rasch, d.h. vor Erreichen eines ausgeglichenen Längsgefälles, beendet war. Der Erosion folgte eine Aufschotterung, die durch den Verfüllungsvorgang in der Tiefen Aitrach-Rinne diktiert wurde.

Auch das im Memminger Achtal aufgeschotterte Niveau, das talabwärts in die Oberkante des Erolzheimer Feldes übergeht, verzahnt sich mit dem Maximalstand des Illergletschers. Somit ist die von GRAUL 1953 angenommene Zeitdifferenz zwischen den Maximalständen von Rhein- und Illergletscher zur Klärung der Fakten nicht erforderlich.

Schon zur Zeit des Gletschervorstoßes hatte das Cañon-Tal durch rückschreitende Erosion das Vorland des Illergletschers erreicht. Ein Teil der Schmelzwässer der Iller strömte über dieses Tal ab und schotterte es bis zum höchsten Würm-Niveau auf. Dieses läuft an der Einmündung ins Aitrachtal in den großen Schwemmfächer aus, der dem maximalen Schotterniveau des Rheingletscherflusses aufgesetzt ist. (Anders als von ELLWANGER [9, 10] angenommen, wurde das Cañontal wie auch die Aitrach-Rinne ausschließlich bis zum Ende des Gletscherhöchststandes verfüllt).

Infolge seiner günstigen Vorfluter-Situation gewann das Cañon-Tal allmählich das Übergewicht über das alte Illertal (Memminger Achtal), das beim Gletscherrückzug trockenfiel. Damit war die Iller endgültig in das große Schmelzwassertal des Rheingletschers, das ehemalige Ur-Aitrachtal, übergewechselt.

Das endgültige Trockenfallen der alten Illertalung liegt zeitlich etwas nach dem Maximalstand des Illergletschers. Dies geht daraus hervor, daß die äußere Endmoräne im Memminger Achtal von einem sog. Trompetental durchbrochen ist, das nur nach einem Rückzug des Gletschers vom Maximalstand durch Schmelzwässer entstanden sein kann.

Der Durchbruch der „Rest-Iller“ zur Tiefen Aitrach-Rinne durch die Memminger Ach-Rinne hatte somit keine dauernden Konsequenzen für den heutigen Lauf der Iller, sondern stellte nur eine relativ

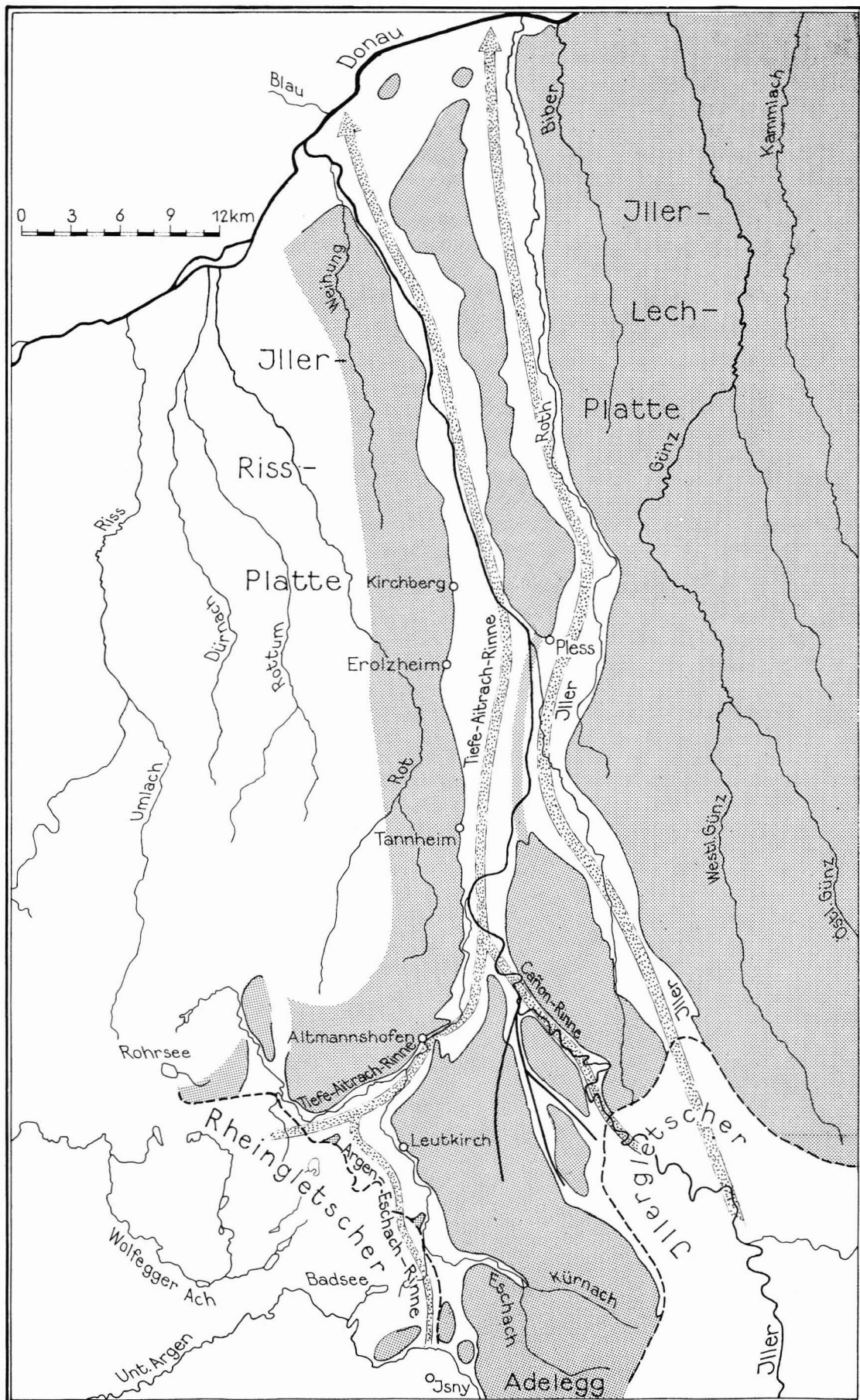


Abb. 2.3 Das Flußnetz während des würmzeitlichen Gletschervorstoßes

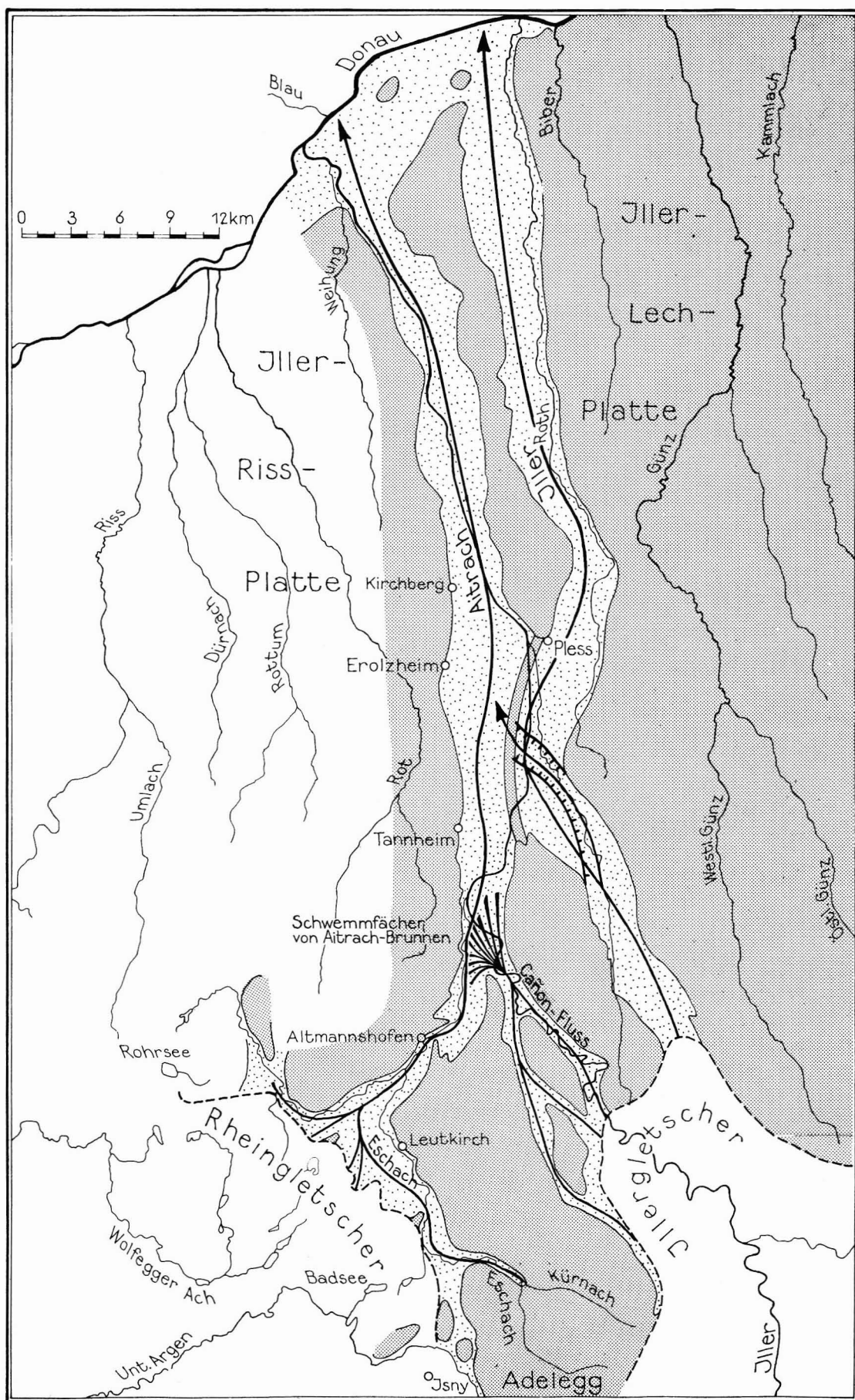


Abb. 2.4 Das Flußsystem während des Maximalstands der würmzeitlichen Gletscher

kurze flußgeschichtliche Episode dar, die durch das Trockenfallen des Memminger Achtals abgebrochen wurde. Das entscheidende Überwechseln der Iller nach Westen ereignete sich weiter talaufwärts am Rand des Illergletschers.

In der Folgezeit wurde der Übertage-Rest des Molasserückens von Ferthofen/Egelsee – Pleß durch starke Seitenerosion der Iller, die den abtragungsresistenteren Schottern des Erolzheimer Feldes auswich, bis auf die überschottete Restschwelle abgetragen.

Beim Rückschmelzen der Gletscher schnitten sich ihre Schmelzwässer wieder in die aufgeschotterten Täler ein. Im Cañon-Tal wurde die Schotterfüllung nahezu vollständig ausgeräumt und das alte Sohlenniveau z.T. beträchtlich unterschritten. Die ehemalige Kiesfüllung ist meist nur noch auf schmalen Terrassenleisten an den Talflanken zu erkennen.

Im Aitrach- und unteren Illertal wurde maximal 15 m unter das höchste Aufschotterungsniveau erodiert, so daß der größte Teil der Kiesfüllung erhalten blieb.

2.2.4 Hydrogeologische Auswirkungen

Die Flußgeschichte der Iller macht verständlich, weshalb dieser Fluß von der Norm abweicht und hydrogeologisch völlig unterschiedliche Laufstrecken besitzt. Im jungen, tief eingeschnittenen Cañon-Tal, dessen Aue auch in den nicht künstlich eingestauten Abschnitten fast ganz vom Fluß eingenommen wird, fehlen grundwasserleitende Talkiese fast vollständig. Erst mit dem Eintritt der heutigen Iller in das Hofser Achat unterhalb Lautrach, das ehemals ein Seitenast der Tiefen Aitrach-Rinne war, setzt ein begleitender Grundwasserstrom in der ab hier vorhandenen Talkiesfüllung ein. Allerdings weist er – infolge des steilen Sohlgefälles der alten Seitenrinne – erst ab etwa Kardorf nennenswerte Grundwassermächtigkeiten auf.

Ab Ferthofen benutzt die heutige Iller die große würmglaziale Schmelzwassertalung des Rheingletschers, mit ihrer tiefen Kiesrinne. Damit kommt der große Alpenfluß wieder zu einer ihm gemäßen Talkiesfüllung mit starkem begleitendem Grundwasserstrom, der aber ganz überwiegend dem Aitrachtal entstammt. Bei der Konfluenz beider Täler verhalten sich somit die Grundwasserströme umgekehrt wie ihre heutigen Vorfluter: Der unbedeutende Grundwasserstrom des Kardorfer Illertales mündet in den großen des Aitrachtales, die kleine Aitrach aber in die große Iller.

Unterhalb des großen Illerbogens verläßt die Iller wieder die Würmzeitliche Schmelzwassertalung des Rheingletschers und damit die Tiefe Aitrach-Rinne und folgt mit ihrer Aue etwa dem von ihr abgetragenen ehemaligen Molasserücken (vgl. Kap. 2.3). Auf der Laufstrecke entlang dem Erolzheimer Feld trennen dessen überschottete Reste den Vorfluter vom Haupt-Grundwasserstrom, so daß der Iller hier nur ein relativ unbedeutender begleitender Grundwasserstrom in der geringmächtigen Kiesfüllung ihrer Aue und in der Memminger Ach-Rinne verbleibt.

Erst am unteren Ende des Erolzheimer Feldes tritt die Iller mit ihrer Aue wieder in den Schotterkörper des würmzeitlichen Rheingletscher-Schmelzwasserstromes ein, so daß ab hier wieder „normale“ Vorfluter-Grundwasser-Beziehungen vorliegen.

2.3 Struktur der Quartärbasis (Karte I und Schnitte Ia, b)

Im gesamten Untersuchungsgebiet wird der kiesige Grundwasserleiter (Quartär) von Schichten der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) unterlagert. Der in der Hydrogeologischen Grundkarte (Karte I) dargestellte Höhenplan der Grundwasserleiterbasis ist somit gleichzeitig auch ein Strukturplan der Tertiäroberfläche.

Aus den Aufschlußpunkten ist ersichtlich, daß sich dieser Höhenplan auf eine außerordentlich große Zahl von Bohrungen stützen kann. Im Kartenbild sind bis auf wenige Ausnahmen alle Bohrungen aufgenommen worden. Es handelt sich dabei in der Regel um Rotationsdruckspülbohrungen, die zwar über den Grundwasserleiter selbst nur relativ ungenaue Angaben ermöglichen, die Grenze zum sandig-tonigen Tertiär aber mit großer Sicherheit erfassen. Zudem wurde in einigen ausgebauten Meßstellen durch bohrlochgeophysikalische Messungen (Gamma-Ray) die Lage der Sohl-schicht überprüft [17–21].

Eine Reihe von Bohrungen, auf die sich noch frühere Untersuchungen stützen (LOY [60]), erscheinen nicht mehr in der Karte. Es sind dies alle Rammsondierungen und viele der Schußbohrungen

der PRAKLA (für seismische Messungen im Rahmen der Erdölexploration abgeteuf), deren Ergebnisse zu unsicher sind und z.T. mit neueren Befunden nicht mehr übereinstimmen.

Eine wichtige Untersuchungsmethode zur Vorerkundung der Kiesbasis waren hauptsächlich vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung ausgeführte geoelektrische Messungen [13–16]. Im Aitrach- und im Illertal sind 16 Profile gemessen worden. Schon in der ersten Profilsérie aus dem Jahr 1954, die in der Arbeit von LOY [60] verwendet wurde, ist das rinnenförmige Relief der Tertiäroberfläche zwischen Tannheim und Sinnigen mit relativ großer Genauigkeit erfaßt, dagegen die Fortsetzung der Rinnenstruktur nach Süden nicht erkannt worden. Die z.T. erheblichen Abweichungen der geoelektrischen Sondierungen von den Bohrerergebnissen sind teilweise durch mächtige, grundwasserfreie und daher hochohmige Überlagerungen, teilweise durch erhöhte Widerstände der Sohlschicht (Erolzheimer Sande, s. Kap. 2.5) bedingt.

Da der hier vorgelegte Strukturplan sich nahezu ausschließlich auf die jetzt vorhandenen Bohrungen stützt, sind die Geoelektrikprofile in der Karte nicht mehr angegeben. Im Bereich von Aufschlußlücken ist die Struktur den Geoelektrik-Profilen angeglichen worden.

Die Strukturkarte zeigt den leicht geschwungenen Lauf einer tief in die OSM eingeschnittenen Rinne, die sich ohne Unterbrechung vom Aitrach- ins untere Illertal fortsetzt („Tiefe Aitrach-Rinne“, WERNER, STRAYLE, WALSER [84]). Eine früher angenommene Hochlage der Molasse im Bereich des Illerbogens (vgl. z.B. Geol. Übersichtskarte von Baden-Württemberg 1 : 200 000) existiert nicht, wie durch eine Serie von Bohrungen inzwischen nachgewiesen werden konnte.

Nach Unterquerung des Illerbogens verläuft die Rinnenachse westlich der Iller ungefähr in der heutigen Talmitte, bis sie unterhalb Dettingen in den heutigen Flußlauf einbiegt.

Die Rinne hat im Süden ein enges, kräftig eingeschnittenes Profil mit z.T. sehr steilen Rändern (s. Profilschnitte 7–9 von Aitrach bis Mooshausen). Nach Norden wird sie zunehmend flacher und breiter und erreicht im Schnitt Erolzheim (4) mit ca. 6 km ihre größte Breite.

Mehrfach wurde ein stufenförmiger Anstieg der Tertiäroberfläche zu den Talrändern festgestellt, ein Hinweis auf Seitenerosion während der Verfüllung der Rinne, die ursprünglich wohl als Kerbtal in die Molasse eingeschnitten war. Der Bereich des Rinnentiefsten ist als ein schmaler, etwas stärker eingemuldeter Teil in die sonst flache Struktur eingetieft. Den Nachweis für diesen Profilverlauf liefern die sehr gut aufgeschlossenen Bereiche Erolzheim und Opfingen (vgl. Schnitte 4 und 5). An dieses Querschnittsbild lehnt sich die Zeichnung der anderen, durch Bohrungen weniger gut belegten Schnitte des Erolzheimer Feldes an.

Für die Rinnenachse ergibt sich ein mittleres Sohlgefälle von 2 ‰. Zwischen Aitrach und Tannheim ist es vermutlich etwas geringer (ca. 1,5 ‰) und verstärkt sich zwischen Bonlanden und Erolzheim auf ca. 2,7 ‰ (vgl. Karte I und Längenschnitt). Nicht überall konnten Tiefe und Lage der Rinnenachse exakt nachgewiesen werden. Es wurde versucht, aus den vorhandenen Bohrerergebnissen eine Rinne mit möglichst ausgeglichenem Gefälle zu konstruieren.

Im Untersuchungsgebiet existieren zwei Seitenrinnen zur Tiefen Aitrach-Rinne, die beide aus südöstlicher Richtung kommen: die Hofser Ach (Cañon-) Rinne und die Memminger Ach-Rinne.

Die Cañontal-Rinne entspricht dem heutigen mittleren Illertal. Im Rahmen der Hydrogeologischen Kartierung ist nur der ca. 2 km lange Talabschnitt zwischen Ferthofen und dem Kardorfer Stausee untersucht worden. Ein unmittelbar unterhalb des Kardorfer Stausees gemessenes Geoelektrikprofil und eine Kontrollbohrung (138 770) läßt auch hier eine rinnenförmige Struktur der Kiesuntergrenze erkennen. Die Tiefenlinie der Cañon-Rinne dürfte mit geringen Abweichungen über die Bohrungen 158 770, 157 770 und 156 770 verlaufen. Daraus ergibt sich ein relativ hohes Gefälle von 5 ‰. Die Mündung in der Tiefe Aitrach-Rinne liegt im Ortsbereich von Aitrach. Im Längsschnitt läuft die Tiefenlinie der Seitenrinne ca. 4 m über dem Rinnentiefsten der Hauptrinne aus.

Der im Mündungswinkel zwischen Aitrach- und Illertal gelegene Höhenzug der Breitenbacher Köpfe setzt sich als überschotterter Molassesporn noch etwa 2 km weit bis in den Ortsbereich von Aitrach fort.

Die als Memminger Ach-Rinne bezeichnete Struktur mündet zwischen Unteropfingen und Kirchdorf in die Tiefe Aitrach-Rinne. Sie quert in aufwärtiger Richtung südlich Schifferhaus die Iller und setzt sich im Memminger Aichtal fort. Verlauf und Tiefenlage der Struktur sind im einzelnen noch

nicht vollständig belegbar. Aus der Literatur (GRAUL [24] und JERZ [49]) ist die gegenüber dem Steinheim-Fellheimer Feld tiefere Lage der Molasseoberkante im Memminger Aichtal bekannt, die sich höhenmäßig gut mit der westlich der Iller gefundenen Rinne verbinden läßt.

Auf der östlichen Talhälfte des unteren Illertals konnte zwischen dem Illerwerk II und Unteropfingen ein langgestreckter, flach überschotterter Molasserücken nachgewiesen werden. Es dürfte sich hier um den Rest des ehemaligen östlichen Rinnenrands der Tiefen Aitrach-Rinne handeln, einem von Buxheim bis Pleß durchgehenden flachen Höhenrücken. Östlich davon schotterte die alte Iller die Schotterfelder von Steinheim und Fellheim auf. Erst im Verlaufe der Aufschotterung in beiden Tälern wurden die Flanken dieses Rückens erodiert bis schließlich die alte Iller ins tiefere Aitrach-Tal durchbrach (s. Kap. 2.2.3 sowie Schnitte 4, 5 und 6).

Heute ist das untere Illertal im Osten durch die Steilböschung der beiden höher gelegenen Schotterfelder von Steinheim und Fellheim begrenzt. Am Fuße der Terrassenkante streicht das Tertiär über dem Niveau der Illertalaue aus.

2.4 Der Grundwasserleiter

Grundwasserleiter ist die würmzeitliche Kiesfüllung des Aitrach- und des Illertals. Sie wurde von den aus dem Rhein- und dem Illergletschergebiet abfließenden Schmelzwasserströmen abgelagert. Bedingt durch ein gegenüber der Kiesbasis stärkeres Gefälle der Kiesoberfläche (ca. 3,2 %) nimmt im Untersuchungsgebiet die Kiesmächtigkeit von S nach N ab. Im Bereich Aitrach (Schnitt 9) wurden noch ca. 50 m Kies erbohrt; bei Dietenheim (Schnitt 1) werden nur noch maximal 18 m Kiesmächtigkeit erreicht.

Im oberflächennahen Bereich sind die würmzeitlichen Kiese durch einige Kiesgruben gut aufgeschlossen. Der tiefere, grundwassererfüllte Teil ist durch Bohrungen erfaßt, von denen nur die Rammkernbohrungen und die großkalibrigen Greiferbohrungen hinreichend auswertbare Proben liefern. Aus den in großer Zahl gebohrten Spülbohrungen lassen sich nur wenig genaue Aussagen über die Beschaffenheit der Kiese gewinnen. Sie konnten aber durch geophysikalische und radiohydrometrische Bohrlochmessungen ergänzt werden [17–21, 44, 47]. Es handelt sich generell um gut gerollte, geschichtete Fein- bis Grobkiese, deren Sandanteil lagenweise stark wechselt. Weitgehend fehlen die die Durchlässigkeit stark herabsetzenden feinen Fraktionen (Ton, Schluff und Feinsand). Nur in einer etwa 1 m mächtigen Basislage über der Felssohle ist häufig ein höherer Feinanteil aus umgelagerter Molasse enthalten.

In Tagesaufschlüssen und z.T. auch in Bohrprofilen sind so gut wie sandfreie, reine Kieslagen („Rollkiese“) häufig zu beobachten, die vom Schmelzwasserfluß wohl sichelförmig im Hauptstromstrich der Mäanderbogen abgelagert wurden. Sie besitzen außerordentlich hohe Durchlässigkeit und sind als bevorzugte Grundwasserfließbahnen für die auftretenden großen Fließgeschwindigkeiten verantwortlich (vgl. Kap. 3.5.2, 3.6).

Die Kieszusammensetzung wechselt sehr stark sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung, da die Kiese in Form von lokal begrenzten Kiesbänken vom Schmelzwasserfluß aufgeschüttet wurden. Diese Inhomogenitäten treten z.T. bei Markierungsversuchen (vgl. Kap. 3.5) und Pumpversuchen (vgl. Kap. 3.2) deutlich in Erscheinung, sind aber durch Bohrungen kaum zu erfassen.

Im südlichen Kartiergebiet ist die Unterscheidung zweier unterschiedlich durchlässiger Kieslager möglich (vgl. Längsschnitt). Das untere Kieslager ist hier infolge seiner stärkeren Sand- und Schluffanteile und seiner dichteren Lagerung weniger durchlässig als das obere.

Diese Gliederung ist beim Brunnen Aitrach besonders gut erfaßt und wohl auch am deutlichsten ausgeprägt. Es liegen dazu die Ergebnisse aus der Brunnenbohrung und der Greiferbohrung für die Meßstelle 135 770 vor, die im unteren Kieslager den höheren Sandanteil aufzeigen. Für die Meßstellen 134 770, 136 770 und 139 770 weist das Gamma-Log [20] im Bereich des unteren Kieslagers höhere Strahlungsintensitäten auf, ein Hinweis auf höheren Sand- und Schluffgehalt, der in diesen Spülbohrungen nicht festgestellt werden konnte. Daß diese Vertikalgliederung des Aquifers auch hydraulische Auswirkungen hat, zeigen radiohydrometrisch ermittelte Fließgeschwindigkeiten in den Meßstellen 134 770 und 136 770 [46]. Im unteren Kieslager sind die Fließgeschwindigkeiten nach dem Bericht des Instituts für Radiohydrometrie [46] um mindestens eine Größenordnung kleiner als im oberen Kieslager (s. Kap. 3.6).

Im Längenschnitt wurde diese Gliederung bis in den Bereich Mooshausen fortgeführt. Einziger Nachweis dafür sind allerdings nur Bohrlochmessungen (Gamma-Log) in der Pegelreihe von Aitrach bis Mooshausen [19, 20]. Ebenfalls durch Bohrlochmessungen sind in den Meßstellen 189 769 und 184 769 zwischen Opfingen und Erolzheim unterhalb ca. 3–5 m über dem Rinnentiefsten stärkere Intensitäten der natürlichen Gammastrahlung gemessen worden, die möglicherweise auf eine Fortsetzung der Gliederung der Kiesschüttung auch bis in diesen Bereich hinweisen können [21]. Bedingt durch das Rinnenprofil und die geringe Mächtigkeit des unteren Kieslagers, ist hier nur ein sehr kleiner Anteil des Grundwasserleiters davon betroffen.

Aus drei Bohrungen im Bereich Aitrach (134 770, 136 770 und 149 770) sind unregelmäßig verteilte Mergeleinlagerungen im Kies bekannt. Es handelt sich dabei um umgelagerte Molassemergel, die vermutlich in diesem tiefen und engen Rinnenabschnitt von den übersteilten Rändern eingeschwemmt wurden oder abgerutscht sind. Die dadurch verringerten Durchlässigkeiten konnten durch den Pumpversuch nachgewiesen werden (s. Kap. 3.2.1).

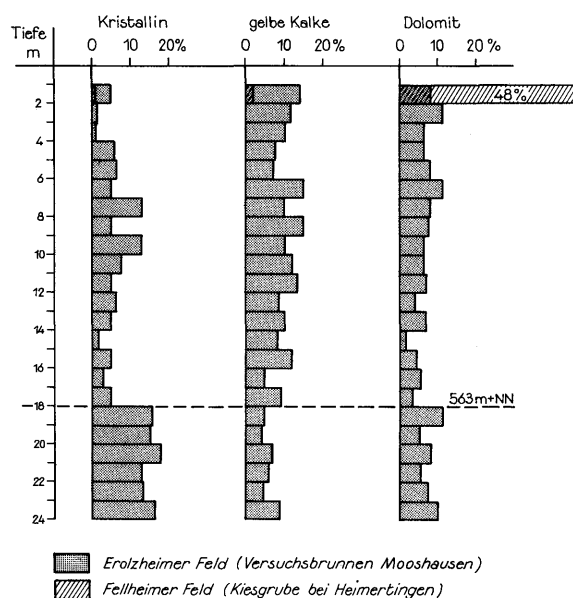


Abb. 2.5 Geröllzählungen am Versuchsbrunnen Mooshausen (Br. Nr. 17) und aus dem Fellheimer Feld

Petrographisch besteht die Kiesfüllung des Aitrach- und des Illertals überwiegend aus Karbonatgesteinen (70–80 %), was deutliche Auswirkungen auf den Chemismus des Grundwassers hat (s. Kap. 5.2).

Im Untersuchungsgebiet und in dessen Umgebung wurde eine große Zahl von Geröllanalysen durchgeführt. Über deren Ergebnisse soll in einer gesonderten quartärgeologischen Veröffentlichung berichtet werden.

Die Geröllzusammensetzung kann innerhalb eines Bohrprofils geringfügige, aber charakteristische Änderungen aufweisen, die für die Entstehungsgeschichte (s. Kap. 2.2.3) von Bedeutung sind. Als Beispiel einer geröllpetrographischen Untersuchung im Erolzheimer Feld sind hier die Ergebnisse am Versuchsbrunnen Mooshausen angeführt (Abb. 2.5).

Die drei wichtigsten Leitgerölle des Untersuchungsgebiets sind Kristalline, Dolomite und gelbe Kalke.

Das **Kristallin** ist das wichtigste Leitgeröll des Rheingletschermaterials, insbesondere die überwiegend aus dem Silvrettagebiet stammenden Amphibolite.

Gelbe Kalke (im Anbruch gelb) gelten als ein Leitgeröll aus der Molasse-Nagelfluh.

Das charakteristische Leitgeröll des Illergletschermaterials sind die **Dolomite** (Hauptdolomit des

alpinen Einzugsgebiets der Iller). Allerdings weist auch das Rheingletschermaterial Dolomite auf, deren Anteil einige % erreichen kann.

Abb. 2.5 zeigt einen signifikant höheren Kristallinanteil (ca. 15 %) im unteren Bereich des Profils vom Versuchsbrunnen Mooshausen, gegenüber dem höheren Bereich (ca. 3 %). Solche erhöhten Kristallingehalte im unteren Teil der Kiesfüllung wurden auch bei Übersichtszählungen oberhalb Aitrach (Bohrung 135 770) sowie weiter talaufwärts in Altmannshofen und Unterzeil festgestellt. Sie weisen auf einen Wechsel in der Materialzufuhr während der Aufschotterung der Tiefen Aitrach-Rinne hin.

In Abb. 2.5 ist zum Vergleich eine Zählung aus dem Fellheimer Feld aufgeführt. Dieses Material entstammt überwiegend dem alpinen Einzugsgebiet der Iller. Charakteristisch ist das fast vollständige Fehlen von Kristallin und die Dominanz der Dolomite.

2.5 Obere Süßwassermolasse (Sohlschicht des Grundwasserleiters)

Das älteste Schichtglied der Hydrogeologische Karte ist die ins Tertiär (Obermiozän) einzustufende Obere Süßwassermolasse (OSM). Sie wurde im Illertal durch Bohrungen zur Erdölexploration in einer Mächtigkeit von 300 bis 450 m angetroffen und bildet die Unterlage aller quartären Ablagerungen. Die Molasseschichten treten an den Talrändern zutage und sind außerdem im Illerbett über eine große Strecke angeschnitten (vgl. Karte I).

Zum überwiegenden Teil setzt sich die OSM aus Tonmergeln mit wechselndem Feinsandgehalt sowie glimmerreichen, schluffigen Feinsanden zusammen und bildet in dieser Ausbildung eine ideale, nur sehr gering durchlässige Sohlschicht der grundwasserleitenden Kiese.

Eine Besonderheit im Illertal ist das Vorkommen einer ca. 20–60 m mächtigen, überwiegend sandig-feinkiesigen Abfolge innerhalb der OSM, die unter der Bezeichnung Erolzheimer Sande bekannt ist. Sie besteht aus fein- bis grobkörnigen Sanden mit charakteristischen Feinkieslagen aus vollkommen gerundeten Quarzgeröllen (Quarzgrauen) und schwarzen Radiolariten. Die Quarzkieshorizonte treten z.T. als nur wenige cm mächtige Lagen in den Sanden auf, können aber auch mehrere m umfassen (z.B. 183 769 und 181 769). Sie stellen den westlichen Ausläufer einer von Ost nach West transportierten grobkörnigen fluviatilen Ablagerung in der OSM dar und sind somit ein Äquivalent des Bayerischen Hauptkieses (KIDERLEN [54], LEMCKE et al. [59]), der in Bayern östlich des Lech einen bedeutenden Grundwasserleiter bildet (EGGER [8]).

Die schwach nach Süden einfallenden Erolzheimer Sande werden vom Illertal ungefähr im Bereich Bonlanden-Erolzheim angeschnitten. In diesem Bereich stehen sie im westlichen Hügelland zwischen Iller- und Rottal an und bilden die Basis der Talkiesfüllung (s. Längsschnitt Ib und Querprofil 4). Am östlichen Talrand besteht ein Vorkommen im Höhenrücken nördlich Pleß. Eine genaue kartenmäßige Abgrenzung wurde für die Hydrogeologische Karte nicht vorgenommen.

Gegenüber der tonig-feinsandigen OSM-Schichtenfolge besitzen die Erolzheimer Sande besser wasserleitende Eigenschaften. Ihre Durchlässigkeit konnte bisher nicht bestimmt werden. Nach Abschätzungen dürfte sie aber im Vergleich zum kiesigen Grundwasserleiter um mindestens eine Größenordnung niedriger sein, so daß auch im Bereich ihres Ausstriches zwischen Bonlanden und Erolzheim die OSM als relativ schlecht durchlässige Sohlschicht gelten kann.

Für den randlichen Zustrom sind die Erolzheimer Sande im Höhenrücken zwischen Iller und Rottal von Bedeutung (s. Kap. 4.3.3).

2.6 Deckschichten

Den morphologischen Einheiten des unteren Illertals können jeweils charakteristische Deckschichtentypen zugeordnet werden (s. Karte I). Eine detaillierte Deckschichtenkartierung wurde nicht durchgeführt.

Auf den höchsten würmglazialen Akkumulationsniveaus (Erolzheimer Feld und Schwemmfächer von Aitrach-Brunnen) ist eine bis zu 1 m mächtige Kiesverwitterungslehmdecke (Kies-Para-Braunerde) ausgebildet.

In der Hangfußzone am westlichen Talrand ist die Kies-Para-Braunerde mit abgeschwemmten Molassesanden und Schluffen durchsetzt und überdeckt. Die Böden sind hier meist stärker durch-

feuchtet und geringer durchlässig. In Karte I sind einige Vorkommen mit Mächtigkeiten über 1 m als Schwemmlerhne ausgeschieden, die von einigen Seitentälchen aus schwemmfächerartig ins Feld vorgeschüttet worden sind. Zwischen Kirchberg und Dietersheim haben sich im Bereich der Hangfußzone Anmoore und kleine Flachmoore gebildet (s. GÖTTLICH [23]).

Bei Kirchberg geht das Niveau Erolzheimer Feld ohne deutliche morphologische Abgrenzung in das Sinninger Niveau über, das durch bis zu 4 m mächtige sandige, lehmige Deckschichten charakterisiert ist, die weitgehend entkalkt sind (vermutlich spät bis postglaziale Hochflutschichten).

Auf den tiefer gelegenen spätglazialen und holozänen Erosionsstufen fehlt eine Verwitterungsschicht oder hat der Verwitterungsprozess gerade erst oberflächlich eingesetzt. Die pleistozänen Schotter sind hier überwiegend von nur wenige dm mächtigen Auernergeln und Auesanden überlagert.

3 Die geohydraulischen Parameter und das Fließverhalten des Grundwassers

3.1 Einleitung

Im Illertal wurden schon sehr früh Feldversuche zur Ermittlung der grundwasserleitenden und -speichernden Eigenschaften der Talkiesfüllung unternommen. Nach der Darstellung von LOY [60] wurde bereits 1908 von der Stadt Stuttgart ein erster Pumpversuch bei Kirchberg durchgeführt. Ein erster Grundwassermarkierungsversuch erfolgte Anfang der zwanziger Jahre.

Eine neue Phase der Grundwassererkundung setzte in den Jahren 1970/71 ein, als aus den neuerstellten Brunnen Sinnigen, Tannheim und Erolzheim (Versuch I, Tänneläcker) Pumpversuche gefahren wurden, bei denen ein Netz von Grundwassermeßstellen mitbeobachtet wurde. Diese Versuche sind trotz gewisser Einschränkungen in der Versuchsdurchführung und Meßgenauigkeit als echte Grundwasserleitertests anzusehen. Zwei Jahre später wurden in den Versuchsfeldern Tannheim und Erolzheim zusätzlich umfangreiche Grundwasser-Markierungsversuche vorgenommen. Eine geohydraulische Auswertung der Pumpversuche erfolgte 1974 [33]. Dafür wurde erstmals auf der Grundlage der EDV ein zusammen mit W. GIESEL, BGR, Hannover, entwickeltes Optimierungsverfahren eingesetzt. Ein entscheidender Durchbruch bezüglich der Meßgenauigkeit und Aufarbeitung der Pumpversuchsdaten gelang ab 1975 durch den Einsatz der digitalen Registrieranlage des NLFb, Hannover (DÜRBAUM & KOHLMEIER [7]), das bei den Pumpversuchen Aitrach, Mooshausen, Unteroefingen und Erolzheim II angewandt wurde. Dies war für das Erolzheimer Feld von besonderer Bedeutung, da hier infolge der hohen Transmissivitäten auch bei großen Entnahmemengen nur geringe Absenkungsbeträge erzielt werden, die nach herkömmlichen Meßverfahren nicht mit ausreichender Genauigkeit erfaßt werden.

Die Ergebnisse der Markierungsversuche hat I. STÖBER [81] einer den Pumpversuchen vergleichbaren geohydraulischen Auswertung unterzogen.

3.2 Ergebnisse aus den Pumpversuchen

Nachstehend werden die wichtigsten Meßdaten und Auswertungsergebnisse der einzelnen Versuche nicht in chronologischer Reihenfolge beschrieben. Vielmehr erscheint es zweckmäßiger, die Versuchsbeschreibung von Süden nach Norden vorzunehmen, um damit sich ändernde Parameter systematisch aufzeigen zu können.

3.2.1 Pumpversuch Aitrach

Die Entnahme erfolgte aus den beiden 10 m voneinander entfernten Brunnen der örtlichen Wasserversorgung (Brunnen 18 in Karte I), rund 2 km südlich Aitrach. Die geologische Situation ist dem Schnitt 9 und der Karte I zu entnehmen.

Geologisch befinden sich die Brunnen am westlichen Rand der tiefen Rinnenstruktur. Sie erreichen die Sohlenschicht zwar nicht ganz, können aber als vollkommene Brunnen behandelt werden. Der Pumpversuch wurde über einen Zeitraum von 170 Stunden mit einer Förderleistung von $Q = 0,0505 \text{ m}^3/\text{s}$ gefahren. Der Absenkungsverlauf und der 42 Stunden dauernde Wiederanstieg wurden an insgesamt 12 Meßstellen über die digitale Registrieranlage des NLFb, Hannover, gemessen.

Erwartungsgemäß sind alle Absenkkurven deutlich von den Rinnenrändern beeinflusst. Auf der halblogarithmischen Darstellung Abb. 3.1 ergeben sich daher nur für die beiden Entnahmefrünnen und die nahegelegenen Meßstellen W 74, S 70, E 90 auswertbare Meßkurven. Diese Kurven sind deutlich durch jeweils drei Geradenabschnitte unterschiedlicher Steigung gekennzeichnet.

Der Absenkungsverlauf bis 20–25 Stunden nach Pumpbeginn ist noch nicht durch den Einfluß der Rinnenränder überlagert und weist die kleinste Geradensteigung auf. Aus ihm lassen sich daher repräsentative Transmissivitätswerte (T) und Speicherkoeffizienten (S) für den Aquifer bestimmen.

Der zweite Abschnitt dauert bis ca. 100 h; er hat eine doppelt so große Geradensteigung, die bereits vom nahegelegenen westlichen Rinnenrand hervorgerufen wird.

Bis zum Pumpende (170 h) folgt schließlich ein dritter Geradenabschnitt mit der größten Steigung. Zu dieser Phase sind beide Rinnenränder hydraulisch wirksam. Wegen der größeren Entfernung macht sich der östliche Rinnenrand später bemerkbar.

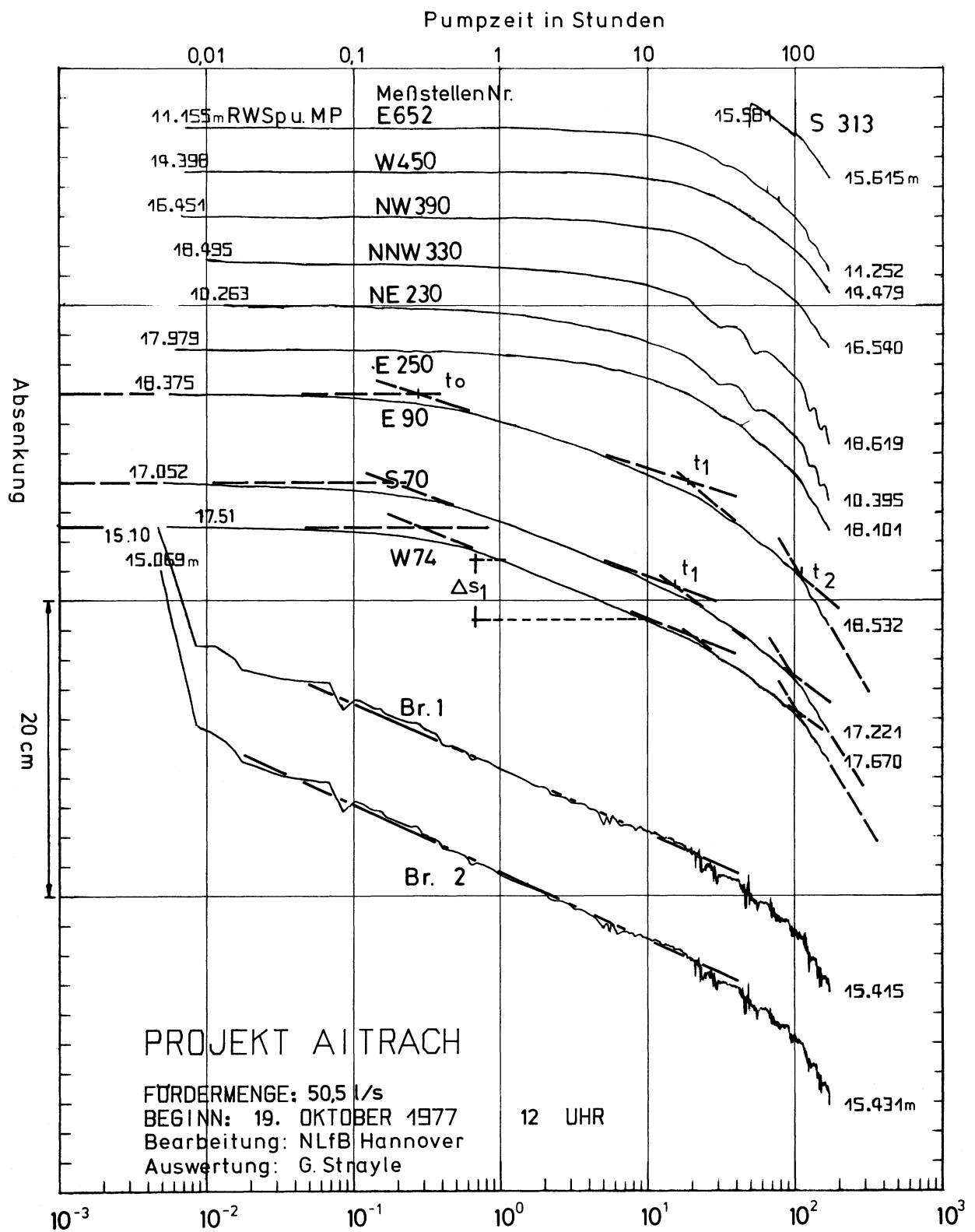


Abb. 3.1 Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Aitrach

Die bei der Auswertung ermittelten Aquiferparameter sind auf Tabelle 3.1 zusammengestellt.

Die Auswertung des Wiederanstiegs ergibt im Vergleich zur Absenkungsphase zwar im Mittel geringfügig kleinere Transmissivitäten; die Ergebnisse sind aber mit denen der Absenkphase noch durchaus vergleichbar. Infolge der langen Pumpzeit können mit einem Wiederanstieg zwei weitere Anstiegskurven ausgewertet werden.

Um auch die weiter entfernten Meßstellen auswerten zu können, wurde für diese das Typkurvendeckungsverfahren von NEUMAN [64] angewandt, womit sich zusätzliche Informationen über vertikale Durchlässigkeitsanisotropien gewinnen lassen.

Ein Vergleich der ermittelten Durchlässigkeiten zeigt, daß diese an den Meßstellen NE 230, E 250 und NW 390 relativ niedrig sind. In Übereinstimmung mit den Bohrergebnissen sind hier geringer durchlässige Kiese vorhanden (s. Kap. 2.4).

Die Speicherkoeffizienten liegen in dem für ungespannte Kiesaquifere kennzeichnenden Größenbereich um 15 %. Die vertikale Anisotropie (k_{fh}/k_{fv}) läßt sich aufgrund theoretischer Überlegungen nur für die drei nächstgelegenen Meßstellen zuverlässig angeben. Sie beträgt demnach zwischen 5 und 6,7.

Tabelle 3.1: Auswertungsergebnisse des Pumpversuches Aitrach

Meßstelle			Geradlinienverfahren		Wiederanstieg	Typkurve nach NEUMAN (1975)			
Nr.	PV. Bezeichnung	H (m)	T (m ² /s)	S (–)	T (m ² /s)	T (m ² /s)	S (–)	k_{fh} (m/s x 10 ⁻³)	k_{fv} (m/s x 10 ⁻³)
	Brunnen	26	0.205	–	0.196	–	–	–	–
	Brunnenfilter	26	0.196	–	0.188	–	–	–	–
169 770	GW W 74	20.5	0.220	0.13	0.205	0.201	0.15	9.8	1.9
171 770	GW S 70	22	0.226	0.11	0.205	0.223	0.13	10.1	1.9
170 770	GW E 90	28.5	0.220	0.14	0.205	0.223	0.15	7.8	1.98
136 770	GW NE 230	29	–	–	0.210	0.130	0.18	4.5	0.09
139 770	GW E 250	29.5	–	–	–	0.161	0.18	5.4	0.2
135 770	GW NNE 330	30	–	–	0.226	0.236	0.11	7.9	0.08
134 770	GW NW 390	25.5	–	–	–	0.112	0.18	4.4	5.84
146 770	GW E 652	11	–	–	–	0.108	0.07	9.8	12.47

$\bar{T} = 0.214$

$\bar{T} = 0.205$

$\bar{T} = 0.175$

3.2.2 Pumpversuch Mooshausen

Dieser Versuch wurde speziell für die vorliegende Kartierung angesetzt. Durch die Lage des Versuchsfeldes unmittelbar unterhalb des Illerbogens (Br. 17 auf Karte I) waren außer der Bestimmung der Aquiferparameter auch quantitative Aussagen über Infiltratmengen der Iller zu erwarten. Deshalb wurde bei diesem Versuch erneut die Meßanlage des NLfB, Hannover, eingesetzt.

Der Aufbau des Versuchsfeldes und die hydrogeologische Situation ist im einzelnen auf Abb. 3.2 dargestellt. Neben dem Versuchsbrunnen besteht das Versuchsfeld aus 14 Grundwassermeßstellen. Sie sind im wesentlichen entlang einer S-N verlaufenden Rinnenstruktur mit maximalen Mächtigkeiten von 23 m angeordnet, die rund 170 m südlich des Versuchsbrunnens von der Iller gequert wird (s. Karte I und Schnitt 7). Zu beiden Seiten dieser Rinnen schließen sich ausgedehnte, relativ flache Bereiche mit Aquifermächtigkeiten <10 m an.

Der Versuchsbrunnen wurde über 170 Stunden mit einer konstanten Förderleistung von 0,136 m³/s abgepumpt, der anschließende Wiederanstieg über einen Zeitraum von 50 Stunden registriert. Die Absenkungsphase wurde allerdings durch eine etwa 100 Stunden nach Pumpbeginn einsetzende Hochwasserwelle in der Iller beeinträchtigt. Der verbleibende Auswertungszeitraum reicht jedoch aus, um die hydraulisch maßgebenden Ränder erfassen zu können.

Die halblogarithmischen Absenkungskurven $s = f(\lg t)$ sind auf den Abb. 3.3 und 3.4 dargestellt. Wieder ist die Absenkungsgerade in Abschnitte unterschiedlicher Steigung unterteilt, die den hydraulischen Einfluß der Rinnenränder anzeigen. Mit Hilfe der Geradenschnittstellen bei t_0 , t_1 und t_2 läßt sich die Geometrie der Aquiferränder rechnerisch nachprüfen.

Aus der linearisierten Form der Brunnengleichung errechnet sich der Radius des Absenktrichters zu:

$$r = (2,25 t \frac{T}{S})^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

daraus folgt allgemein: $\frac{t_2}{r} = \text{konstant}$

Für die Schnittpunkte der einzelnen Geradenabschnitte gilt daher ebenfalls

$$\frac{t_0}{r_0} = \frac{t_1}{r_1} = \frac{t_2}{r_2} = \text{konstant} \dots\dots\dots (2)$$

und für die Radien r_1 und r_2 gilt:

$$r_1 = \sqrt{\frac{t_1 \cdot r_0^2}{t_0}} \text{ und } r_2 = \sqrt{\frac{t_2 \cdot r_0^2}{t_0}} \dots\dots\dots (3)$$

Darin bedeuten:

- r_0 = Abstand der Meßstelle vom Entnahmebrunnen
- t_0 = Schnittpunkt des ersten Geradenabschnitts mit dem Ruhewasserspiegel $s = 0$
- $r_{1(2)}$ = doppelte Entfernung zwischen dem ersten (zweiten) Aquiferrand und der Meßstelle
- $t_{1(2)}$ = Schnittpunkte zwischen dem ersten und dem zweiten bzw. dem zweiten und dem dritten Geradenabschnitt.

Als Beispiel wurden mit Gleichungen 3 für die Meßstellen NNE 265 und NW 100 (Abb. 3.3 und 3.4), die außerhalb des Infiltrationsbereichs der Iller gelegen sind, folgende Radien errechnet:

- NW 100: $r_0 = 100 \text{ m}; t_0 = 0,75; t_1 = 29 \text{ h}; t_2 = 68 \text{ h}$
 $r_1 = 29 \cdot 100^2 / 0,75 = 622 \text{ m}$
 $r_2 = 68 \cdot 100^2 / 0,75 = 952 \text{ m}$
- NNE 265: $r_0 = 265 \text{ m}; t_0 = 1,3; t_1 = 29 \text{ h}; t_2 = 80 \text{ h}$
 $r_1 = 29 \cdot 265^2 / 1,3 = 1252 \text{ m}$
 $r_2 = 80 \cdot 265^2 / 1,3 = 2079 \text{ m}$

Die anhand dieser beiden Meßstellen berechneten hydraulischen Ränder sind in Abb. 3.2 eingezeichnet. Im Vergleich zur geologisch nachgewiesenen Struktur ergibt sich ein plausibler Verlauf.

Weiterhin läßt sich aus dem Vergleich zwischen Absenkungs- und Wiederanstiegsgeraden die Infiltratmenge quantitativ bestimmen. Beträgt die Pumprate Q für den Pumpzeitraum t und der Zu-
strom für den Zeitraum t' der Wiederauffüllung des Absenktrichters Q' , so lauten die beiden lineari-
sierten Absenkungsgleichungen:

$$Q = \frac{\Delta s \cdot T}{\Delta \lg t \cdot 0,183} \dots\dots\dots (4a)$$

$$Q' = \frac{\Delta s' \cdot T}{\Delta \lg \frac{t+t'}{t} \cdot 0,183} \dots\dots\dots (4b)$$

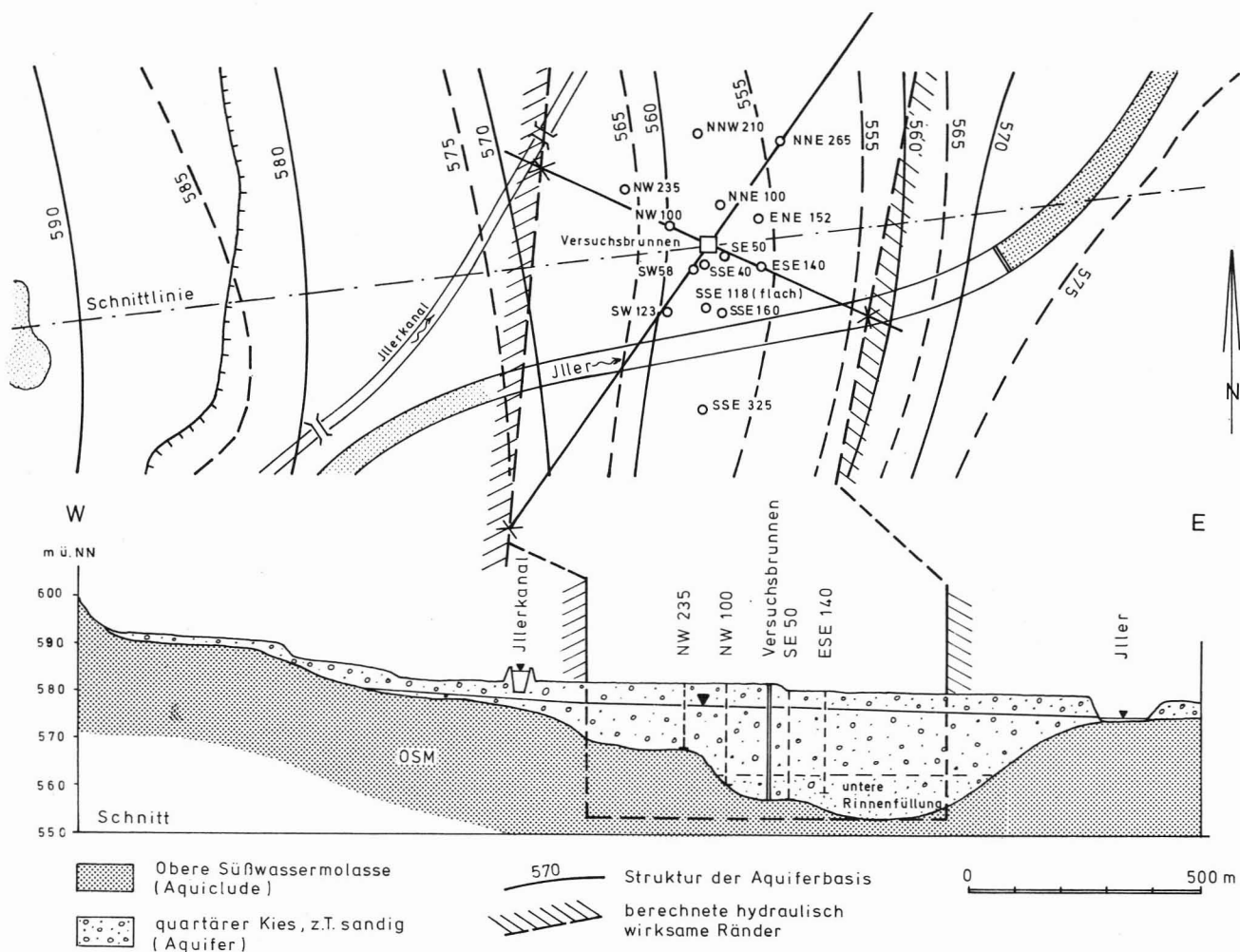


Abb. 3.2 Versuchsfeld und hydrogeologischer Schnitt Pumpversuch Mooshausen

Tab. 3.2: Auswertungsergebnisse des Pumpversuchs Mooshausen

amtliche Meßstellen Nr.	Bezeichnung der Meßstelle r (m)	H (m)	Typkurve nach NEUMAN			Geradlinienverfahren		
			t (m ² /s)	S (-)	k _{fh} /k _{fv}	T (m ² /s)	S (-)	Q _{inf} (m ³ /s)
	Brunnen	19,9	—	—	—	0,341	—	0,013
	Brunnenfilter	19,9	—	—	—	0,341	—	0,014
166 770	SSE 40	19,5	0,301	0,12	70	0,319	0,8	0,019
165 770	SE 50	19,4	0,333	0,14	74	0,327	0,7	0,013
150 770	SW 58	19,6	0,309	0,09	150	0,323	0,5	0,009
163 770	NNE 100	19,7	0,318	0,06	143	0,319	0,22	0,024
164 770	NW 100	17,0	—	—	—	0,315	0,19	0,010
117 770	SSE 118	ca. 20,8	0,271	0,08	245	0,271	0,08	0,021
167 770	SW 123	18,7	0,338	0,08	105	0,315	0,13	0,012
151 770	ESE 140	ca. 19	0,328	0,04	—	0,323	0,13	0,015
125 770	ENE 152	18,7	0,318	0,06	—	0,323	0,11	0,011
145 770	SSE 160	21,3	0,318	0,05	—	0,327	0,10	0,001
161 770	NNW 210	17,1	0,328	0,04	—	0,327	0,07	0,021
162 770	NW 235	8,8	0,309	0,04	—	0,311	0,05	0,022
124 770	NNE 265	22,7	0,318	0,04	—	0,371	0,06	0,024
153 770	SSE 325	20,9	0,328	0,05	—	0,371	0,05	—

$$\bar{T} = 0,319 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k_f = 16,18 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\bar{T} = 0,327 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k_f = 16,76 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\bar{Q}_{\text{inf}} = 0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ca. 12 \% von } Q$$

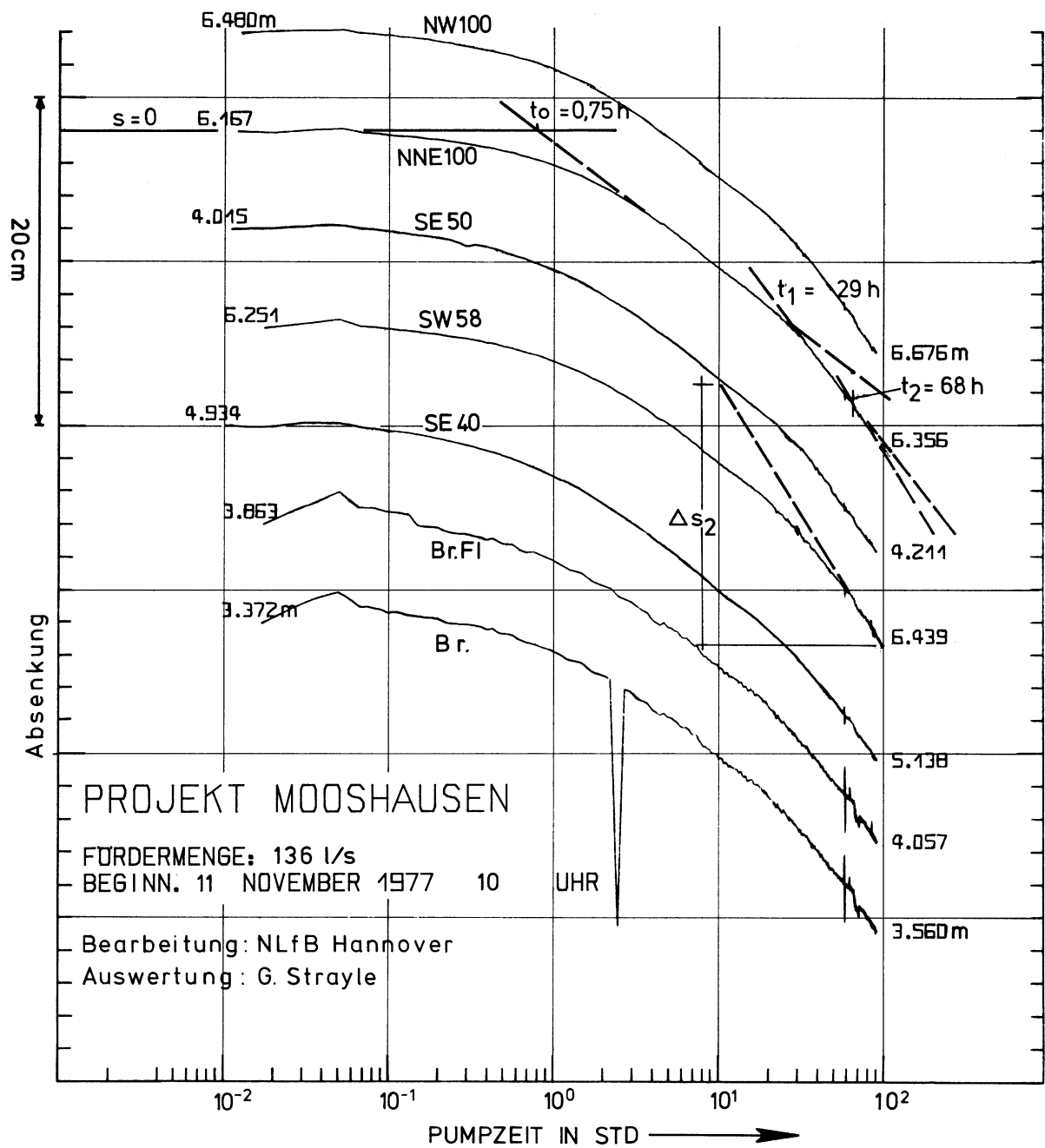


Abb. 3.3 Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Mooshausen

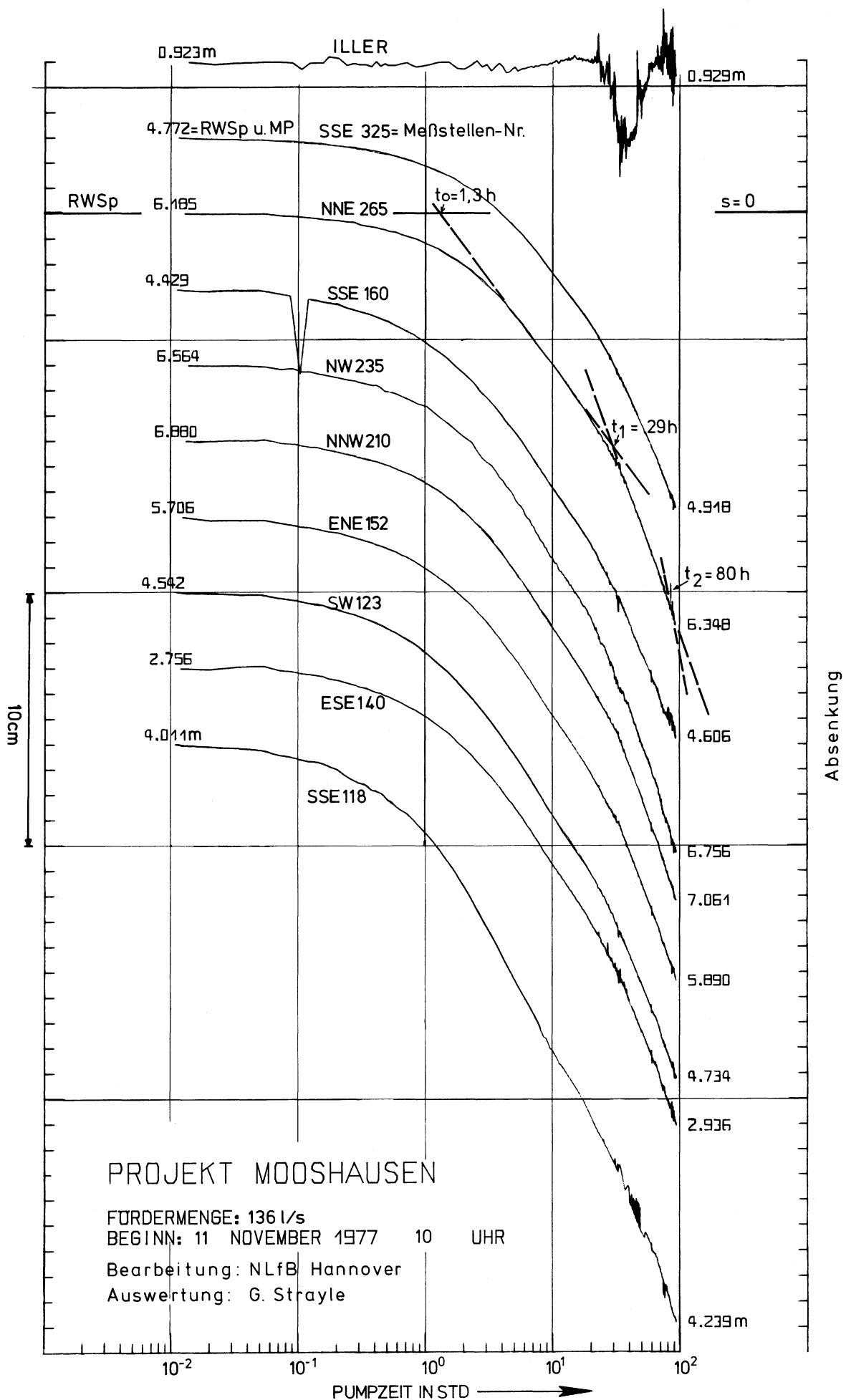


Abb. 3.4 Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Pumpversuch Mooshausen

Ist Δs die Absenkungsdifferenz für $\Delta l g t = 1$ dann ist $\Delta s'$ entsprechend die Wiederanstiegsdifferenz für $\Delta l g \frac{t+t'}{r} = 1$.

Wenn keine Infiltration nachweisbar ist, folgt $Q = Q'$ und

$s = \Delta s'$. Die Division der Gleichungen 4a und 4b ergibt:

$$\frac{Q}{\Delta s} = \frac{Q'}{\Delta s'} \dots\dots\dots (5a)$$

Der Zustrom für die Wiederauffüllung des Absenktrichters ergibt sich aus Gleichung (5a) zu:

$$Q' = \frac{Q \cdot \Delta s'}{\Delta s} \dots\dots\dots (5b)$$

Die Infiltratsmenge (Q_{inf}) ergibt sich als Differenz zwischen Pumprate und Zustromrate zu

$$Q_{inf} = \frac{Q \cdot \Delta s'}{\Delta s} - Q \dots\dots\dots (6)$$

Die Steigung Δs der Absenkgeraden wurde in diesem Fall als Mittel von Δs_2 bestimmt. D.h. der Einfluß der Aquiferränder ist voll berücksichtigt.

Die Auswertung des Wiederanstiegs hat eine mittlere Infiltrationsmenge von ca. 0,0165 m³/s ergeben (vgl. Tab. 3.2). der errechnete Betrag stimmt größenordnungsmäßig gut überein mit den auf anderen Wegen erhaltenen Werten (vgl. Tab. 4.7).

Da der Infiltratanteil nur etwa 12 % der beim Pumpversuch geförderten Menge entspricht, muß an dieser Stelle die Sohlabdichtung der Iller relativ weit fortgeschritten sein. Aus diesem Grund wird es auch verständlich, daß der Einfluß der Iller als hydraulische Stütze während der Absenkphase nicht erkennbar war. Der rasche Durchschlag des Illerhochwassers auf sämtliche Grundwassermeßstellen beweist andererseits, daß eine spürbare Abdichtung des Gewässerbetts nur bis zur Mittelwasserlinie vorhanden sein kann. Oberhalb dieser Linie bleibt die Durchlässigkeit der Ufer infolge der nur kurzzeitigen Infiltration erhalten.

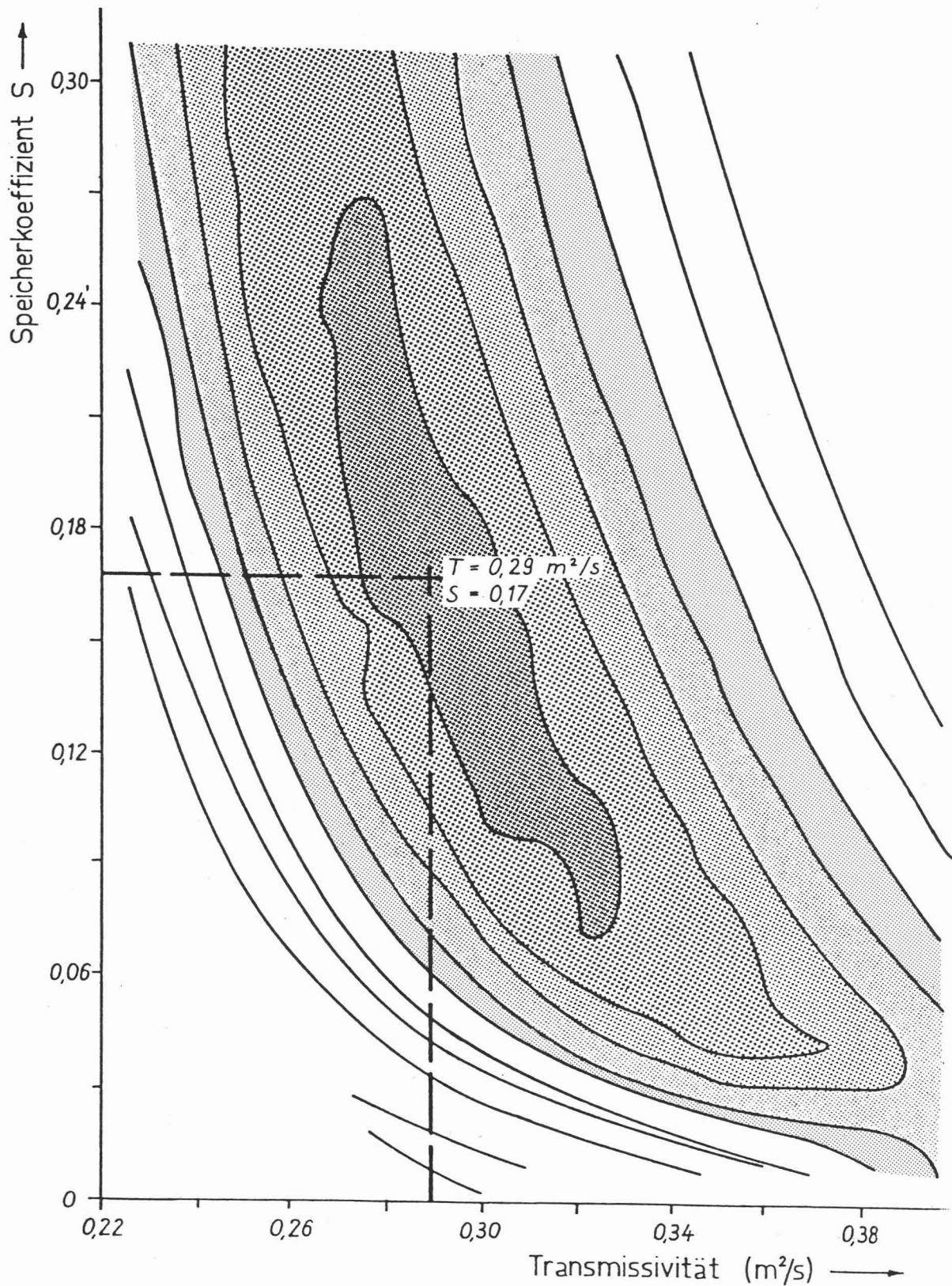
In Tabelle 3.2 sind alle Aquiferparameter aufgelistet. Aus 31 Einzelbestimmungen ergibt sich eine mittlere Transmissivität von $T = 0,323 \text{ m}^2/\text{s}$, der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert erreicht $k_f = 16,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

3.2.3 Pumpversuch Tannheim

Zwei wenige Meter voneinander entfernte Entnahmefrünnen wurden nacheinander jeweils in 4 Stufen angefahren, wodurch ein denkbar komplizierter Versuchsablauf entstand. Für den gesamten Versuchszeitraum von 309,5 Stunden errechnet sich die durchschnittliche Entnahme für Brunnen I zu $Q = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$ und für Brunnen II zu $Q_2 = 0,046 \text{ m}^3/\text{s}$. Infolge dieses Versuchsablaufs und aufgrund des Umstandes, daß das geförderte Grundwasser einige 100 m nördlich der Entnahme wieder versickert werden mußte, bleiben die Auswertungsmöglichkeiten auf die einfachsten Lösungen beschränkt.

Die Geologie des Versuchsfeldes läßt sich aus dem Schnitt 6 entnehmen. Man erkennt eine sich beginnende Verbreiterung der Rinnenstruktur, wobei die Rinnenachse in der flachen Sohle wenig ausgeprägt ist. Die etwas seitlich der Rinnenachse gelegenen Brunnenstandorte dürfen von den Rändern wenig beeinflußt sein.

Eine erste Auswertung nach dem allgemeinen Geradlinienverfahren (s/Q) gegen $f (r^2/t)$ von COOPER & JACOB [4] ergab ohne Berücksichtigung eines fallenden Grundwassertrends die Parameter $T = 0,255 \text{ m}^2/\text{s}$ und $S = 0,28$. Das Ergebnis der rechnergestützten Auswertung zeigt die Abb. 3.5. Aus dem Tiefpunkt des Minimumfeldes der Fehlerquadratsummen wird $T = 0,29 \text{ m}^2/\text{s}$ und $S = 0,17$ abgelesen.



**Abb. 3.5 Pumpversuch Tannheim – automatische Auswertung:
Minimumfeld der Fehlerquadratsummen**

3.2.4 Pumpversuche bei Erolzheim und Unteropfingen

Östlich Erolzheim wurde ebenfalls bereits 1971 vom 23. 11. bis 3. 12. aus einem Versuchsbrunnen im Gewann Tännelsäcker ein 6-stufiger Pumpversuch gefahren.

Das aus 9 Grundwassermeßstellen bestehende Meßnetz befindet sich wenig seitlich des Rinnen-tiefsten. Der Versuchsbrunnen ist identisch mit der Meßstelle 161 769 auf dem Hydrogeologischen Schnitt 4. Bei einer mittleren Leistung des Brunnens von $Q = 0,084 \text{ m}^3/\text{s}$ wurden in den Meßstellen am Ende maximale Absenkungsbeträge von nur 0,08 bis 0,29 m gemessen. Der dadurch bedingte große relative Meßfehler erlaubt es lediglich, die Größenordnung der Aquiferparameter ($T = 0,257\text{--}0,278 \text{ m}^2/\text{s}$ und $S = 0,34\text{--}0,12$) abzuschätzen.

Der Zweckverband Landeswasserversorgung hat diesen Talabschnitt durch stufenförmige Groß-entnahmen aus zwei neuerstellten großkalibrigen Brunnen vom 10. 10. 79–6. 3. 1980 erneut gete-stet. Der erste Entnahmebrunnen (Br. 11 auf Karte I) steht unmittelbar neben dem alten Versuchs-brunnen „Tännelsäcker“, der zweite rund 2,5 km talaufwärts auf der Höhe von Unteropfingen (Br. 14 auf Karte I). Während beim Brunnen Erolzheim die ca. 4 m tiefergelegene Rinnenachse nur rund 200 m östlich vorbeiläuft, steht der Brunnen Unteropfingen mit 500 m deutlich weiter entfernt von

der Rinnenachse. Daraus ergeben sich für die beiden Versuchsfelder im Mittel unterschiedliche Aquifermächtigkeiten. Sie sind im zentraler gelegenen Versuchsfeld Erolzheim mit 13,4 m um durchschnittlich 1 m höher als im Feld Unteropfingen.

Die hydrogeologische Situation im Bereich der Brunnenstandorte ist aus den Schnitten 5 und 6 zu entnehmen. Aufgrund der Erfahrungen beim ersten Versuch von 1971 wurde sowohl das Meßnetz erweitert, als auch die Meßgenauigkeit während der geohydraulisch auswertbaren Anfangsphase (10.–25. 10. 1979) durch den Einsatz der digitalen Registrieranlage der BGR wesentlich gesteig-ert. Im Amtsgutachten des GLA [28] sind die Ergebnisse der geohydraulischen Auswertung im einzelnen dargestellt, daher soll an dieser Stelle ein Zusammenfassender Überblick genügen.

Für die Auswertung der abgespeicherten Meßdaten wurden automatisch gezeichnete Diagramme hergestellt. Zur graphischen Auswertung nach dem Geradlinienverfahren mußten für den zeitli-chen Verlauf wegen der stufenförmigen Entnahme gewichtete logarithmische Mittel der Pumpzei-ten ($\overline{t_g}$) gegen die Absenkung s aufgetragen werden. Am Beispiel der Abb. 3.6 sieht man, daß in der ersten Pumpstufe die Absenkungskurven der entfernten Meßstellen noch nicht in eine Gerade übergehen.

Vom Absenkungsverlauf der ersten Pumpstufe, die weder durch Entnahmeänderung noch durch die Rinnenränder beeinflußt ist, wurden noch doppellogarithmische Diagramme ($\lg s$ gegen $\lg t$) für eine Typkurvenauswertung gezeichnet (vgl. Abb. 3.7). Damit konnten neben T und S auch Hinwei-se über die Z -Anisotropie der hydraulischen Leitfähigkeit gewonnen werden.

Tabelle 3.3 Mittlere Aquiferparameter aus den Pumpversuchen
Erolzheim und Unteropfingen

	Versuchsfeld Erolzheim	Versuchsfeld Unteropfingen
Anzahl aller Einzel- bestimmungen	= 100	= 64
Mittlere Mächtigkeit	$\overline{H} = 13,4 \text{ m}$	$\overline{H} = 12,4 \text{ m}$
zeitliches Geradlinien- verfahren und EDV	$\overline{T} = 0,245 \text{ m}^2/\text{s}$	$\overline{T} = 0,283 \text{ m}^2/\text{s}$
Einzelauswertung	$\overline{S} = 0,102$	$\overline{S} = 0,100$
EDV-Feldwert	$\overline{T} = 0,237 \text{ m}^2/\text{s}$	$\overline{T} = 0,270 \text{ m}^2/\text{s}$
	$\overline{S} = 0,111$	$S = 0,100$
Typkurvenverfahren und räumliche Geraden	$\overline{T} = 0,247 \text{ m}^2/\text{s}$	$\overline{T} = 0,298 \text{ m}^2/\text{s}$
Z-Anisotropie k_H/k_V	$\overline{S} = 0,118$	$\overline{S} = 0,094$
	30–40	20–25

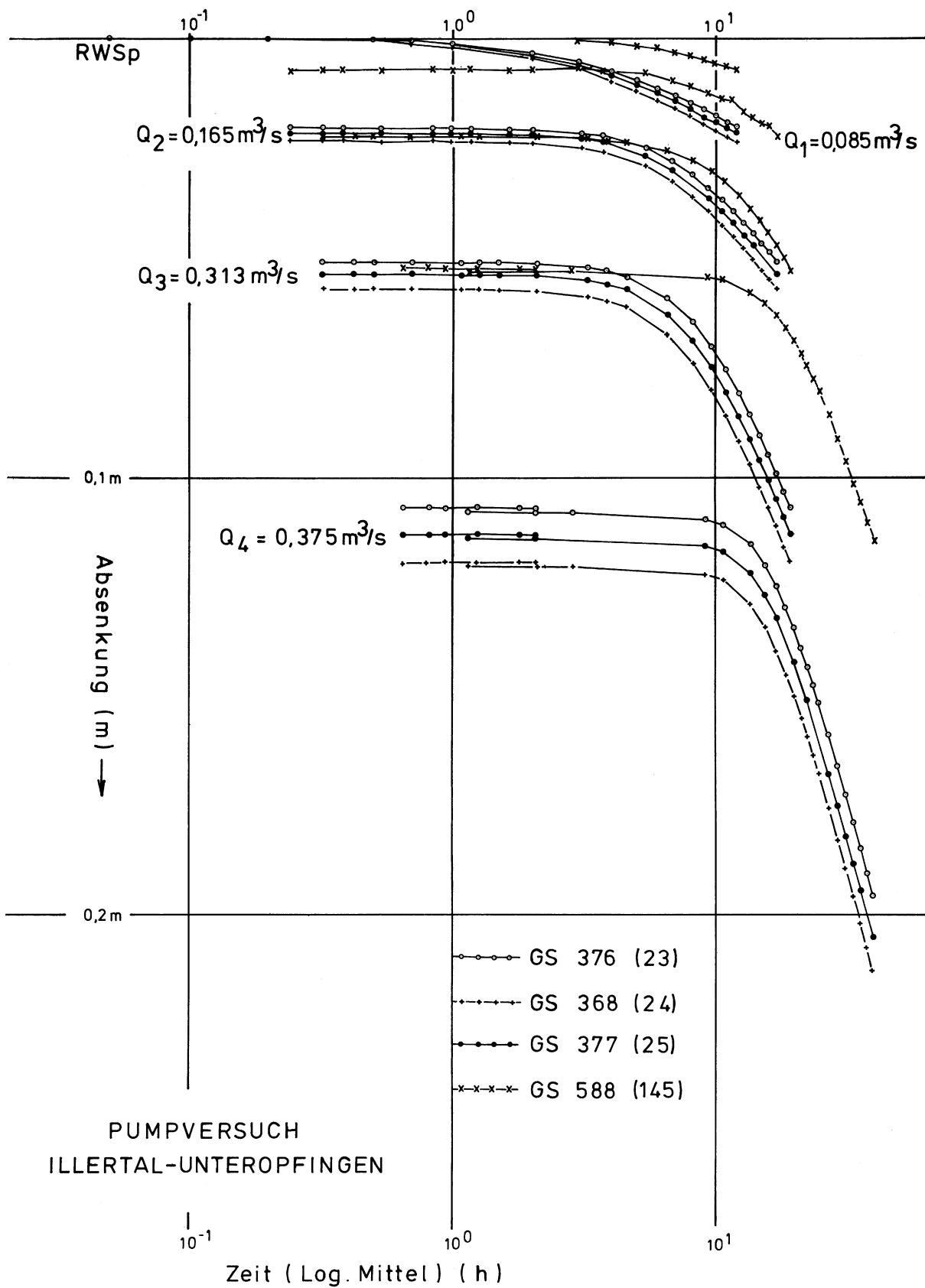


Abb. 3.6 Halblogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs beim Stufenpumpversuch Unteropfingen

Die Anwendung des beim Geologischen Landesamt entwickelten EDV-Programms [77] erweiterte die Auswertungsmöglichkeiten insofern, als mit der nichtlinearisierten Form der Brunnengleichung Entnahmeänderungen und Randeinflüsse berücksichtigt werden können. Bei der Vielzahl der Einzelbestimmungen werden nur die aus den einzelnen Verfahren errechneten mittleren Parameter für die beiden Versuchsfelder auf Tabelle 3.3 zusammengestellt.

Es ist bemerkenswert, wie wenig die aus den verschiedenen Auswertungsverfahren gewonnenen Mittelwerte streuen (Versuchsfeld Erolzheim 4%, Unteropfingen 10%). Demgegenüber weisen die in Abb. 3.8 aufgetragenen Einzelbestimmungen innerhalb eines Versuchsfeldes eine sehr große Streubreite auf. Dies demonstriert zugleich, welche Interpretationsschwierigkeiten allen Einbohrlochverfahren zumindest in fluvioglazialen, relativ inhomogenen Aquiferen anhaften (vgl. Kap. 3.5.2).

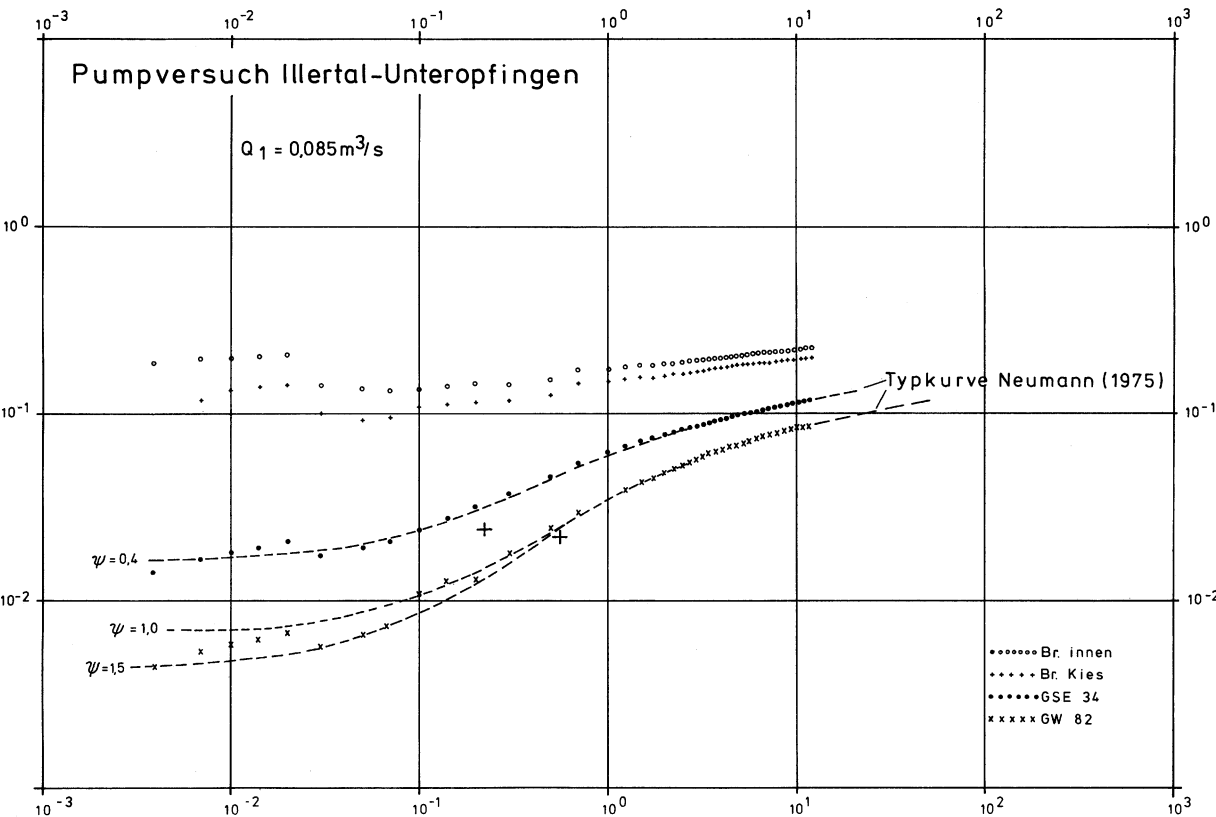


Abb. 3.7 Doppeltlogarithmische Darstellung des Absenkungsverlaufs mit Typkurvenauswertung der 1. Pumpstufe des Pumpversuchs Unteropfingen

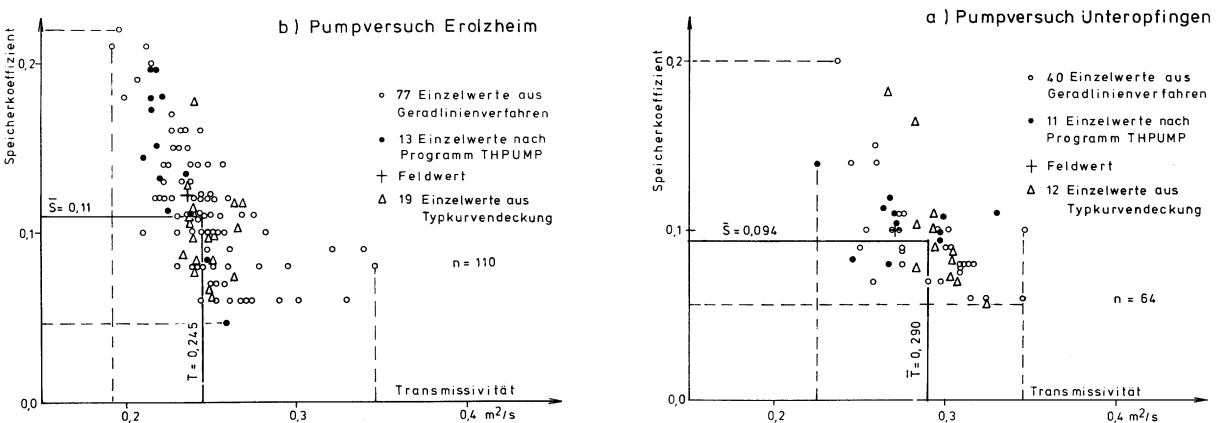


Abb. 3.8 Variation der Einzelwerte in den Versuchsfeldern Erolzheim und Unteropfingen

3.2.5 Pumpversuch Sinningen

Es handelt sich um einen 122-stündigen 3-stufigen Versuch der im Herbst 1970 gefahren wurde. Außer dem Entnahmebrunnen standen 3 Meßstellen zur Verfügung, von denen aber die 350 m entfernte Meßstelle P 1 auf die stärkste Entnahme nur mit einer nicht auswertbaren Absenkung von $<0,05$ m reagierte. Insgesamt repräsentiert dieser Versuch einen talrandnahen Bereich der Talfüllung (s. Schnitt 2) mit Aquifermächtigkeiten von $H = 8,6$ m. Die Auswertung der Absenkphase erfolgte mit Typenkurven der Art $\lg \Sigma \Delta Q W(u)$ gegen $\lg 1/t$ und dem Scharparameter μ , wie sie STALLMAN [79] vorgeschlagen hat. Das Ergebnis zeigt Abb. 3.9. Die Auswertung des Wiederanstiegs und der Absenkphase ergaben identische Transmissivitäten von jeweils $T = 0,094 \text{ m}^2/\text{s}$, der Speicherkoeffizient wurde zu $S = 0,19$ und $S = 0,02$ bestimmt.

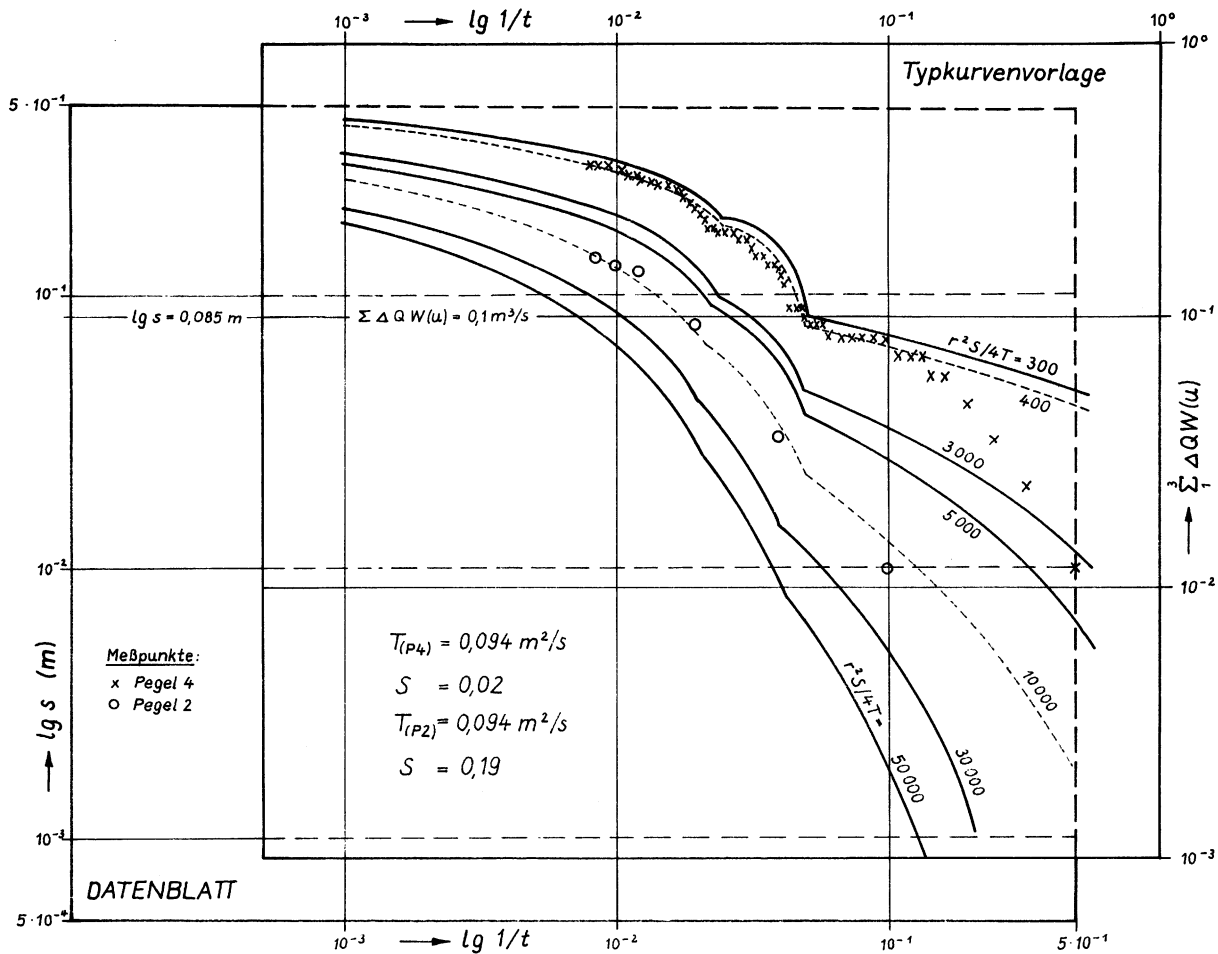


Abb. 3.9 Typenkurvenauswertung Pumpversuch Sinningen

3.2.6 Pumpversuch Dietenheim

Für die Wasserversorgung der Stadt Dietenheim wurde aus dem neuen Tiefbrunnen südlich des Stadtgebietes im Juni 1981 zunächst ein 5-stufiger Brunnentest gefahren, dem sich ein Aquifertest mit einer konstanten Förderung von $0,089 \text{ m}^3/\text{s}$ über 120 h anschloß. Das Versuchsfeld bestand aus 8 Grundwassermeßstellen und kennzeichnet wiederum den talrandnahen Aquiferbereich (vergl. Schnitt 1). Die mit dem Lichtlot gemessenen Absenkungswerte wurden auf Datenträger übernommen, um sie rechnergestützt auswerten zu können. In Tabelle 3.4 sind die Einzelergebnisse aufgeführt.

Im Durchschnitt wurden beim Brunnentest etwas höhere Transmissivitäten gefunden, als beim längerdauernden Aquifertest. Der Grund ist in der Verminderung der Aquifermächtigkeiten infolge der zunehmenden Absenkung zu suchen, die sich beim Aquifertest immer stärker auswirkt.

Tabelle 3.4: Ergebnisse des Pumpversuchs Dietenheim

				Aquifertest		Brunnentest	
Meßstelle	H (m)	Geradlinienverfahren T (m ² /s) S (1)		THPUMP T (m ² /s) S (1)		THPUMP T (m ² /s) S (1)	
Brunnen	6,6	0,018	—	0,017	—	0,023	—
GS 15	6,6	0,015	—	0,015	—	0,022	0,23
GE 40	6,8	0,015	0,22	0,016	0,16	0,020	0,10
GNN 51	7,9	0,014	0,13	0,015	0,10	0,019	0,06
GN 107	4,9	0,014	0,07	0,015	0,06	0,18	0,05
GS 68	6,6	0,015	0,16	0,018	0,13	0,026	0,10
GNE 164	4,7	0,017	0,09	0,021	0,09	0,029	0,11
GSE 156	5,8	0,048*	0,04	0,023	—	0,024	0,11
GSW 218	6,9	0,025	0,21	0,014	0,29	0,095*	0,1
		$\bar{T} = 0,017$	$\bar{S} = 0,13$	$\bar{T} = 0,017$	$\bar{S} = 0,11$	$\bar{T} = 0,023$	$\bar{S} = 0,11$

*Einzelwerte wurden bei der Mittelwertbildung nicht mitberücksichtigt.

3.3 Ermittlung der hydraulischen Leitfähigkeit

Die rasche fluvioglaziale Aufschotterung einer gleichmäßig geneigten, flach in die Molasse eingetieften Rinne läßt in geometrischer sedimentologischer Hinsicht einen vergleichsweise einfach aufgebauten Kiesaquifer erwarten, der insbesondere durch einen einheitlichen k_f -Wert (hydraulische Leitfähigkeit) ausgezeichnet ist.

Aufgrund der sehr umfangreichen und aufwendigen Aquifertests hat sich aber gerade das Gegenteil ergeben, daß nämlich der mittlere k_f -Wert innerhalb eines solchen Kiesaquifers um mindestens eine Größenordnung variieren kann. Bei diesem Vergleich handelt es sich ausdrücklich nicht um Einzelwerte, die aus Einbohrlochverfahren gewonnen wurden, sondern um Mittelwerte, sog. Feldwerte, die aus mehreren Meßstellen bei der Pumpversuchsauswertung berechnet wurden. Die Variation der hydraulischen Leitfähigkeit innerhalb der einzelnen Versuchsfelder ist auf Abb. 3.10 dargestellt. Darauf läßt sich die Problematik erkennen, den k_f -Werte in situ bestimmen zu wollen, denn nicht einmal innerhalb der einzelnen Versuchsfelder findet man eine annähernd lineare Proportionalität zwischen T und H.

Es zeichnet sich zwar eine generelle Abnahme des k_f -Wertes bis zum nördlichsten Versuchsfeld Dietenheim ab, aber auch dabei fällt das Versuchsergebnis des südlichsten Pumpversuchs Aitrach vollständig heraus. Betrachtet man die sog. "Feldwerte" auf Abb. 3.10, so zeichnet sich folgendes Bild ab:

Die vier Versuche (Unteropfingen, Erolzheim, Tannheim, Mooshausen) mit den höchsten k_f -Werten zwischen $(22,5 - 16,7) \cdot 10^{-3}$ m/s liegen alle mehr oder weniger im zentralen Rinnenbereich, wobei die beiden k_f -Werte von Mooshausen und Erolzheim durch die an diesen Stellen nachgewiesene geringer durchlässige untere Rinnenfüllung (vgl. z.B. Abb. 3.2) reduziert sind. Am deutlichsten macht sich dieses Phänomen beim südlichst gelegenen Versuchsfeld Aitrach bemerkbar, wo die untere Rinnenfüllung nachweislich rund die Hälfte der Aquifermächtigkeit einnimmt. Eine spezielle Auswertung ergab für den oberen Aquiferabschnitt Durchlässigkeiten zwischen $13,6$ und $14,1 \cdot 10^{-3}$ m/s, die sich gut einpassen lassen.

Die k_f -Werte von Sinnigen ($10,9 \cdot 10^{-3}$ m/s) und von Dietenheim ($2,6 \cdot 10^{-3}$ m/s) kennzeichnen bereits den talrandnahen Bereich weiter talabwärts. Der letztere k_f -Wert ist durch hohe Feinsandanteile, die aus dem Molassetalhang eingeschwemmt wurden, verursacht.

3.4 Zur Konstruktion der Karte der Transmissivitätsverteilung
(Karte VI)

Eine Isoliniendarstellung der Transmissivitätsverteilung ist allein mit den wenigen aus Pumpversuchen ermittelten Transmissivitäten nicht möglich. Man muß allerdings darauf hinweisen, daß die meisten Versuche mit ungewöhnlich hohem Aufwand gemessen und ausgewertet wurden, so daß man die maßgebenden Randbedingungen und die Streubreite der Aquiferparameter innerhalb der einzelnen Versuchsfelder sehr genau kennt (s. Kap. 3.2.1–3.2.6).

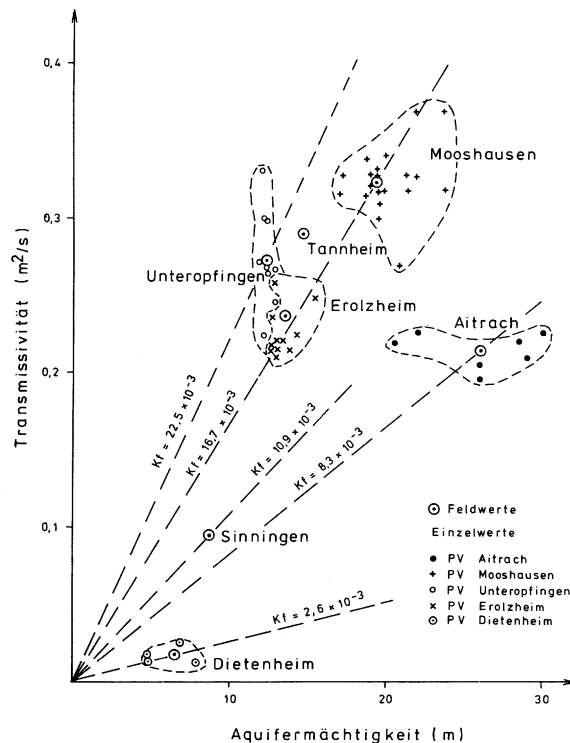


Abb. 3.10 Ermittlung der k_f -Werte aus den Pumpversuchen

Wie die Abb. 3.10 zeigt, liegt wegen der unterschiedlichen Lage der Versuchsfelder zur zentralen Tiefenrinne keine einfache, für das Gesamtgebiet gültige lineare Beziehung von T und H vor (vgl. Kap. 3.3). Es erscheint aber möglich, aus der Lage und den jeweiligen geologischen Gegebenheiten der Versuchsfelder Kriterien abzuleiten, die für eine kartenmäßige Darstellung der Transmissivitätsverteilung genutzt werden können.

Im zentralen Rinnenbereich des Illtals vom Versuchsfeld Mooshausen bis Erolzheim mit Grundwassermächtigkeiten von ca. 10 bis ca. 25 m haben sich aus 5 Pumpversuchen T -Werte ergeben, aus denen sich mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f = 0,016$ – $0,022$ m/s ableiten lassen (s. Abb. 3.10).

Die Abweichung von ca. 25% zwischen dem höchsten Wert bei Unteropfingen und dem niedrigsten Wert bei Mooshausen dürfte auf Inhomogenitäten der Kiesschüttung zurückzuführen sein, die sich im einzelnen nicht näher nachweisen lassen.

Für die Konstruktion der T -Wert-Karte wurde weiterhin angenommen, daß die bei Erolzheim II ($0,018$ m/s) und Mooshausen ($0,016$ m/s) ermittelten Durchlässigkeiten gegenüber den hohen Werten von Unteropfingen und Erolzheim I ($0,022$ m/s) eine größere Verbreitung haben.

Im Bereich des PV Aitrach ergeben sich vergleichsweise geringe Durchlässigkeiten, die durch Molasseeinlagerungen (von den übersteilten Rinnenrändern abgerutschte Schollen), erklärt werden können. Sie sind vermutlich lokal eng begrenzt. Für den Bereich zwischen Aitrach und Mooshausen wurden die Ergebnisse aus Mooshausen verwendet.

Die insbesondere im mittleren und nördlichen Talabschnitt ausgedehnten flachen Bereiche des Aquifers mit weniger als 10 m Grundwassermächtigkeit haben mit großer Wahrscheinlichkeit niedrigere Durchlässigkeiten. Sie sind durch die Pumpversuchsergebnisse aus Sinningen, Balzheim und Dietenheim belegt, die durchweg in flachen Randgebieten erzielt wurden.

Für die Kartendarstellung wurde eine recht grobe Abstufung der T-Werte von jeweils $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$ gewählt. Als niedrigste Stufe, um die Randbereiche deutlich darzustellen, wurde zusätzlich noch die $0,05 \text{ m}^2/\text{s}$ Isolinie eingeführt. Die grobe Abstufung erfolgte zum einen, um eine zu enge Scharung der Isolinien in den Bereichen mit starkem Relief (insbesondere im südlichen Kartiergebiet) zu vermeiden; zum anderen ist man bei der flächenhaften Darstellung der Transmissivitäten bis zu einem gewissen Grad auf Abschätzungen angewiesen, so daß eine feinere Abstufung keine größere Genauigkeit erbringen würde.

Die vorliegende Transmissivitätsverteilung wurde im wesentlichen durch das mathematische Grundwassermodell [43] bestätigt.

3.5 Markierungsversuche mit Farbstoffen

Grundwassermarkierungen sind in vier Versuchsfeldern des unteren Illertals unternommen worden:

1. Brunnen Tannheim (1972)
2. Versuchsbrunnen Tännelsäcker (Erolzheim I, 1972)
3. Versuchsbrunnen Unteropfingen (1979/80)
4. Brunnen Erolzheim (Erolzheim II, 1979/80)

In den beiden zuletzt genannten Versuchsfeldern erfolgten die Markierungen während eines Großpumpversuchs.

Als Markierungsstoffe wurden die wasserlöslichen Fluoreszenzfarbstoffe Uranin, Eosin, Rhodamin und Tinopal eingesetzt. Die Farbeingabe erfolgte sowohl direkt ins Grundwasser wie auch in den ungesättigten Bereich des Grundwasserleiters über flache Pegelrohre bzw. ca. 30 cm tief ausgehobene Gruben.

Alle Wasserproben wurden im Geochemischen Laboratorium des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg untersucht. Insbesondere der Einsatz von mehreren Farbstoffen nebeneinander war nur mit den dort entwickelten Meß- und Untersuchungsverfahren möglich (KÄSS [51 u. 52]).

Die Versuche sind in den Berichten [29, 33] und in der Arbeit von I. STÖBER [81] ausführlich beschrieben und dargestellt.

3.5.1 Geohydraulische Auswertung der Markierungsversuche

An dieser Stelle soll ausschließlich auf Versuche eingegangen werden, die die Ausgangsbedingungen für eine geohydraulische Auswertung erfüllen. Dies sind insgesamt vier Versuche, bei denen Uranin über Pegelrohre direkt ins Grundwasser eingegeben wurde. Zwei dieser Versuche wurden im Jahre 1972 in den Versuchsfeldern beim Brunnen Tannheim und beim Versuchsbrunnen „Tännelsäcker“ (Br. Nr. 161 769 und Br. 15 auf Karte I) vorgenommen. Die beiden anderen Versuche wurden 1979/80 im Verlauf des vom Zweckverband Landeswasserversorgung angesetzten Großpumpversuchs durchgeführt. Hierbei wurde der Markierungsstoff Uranin innerhalb des deutlich ausgeprägten Entnahmetrichters dem Grundwasser zugegeben.

Für die geohydraulische Auswertung lassen sich somit folgende Randbedingungen definieren: Ein nahezu idealer Markierungsstoff (Uranin) wurde auf die Oberfläche des Aquifers stoßartig eingegeben, wobei im Falle der beiden ersten Versuche von einem zweidimensionalen Fließfeld und bei den beiden letztgenannten von einem mehr oder weniger radialsymmetrischen konvergenten Fließfeld im Absenkttrichter der Brunnen ausgegangen werden kann.

Für beide Fälle hat SAUTY [70] Lösungen in Form von Typkurven angegeben. Diese wurden von STÖBER [81] für die Belange der praktischen Anwendung ergänzt und anhand dieser Beispiele mit den Ergebnissen von Pumpversuchen verglichen.

Tabelle 3.5 zeigt eine Übersicht über die mit den Typkurven gewonnenen Ergebnissen. Von besonderem Interesse ist ein Vergleich zwischen den Versuchen Tännelsäcker und Erolzheim II, die zwar im gleichen Versuchsfeld, aber bei unterschiedlichen Randbedingungen vorgenommen wurden. Da im radial konvergenten System Abstandsgeschwindigkeit u und Dispersionskoeffizient D_L vom Abstand r abhängig sind, lassen sich allenfalls die kinematischen Porositäten ω vergleichen. Im ersten Fall ist ω um den Faktor 2,5 größer.

Der kleinere ω -Wert aus dem Versuch Erolzheim II ist wahrscheinlich damit zu erklären, daß die Eingabestelle (Meßstelle 184 769) zum Zeitpunkt der Farbeingabe außerhalb des Absenkungstrichters lag. Die Tracerwolke breitete sich daher zunächst zweidimensional aus, um erst dann dem eindimensionalen radial konvergenten Strömungsfeld zu folgen. Dadurch wird es auch erklärlich, daß in den grundwasserunterstrom gelegenen Meßstellen B 4 (Bohrung 26 in Karte I) und 161 769 Farbspuren auftraten. Analoge Verhältnisse liegen im Versuchsfeld Unteropfingen vor (s. Kap. 3.5.2).

Wie wichtig die Wahl des Auswertungsverfahrens für das Ergebnis ist, kann am Beispiel der Auswertung des Versuchs Unteropfingen demonstriert werden. Abb. 3.12 zeigt die automatisch gezeichnete Datenkurve in Deckung mit der zugehörigen Typkurve für radial-konvergentes Fließfeld mit den Auswertungsergebnissen. Wertet man dagegen diesen Versuch nach dem bekannten Näherungsverfahren über die Summenkurven aus, dann ergeben sich andere longitudinale Dispersionskoeffizienten.

Tabelle 3.5 Auswertung der Markierungsversuche mit Typkurven nach STÖBER [81]

a) Zweidimensionale Fließfelder (Versuche 1972)

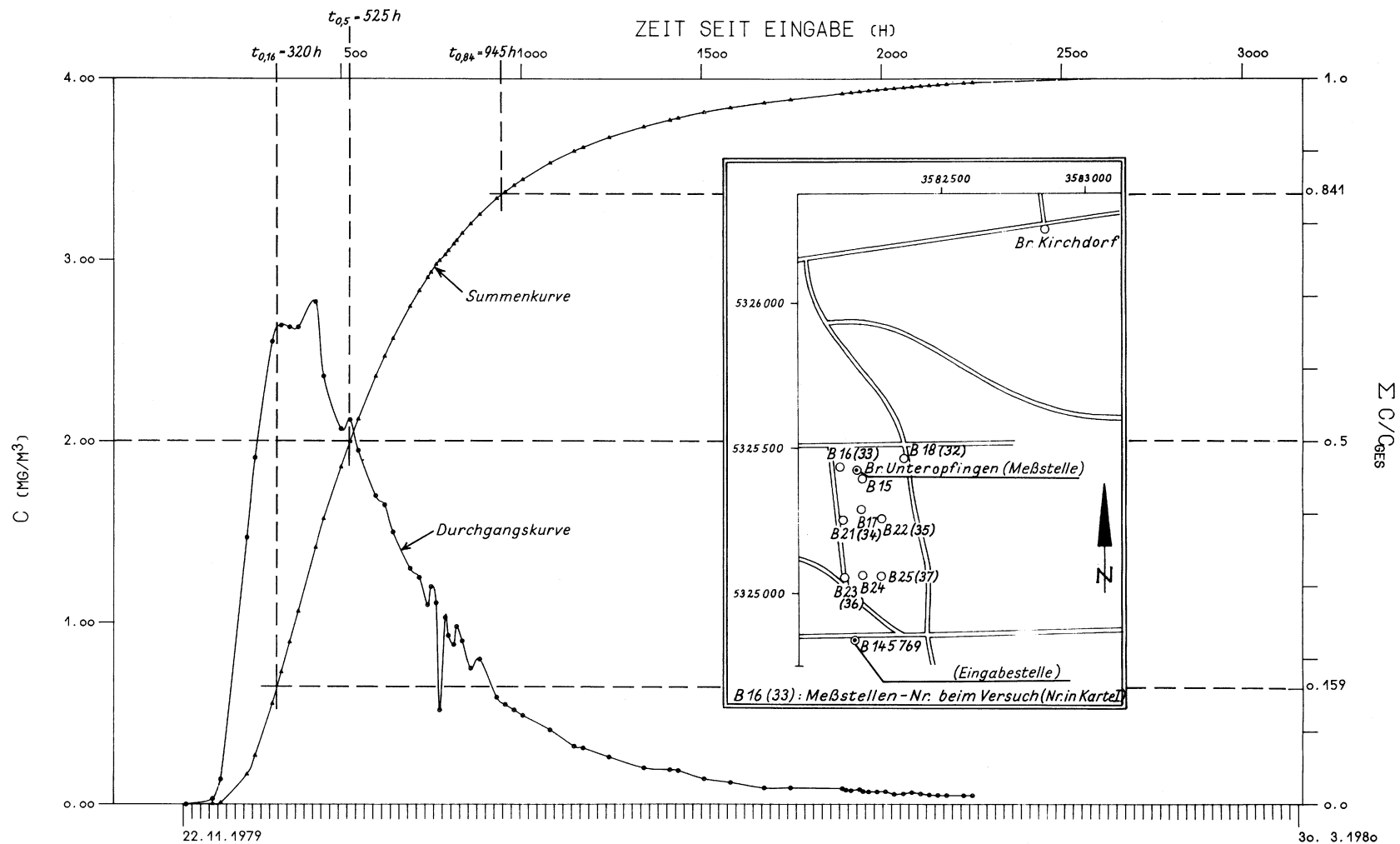
		m/s	m ² /s	m ² /s	m	m	(-)	m/s
	n	u x 10 ⁻⁵	D _L x 10 ⁻³	D _t x 10 ⁻³	α _L	α _t	ω	k _f x 10 ⁻³
Tannheim	7	32,78 = 28,3 m/d	9,75	0,97	29,6	3,0	0,18	22
Tännelesäcker	5	25,27 = 21,8 m/d	3,58	0,36	14,9	1,5	0,26	14

b) konvergent radialsymmetrische Fließfelder (Versuche 1979/80)

		m/s	m ² /s	m	(-)	m	m ³ /s
	n	u(r) x 10 ⁻⁵	D _L (r) x 10 ⁻³	α _L	ω	h	\bar{Q}
Erolzheim II	1	17,96 = 15,2 m/d	8,25	45,9	0,1	9,2	0,54
Unteropfingen	1	14,56 = 12,5 m/d	10,6	73,1	0,081	8,8	0,38

n = Anzahl der Bestimmungen
u = Abstandsgeschwindigkeit
u(r) = Abstandsgeschwindigkeit im Abstand r vom Brunnen
D_L; D_t = longitudinaler-transversaler Dispersionskoeffizient
D_L(r) = longitudinaler Dispersionskoeffizient im Abstand r

α_L; α_t = longitudinale-transversale Dispersivität
ω = kinematische Porosität (≈ n_f)
k_f = hydraulische Leitfähigkeit
 \bar{h} = mittlere Aquifermächtigkeit
 \bar{Q} = mittlere Entnahmerate
x = Abstand zwischen Eingabe- und Beprobungsstelle



KIRCHDORF-UNTEROPFINGEN HYDROGEOL. KARTIERUNG

EINGABESTELLE: BEOBACHTUNGSBRUNNEN BERKHEIM

TK25: 7926
R = 3582195 H = 5324838

MESSELLE: BR. UNTEROPFINGEN

TK25: 7926
R = 3582207 H = 5325423

Abb. 3.11 Markierungsversuch Unteropfingen: Beispiel einer Auswertung mit Lageplan des Versuchsfeldes

Aus der Abb. 3.11 entnimmt man die Zahlenwerte für $t_{0,16} = 320$ h; $t_{0,5} = 525$ h und $t_{0,84} = 945$ h. Mit dem Abstand $x = 585$ m ergibt sich die Abstandsgeschwindigkeit zu $u = x/t_{0,5} \cdot 3600 = 3,095 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Die Dispersion läßt sich nach zwei Formeln berechnen:

Formel 1 $D_{L1} = \frac{u^2 (t_{0,84} - t_{0,16})^2}{8 \cdot t_{0,5}} = 3,21 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\alpha_{L1} = 103,63 \text{ m}$$

Formel 2 $D_{L2} = \frac{1}{8} \frac{x - ut_{0,16}}{t_{0,5}} - \frac{x - ut_{0,84}}{t_{0,5}} = 2,72 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\alpha_{L2} = 87,92 \text{ m}$$

Man sieht, daß die Anwendung des Näherungsverfahrens in diesem Fall schon zu Fehlern zwischen 20 und 40 % führt. Unter anderen Bedingungen können sich diese um ein Mehrfaches steigern.

Farbdurchgangskurve Unteropfingen

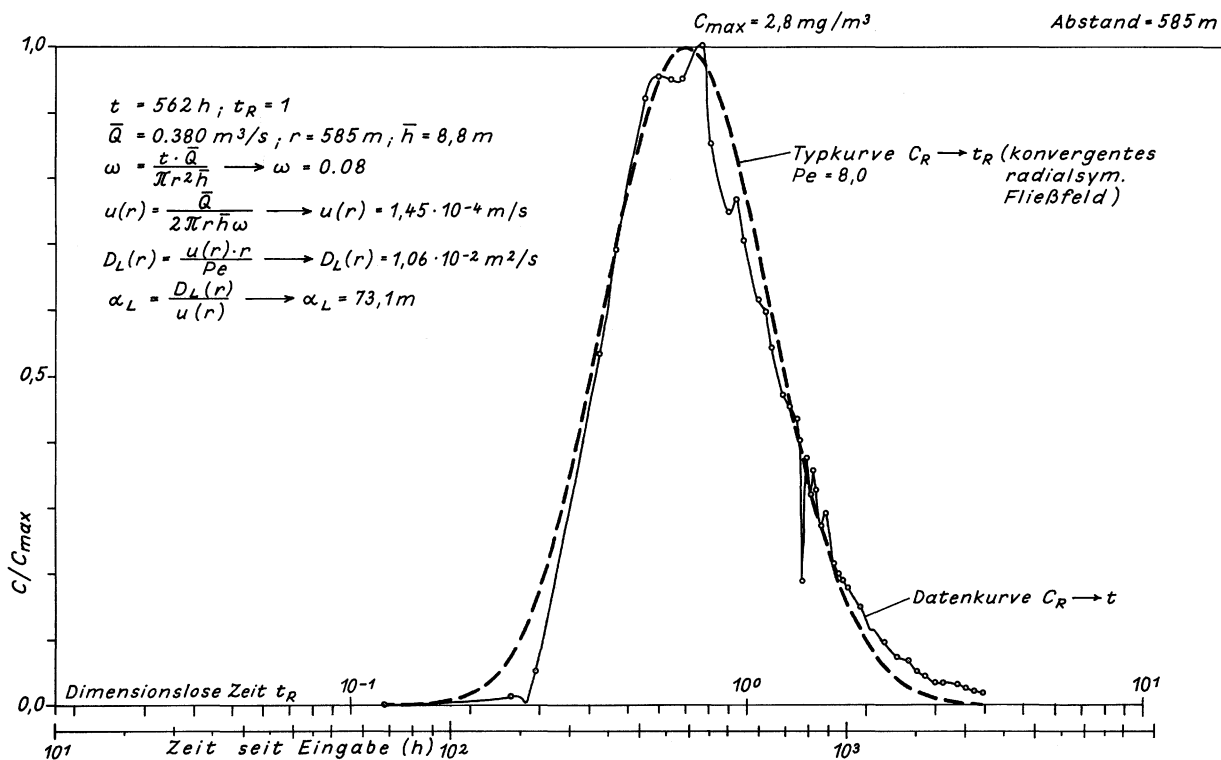


Abb. 3.12 Markierungsversuch Unteropfingen: Beispiel einer Auswertung mit Typenkurve

3.5.2 Durch Markierungsversuche festgestellte Fließwege des Grundwassers

Der am 19. 11. 1979 begonnene Markierungsversuch im Versuchsfeld Unteropfingen macht deutlich, daß die tatsächlichen Fließwege des Grundwassers teilweise erheblich von der generellen Fließrichtung, wie sie durch das großräumige hydraulische Gefälle vorgegeben wird, abweichen.

Abb. 3.13 zeigt die Versuchsanordnung sowie die in den einzelnen Meßstellen ermittelten maximalen Uraninkonzentrationen. Das Versuchsfeld lag im Absenkungstrichter des Brunnens Unteropfingen. Um so überraschender erscheint es, daß die höchsten Farbkonzentrationen nicht in den Meßstellen angetroffen wurden, die auf dem direkten Fließweg zum Brunnen liegen. Das Bild der Konzentrationsverteilungen läßt vermuten, daß der Hauptteil der eingegebenen Farbe auf einer (oder mehreren) schmalen, mäandrierenden, bevorzugten Fließbahnen (Rollkieslagen, vgl. Kap. 2.4) den Entnahmebrunnen erreicht.

Zusätzlich wurden in der Meßstelle 25 (Bohrung 37 in Karte I) die Konzentrationsverteilungen in verschiedenen Tiefenstufen gemessen. Die größten Konzentrationen lagen bei 6 und 7 m unter dem Grundwasserspiegel, ein Hinweis darauf, daß die durch Rollkieslagen gebildeten Hauptfließbahnen auch in der Vertikalen eng begrenzt sind. In diesen durch geringer durchlässige Zwischenschichten voneinander getrennten Rollkieslagen kann sich das Grundwasser mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und -richtungen bewegen (vgl. Kap. 2.4 und 3.6).

Die mäandrierenden Fließwege haben eine starke Durchmischung des Grundwassers zur Folge, was in der vergleichsweise hohen Dispersivität (vgl. Kap. 3.5.1) zum Ausdruck kommt.

3.6 Markierungsversuche mit radioaktiven Markierungsstoffen

Vom Institut für Radiohydrometrie Neuherberg sind im Kartiergebiet mehrere Einbohrlochmessungen zur Bestimmung von Filtergeschwindigkeiten und Fließrichtungen in verschiedenen Tiefenstufen, sowie in den Versuchsfeldern beim Brunnen Tannheim und Brunnen Tännelsäcker (161 769) Grundwassermarkierungen zur Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit durchgeführt worden [44, 47]. Bei all diesen Versuchen wurden radioaktive Lösungen als Markierungsstoffe verwendet (Genauere Angaben über die radiohydrometrischen Verfahren enthalten die Versuchsberichte).

Die Meßergebnisse der Einbohrlochmessungen zeigen teilweise einen beträchtlichen Wechsel von Filtergeschwindigkeiten und Fließrichtungen innerhalb einer Meßstelle.

Als Beispiel werden in Abb. 3.14 die Ergebnisse aus der Meßstelle 145 770 dargestellt. Mit der Tiefe nimmt in dieser Meßstelle die Filtergeschwindigkeit geringfügig ab, mit Ausnahme eines offenbar besonders gut leitenden Horizonts in 20 m Tiefe. Hier sind die Filtergeschwindigkeiten um eine Größenordnung höher. Die Fließrichtungen weichen bis zu 70° ab.

Durch Messungen bei Aitrach (Meßstellen 134 770 und 136 770) konnte die dortige Zweigliedrigkeit des Grundwasserleiters bestätigt werden. Für die beiden Rinnenfüllungen ergaben sich Filtergeschwindigkeiten, die sich ebenfalls um ca. eine Größenordnung unterscheiden.

Besonders große Unterschiede der Fließrichtungen weist die Meßstelle 125 770 auf. Im unteren Teil strömt das Grundwasser überwiegend nach N-West im oberen Teil nach N-Ost.

Meist geringere Filtergeschwindigkeiten im unteren Teil zeigen die Messungen in mehreren Meßstellen beim Brunnen Tannheim.

Insgesamt bestätigen die Meßergebnisse den intensiven Wechsel in der Kieszusammensetzung. Die von der Hauptfließrichtung z.T. deutlich abweichenden lokalen Fließrichtungen machen die in Kap. 3.5.2 beschriebenen Ergebnisse des Markierungsversuchs Unteropfingen plausibel.

Gute Übereinstimmung mit den an gleicher Stelle durchgeführten Uranin-Versuchen ergaben auch die Grundwassermarkierungen mit radioaktiven Lösungen in den Versuchsfeldern Tannheim und Tännelsäcker. Die ermittelten Abstandsgeschwindigkeiten enthält Tab. 3.6.

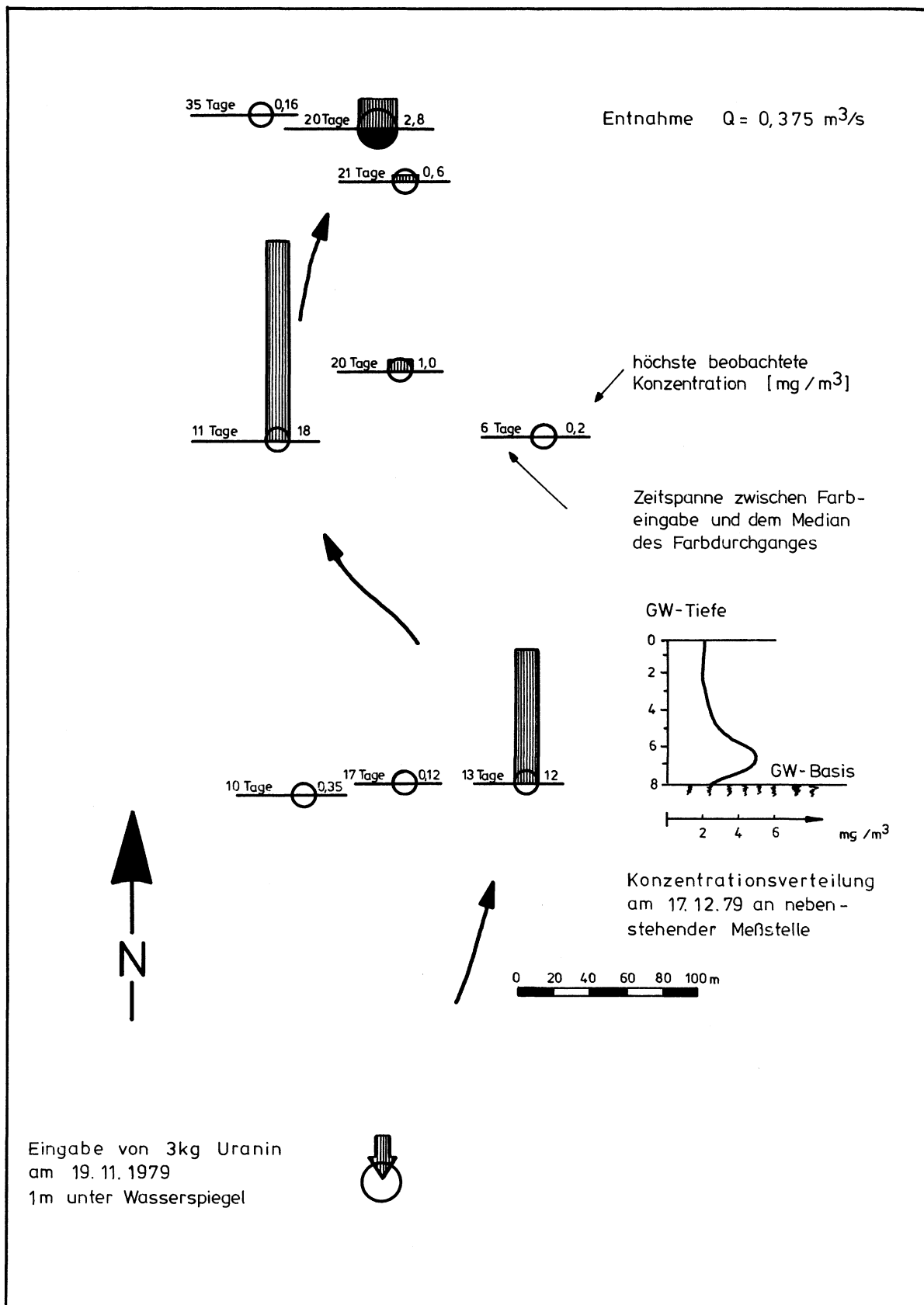
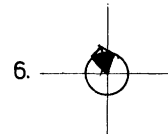
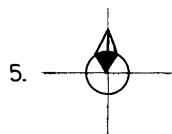
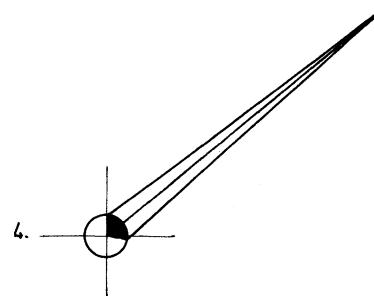
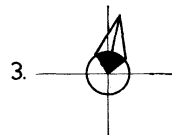
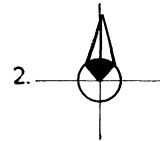
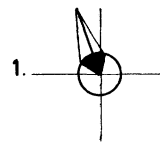


Abb. 3.13 Verteilung der Farbstoffkonzentration im Versuchsfeld Unteropfingen

Meßstelle 145 770

Nr.	Tiefe unter GOK in[m]	v_f	Richtung
1	16	$1,9 \pm 0,6$	340 ± 30
2	18	$1,6 \pm 1,0$	360 ± 40
3	19	$1,4 \pm 0,2$	10 ± 40
4	20	$12,6 \pm 4,8$	50 ± 50
5	21	$0,8 \pm 0,1$	360 ± 30
6	22	$0,05 \pm 0,05$	350 ± 30



Zeichenerklärung:

Filtergeschwindigkeit
 $1 \text{ cm} \hat{=} 2,5 \text{ m/d}$

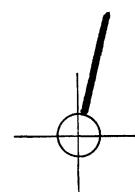
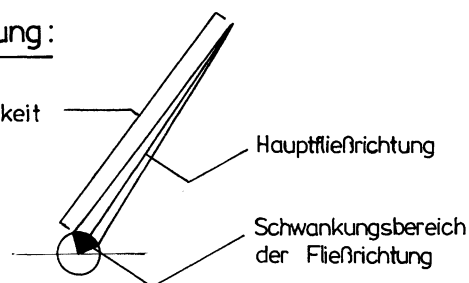


Abb. 3.14 Grundwasserfließrichtungen und Filtergeschwindigkeiten in unterschiedlichen Tiefen an der Meßstelle 145 770 (Nach Messungen des Instituts für Radiohydrometrie, Neuherberg)

**Tabelle 3.6 Mittlere und maximale Abstandsgeschwindigkeiten
nach Markierungsversuchen mit radioaktiven Lösungen**

	v max. m/d	v mittl. m/d
Tannheim	98	17,9
Tännelesäcker	85	13,3

3.7 Bakterientriffsversuche

Die ersten Versuche mit Bakterien sind 1972/73 unter Mitwirkung des Hygiene-Instituts der Universität Tübingen in den Versuchsfeldern Tannheim und Erolzheim I durchgeführt worden [33]. Als Testkeim wurde das rot pigmentierte Stäbchenbakterium *Serratia marcescens* verwendet. Die Einspeisung erfolgte im Bereich Tannheim direkt ins Grundwasser, im Bereich Erolzheim über ein flaches Pegelrohr ca. 1 m und in einer Grube ca. 5 m über dem Grundwasserspiegel. Bei allen drei Versuchsarten konnte ein Vertriften der Bakterien nachgewiesen werden. Die deutlich positiven Befunde beschränken sich allerdings auf den Nahbereich unterhalb der Eingabestelle (Tannheim bis 43 m, Erolzheim bis 63 m; bei Eingabe in Grube bis 11 m). Über größere Entfernungen liegen nur ganz wenige Einzelbefunde vor (Erolzheim I bis 195 m).

Einschränkend muß erwähnt werden, daß bei der Bakterieneingabe an der Oberfläche unter Simulation einer Starkregenmenge im Grundwasser keine Keime nachgewiesen werden konnten. Erst bei Nachspülung mit 4 m³ Wasser erreichten einige Keime den nächstgelegenen Pegel (11 m). Die maximalen Wandergeschwindigkeiten, die aus dem ersten Auftreten von Keimen ermittelt wurden, betrugen 37 m/d (Tannheim) und 74 m/d (Erolzheim I) und liegen damit zwischen den mittleren und maximalen Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten, wie sie aus den Versuchen mit Farbstoffen bestimmt worden sind (vgl. Kap. 3.5.1).

Während des Großpumpversuches des Zweckverbands Landeswasserversorgung sind weitere sechs Bakterienversuche durchgeführt worden, mit Eingabe der Bakterien sowohl ins Grundwasser als auch in den ungesättigten Bereich [29].

Zur Kontrolle sind jeweils auch Farbstoffe eingegeben worden, die an den beprobten Meßstellen nachgewiesen werden konnten. Um so überraschender erscheint es, daß in keinem dieser Versuche eine Vertriftung von Bakterien nachweisbar war.

Sie unterscheiden sich allerdings von den früheren Versuchen in zwei wesentlichen Punkten.

1. Da der Einsatz von *Serratia marcescens* als grundwassergefährdend angesehen wird, wurden andere Bakterien verwendet: *Bacillus acidocaldarius* und *Escherichia coli*.
2. Der Nahbereich bis 60 m Entfernung von der Eingabestelle wurde nicht beprobt. Die nächstgelegene Beprobungsstelle war 80 m entfernt.

Entscheidend für den Versuchsausgang dürfte die zu große Entfernung der beprobten Meßstellen gewesen sein, womit im Prinzip die schon in den ersten Versuchen festgestellte sehr geringe Reichweite der Bakterien bestätigt wird.

Zu vergleichbaren Ergebnissen sind die bakteriologischen Untersuchungen im Bereich der Illerwasserinfiltration bei Mooshausen gekommen (vgl. Kap. 5.3).

3.8 Folgerungen für den Grundwasserschutz

Die für Fragen des Grundwasserschutzes wichtigsten Fließgeschwindigkeiten sind in Tab. 3.7 zusammengestellt.

Tab. 3.7 Aus Markierungsversuchen mit Uranin ermittelte maximale und mittlere Grundwasser-Abstandsgeschwindigkeiten im Erolzheimer Feld

Bereich	50 %-iger Durchgang m/d	Abstandsgeschwindigkeiten	
		mittlere Auswertung mit Typkurven m/d	maximale 1. Nachweis m/d
Erolzheim I (Tännelesäcker)	16	22	96
Tannheim	21	29	113
Erolzheim II	32	15	94
Unteropfingen	24	13	100

Die hohen Abstandsgeschwindigkeiten lassen Wasserinhaltsstoffe sich schnell ausbreiten. Die Ausbreitungsrichtung kann hierbei örtlich vom generellen Grundwassergefälle, wie es den Grundwassergleichen (Karte III) zu entnehmen ist, abweichen (vgl. Kap. 3.5.2 und 3.6).

Die ausgeprägten Vermischungseffekte, wie sie in der hohen Dispersivität zum Ausdruck kommen (vgl. Kap. 3.5.1), bewirken zwar grundsätzlich bei einmaliger punktueller Einleitung von Stoffen ins Grundwasser einen schnellen Rückgang der Stoffkonzentration im abströmenden Grundwasser, andererseits können im Bereich bevorzugter Fließbahnen auch hohe Konzentrationen erhalten bleiben, während wenig daneben die Stoffe in kaum merklicher Konzentration vorhanden sind. Diese Eigenart des Ausbreitungsverhaltens von Stoffen ist bei der Planung von Abwehrmaßnahmen bei Grundwasserverunreinigungen und bei der hydrogeologischen Beurteilung in diesem Zusammenhang durchgeführter Wasseranalysen zu berücksichtigen.

Für die Ausweisung von Grundwasserschutzgebieten und die Beurteilung von bakteriologischen Gefahrenquellen in stark durchlässigen Porengrundwasserleitern lassen sich aus den Ergebnissen der Bakterientriffsversuche die folgenden Schlüsse ziehen:

1. Das Filtriervermögen der ungesättigten Zone (Deckschichten) ist weitaus größer als das des Aquifers, so daß Bakterien in der Regel zurückgehalten werden. Hieraus ergibt sich die enorme Bedeutung einer unverritzten Überdeckung für den Schutz des Grundwassers.
2. Werden dagegen Bakterien durch große Wassermengen eingespült, können sie durch die Deckschichten hindurch ins Grundwasser gelangen. Ständige Abwasserversickerungen stellen somit eine besonders starke Gefährdung dar.
3. Trotz hoher Fließgeschwindigkeiten ist die Reichweite von Bakterien im bakteriologisch gesunden, stark durchlässigen Kiesgrundwasserleiter des Erolzheimer Feldes gering und liegt, abgesehen von einem Einzelbefund (195 m), nicht über 80 m. Diese Entfernung entspricht bei einer mittleren Abstandsgeschwindigkeit von 25 m/d einer Fließzeit von 3,2 Tagen.

Die bakteriologischen Untersuchungen im Grundwassermeßstellennetz unterhalb des Illerbogens (vgl. Kap. 5.3) zeigen, daß auch dort, wo die Iller ständig ins Grundwasser einspeist, die Bakterien-Reichweiten trotz hoher Grundwasserfließgeschwindigkeiten relativ gering sind (< etwa 300 m).

4 Hydrologie

4.1 Grundlagen der hydrologischen Untersuchungen

4.1.1 Hydrologische und meteorologische Meßeinrichtungen (Karte II)

4.1.1.1 Niederschlagmeßstellen und Klimastationen

Der Deutsche Wetterdienst unterhält im kartierten Gebiet selbst keine, unmittelbar außerhalb dagegen mehrere Niederschlagmeßstellen (Abb. 4.1). Im Kartierungsgebiet werden Niederschläge nur an den Lysimeterstationen des Landes Baden-Württemberg sowie am Forsthaus Oyhof und beim Illerwerk II, Tannheim, gemessen.

Im Südosten des betrachteten Gebietes liegt die Klimastation Memmingen, im Norden die Klimahauptstation Ulm.

4.1.1.2 Lysimeter

Zur Messung der Grundwasserneubildung aus versickerndem Niederschlag stehen 5 Lysimeter des Typs FRIEDRICH-FRANZEN [11] zur Verfügung. Sie werden z.T. seit 1976 beobachtet. Die Grundwasserneubildung bzw. Verdunstung bei oberflächennahen Grundwasserständen kann in einem Lysimeter nach SCHENDEL [73] gemessen werden. Der Untersuchung der Sickervorgänge in größeren Tiefen dient ein Horizontal-Bohrlysimeter; das Lysimeter System SCHENDEL und ein Lysimeter System FRIEDRICH-FRANZEN sind zu einer Station westlich Egelsee zusammengefaßt (Abb. 4.1).

4.1.1.3 Grundwassermeßstellen

Die ältesten, teilweise noch vorhandenen Grundwassermeßstellen wurden vom Betreiber des Kraftwerkskanals 1924 im Erolzheimer Feld zwischen Haldau und Kirchberg eingerichtet. Im Jahre 1950 begann die Wasserwirtschaftsverwaltung mit der Grundwasserbeobachtung im Raum Dientheim. Ab 1956 entstanden dann im Zusammenhang mit dem Bau von Illerschwelen weitere Grundwassermeßnetze. Bei diesen Meßstellen handelt es sich nahezu ausnahmslos um gerammte Beobachtungsrohre mit einem Durchmesser von 2".

Die Meßnetze waren unterschiedlich dicht und deckten jeweils nur Teilbereiche des Untersuchungsraumes ab.

In den Jahren 1975 bis 1978 wurde von der baden-württembergischen Wasserwirtschaftsverwaltung durch den Bau 100 weiterer Meßstellen erstmals ein zusammenhängendes Meßnetz geschaffen, welches 1979/1980 im Zusammenhang mit einem Pumpversuch weiter verdichtet wurde. Insgesamt besitzt das 113 km² große Kartierungsgebiet derzeit 169 Meßstellen.

Die nach 1975 gebauten Meßstellen wurden überwiegend als Spülbohrungen, teilweise auch als Trockenbohrungen, bis auf die Sohle des Grundwasserleiters abgeteuft und mit 4" Peilrohren ausgebaut. Seit 1976 werden alle Meßstellen wöchentlich beobachtet; davor wurde teilweise auch in 14tägigem oder einmonatigem Turnus gemessen.

Die derzeit vorhandenen sowie einige im Text erwähnte frühere Meßstellen sind der Karte II zu entnehmen. Im Hirschpark östlich Mooshausen und südlich Aitrach ist das Meßnetz so eng, daß nicht alle Meßstellen eingetragen werden konnten.

Die Meßstellen sind mit sechsstelligen Nummern bezeichnet. Die letzten drei Ziffern dieser Nummern kennzeichnen das Kartenblatt (Top. Karte 1 : 25000), in deren Bereich die Meßstelle liegt. In den Karten sind nur die ersten drei Ziffern der Meßstellen eingetragen. Die jeweiligen Kartenblatt-Kennzahlen sind am Rande der Karten vermerkt.

4.1.1.4 Pegel an Oberflächengewässern

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Pegel an den Oberflächengewässern im Kartierungsgebiet sowie über einige weitere Pegel an Iller und Aitrach. Der Tabelle kann außerdem entnommen werden, seit wann verschiedene Messungen an den einzelnen Pegeln vorgenommen werden.

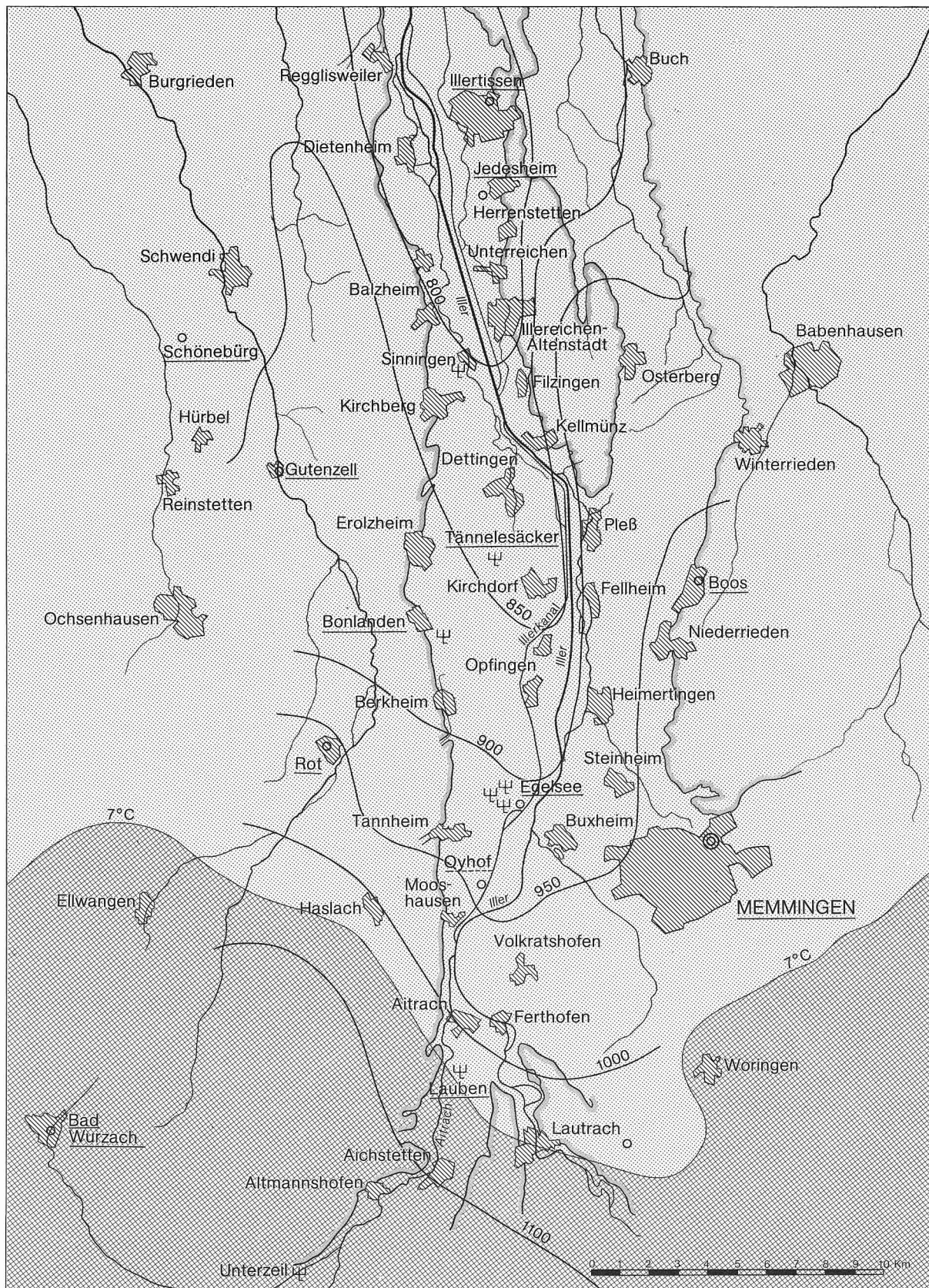


Abb. 4.1 Niederschlagshöhen und Lufttemperaturen

- | | | | |
|--------------------|--|---------|--|
| ○ <u>Boos</u> | Niederschlagstation des Deutschen Wetterdienstes | — 900 — | Mittlere Jahresniederschlags-höhe (mm) Periode 1931 - 60 |
| ⊙ <u>Memmingen</u> | Klimastation des Deutschen Wetterdienstes | | 6 - 7°C Mittlere wirkliche Lufttemperatur |
| ○ <u>Oyhof</u> | Niederschlagstation | | 7 - 8°C Periode 1881 - 1930 |
| ⊥ <u>Egelsee</u> | Lysimeter | | |

Tabelle 4.1 Pegel an Oberflächengewässern

Gewässer	Fluß-km Kanal-km	Bezeichnung des Pegels	Betreiber des Pegels	Wasserstandsmessung			Abflußermittl.		Daten ver- öffentlicht	Schwebstoffmessungen		Temperaturmessungen		Gewässergütemessungen	
				kontinuierlich	von	bis	von	bis		von	bis	von	bis	von	bis
Iller	2,1	Wiblingen	Freistaat Bayern	nein ja	1882 1895		1921		[5]	1960		1957			
	22,66	Dietenheim	Freistaat Bayern	nein	1879										
	25,21		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	27,121		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	28,9		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	29,13		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	31,06		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	31,12		UIAG	nein ja	1950 1964 xxx)	1964									
	43,48		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	43,51		Land Bad.-Württ.	ja	1976										
	44,9	Egelsee	Freistaat Bayern	nein	1955	1964	1955	1964 x)							
	45,5		Freistaat Bayern	ja	1964										
	50,66		Land Bad.-Württ.	nein nein	1956 1977	1967									
	53,0	Wehr Mooshausen	EVS	nein	1923										
	56,4		EVS	ja	1931	1948	1931	1948	[5]						
	56,6	Ferthofen	Freistaat Bayern	nein	1879	1948									
	56,6	Werk I UW	EVS	ja	1950										
	56,8	Werk I OW	EVS	ja	1950		1954xx)								
	90,5	Krugzell	Freistaat Bayern	ja	1883	1964	1921	1964	[5]	1930	1964				
	102,7	Kempton	Freistaat Bayern	nein ja	1822 1912	1912	1900		[5]	1966				1966	
Illerkanal der EVS	5,5	Werk II OW	EVS	ja	1923										
	5,6	Werk II OW	EVS	ja	1923										
	12,1	Werk III OW	EVS	ja	1924										
	12,3	Werk III OW	EVS	ja	1924										
	18,0	Werk IV OW	EVS	ja	1927										
Aitrach	1,2	Aitrach	EVS	ja											
	14,0	Lauben	Land Bad.-Württ.	nein ja	1898 1951	1951	1931		[6]						

x) Abflüsse unsicher

xx) Abflußermittlung anhand der Turbinenleistung

xxx) 1964 wurde der Pegel an den Kanaleinlauf verlegt

Seit 1879 werden die Illerwasserstände an den Pegeln Dietenheim und Ferthofen gemessen. Über die Illerabflüsse am Pegel Kempten liegen seit 1900 Daten vor.

4.1.2 Klima

Das Klima des Untersuchungsgebietes ist für Oberschwaben charakteristisch. Es tendiert im Norden mehr zu dem wärmeren Typ des Donautales, während es im Süden stärker dem kühleren Typ des Allgäus entspricht. Der Klimaatlas für Baden-Württemberg gibt für das Untersuchungsgebiet eine mittlere Jahrestemperatur 7 bis 8°C an (Abb. 4.1). Der Jahresgang der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit an der Station Memmingen ist aus Tabelle 4.2 ersichtlich.

Die mittleren jährlichen Niederschlagshöhen betragen im Norden, wo sich noch der Regenschatten der Alb auswirkt, weniger als 800 mm und nehmen nach Süden, im Bereich alpiner Steigungsregen, auf über 1000 mm zu (Abb. 4.1). Im Hügelland sind die Niederschläge höher als im Illertal. Zwei Drittel dieses Niederschlags fallen in den Sommermonaten (Tabelle 4.2). Die Niederschlagshöhen in den einzelnen Monaten sind sehr unterschiedlich, daher kann es trotz der hohen mittleren Sommerniederschläge zu Dürreerscheinungen kommen.

Tabelle 4.2 Klimadaten der Klimastation Memmingen

Klimatische Parameter	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Lufttemperatur (°C) 1931/60	–2,2	–0,8	3,1	7,2	11,7	15,2	16,9	16,2	12,8	7,5	2,7	–1,0	7,4
Niederschlag (mm) 1931/60	58,3	61,4	46,7	59,4	96,8	139,3	148,0	97,4	79,3	74,4	44,2	53,1	958,3
relative Luftfeuchtigkeit 1960/70	86	83	79	76	76	75	73	78	81	85	85	86	80

Das nahezu waldlose Illertal ist dem Wind und dessen austrocknenden Wirkung ausgesetzt. Die im Illertal nicht seltenen hohen Windgeschwindigkeiten können zu Verwehungen des Ackerbodens führen.

4.1.3 Oberflächengewässer

4.1.3.1 Iller und Illerkanäle

Grundwasser und Oberflächengewässer beeinflussen sich im Illertal gegenseitig.

Das bedeutendste Oberflächengewässer im Wasserregime des Untersuchungsgebietes ist die Iller. Das Einzugsgebiet ihres Oberlaufs liegt in den Allgäuer Alpen und im Alpenvorland. Es prägt das Abflußverhalten der Iller bis zu deren Mündung in die Donau. Dagegen trägt das Einzugsgebiet unterhalb des Pegels Kempten nur mit weniger als einem Drittel zum Abfluß der Iller am Pegel Wiblingen bei, obwohl es über die Hälfte des Einzugsgebietes umfaßt (Tab. 4.3).

Entsprechend ihrem Hochgebirgscharakter besitzt die Iller in den Monaten April bis Juni die stärkste Wasserführung; Hochwasser führt die Iller vor allem in den Monaten Mai bis September (Abb. 4.2).

Der höchste bekannte Abfluß am Pegel Wiblingen wurde mit HHQ = 900 m³/s ermittelt. Einen Überblick über die Jährlichkeit der Hoch- und Niedrigwasserabflüsse gibt Abb. 4.3.

In den Monaten August bis März hat die Iller in der Regel eine geringe Wasserführung, wobei die mittlere Niedrigwasserabflußspende in Wiblingen mit MNq = 9,8 l/s km² geringfügig höher liegt als in Kempten mit MNq = ü 9,4 l/s km² (Tab. 4.3).

Vor der Korrektion war das Hauptbett der Iller begleitet von einem nahezu die gesamte Flußauë umfassenden, mehrere 100 m breiten Streifen mäandrierender Nebenarme, Rinnsalen, Geröllbänken und Auwaldflächen. Hochwässer bedrohten Kulturland und Siedlungen. Daher wurde in den

Tabelle 4.3 Hauptzahlen der Abflüsse an den Pegeln Kempten, Ferthofen, Wiblingen und Aitrach

Gewässer	Pegel	Größe des Einzugsgebietes km ²	Jahresreihe	Hauptzahlen der Abflüsse (m ³ /s) und Abflußspenden (l/skm ²)										Verhältniszahlen				
				Winter			Sommer			Jahr								
				MNQ MNq	MQ Mq	MNQ MNq	MNQ MNq	MQ Mq	MNQ MNq	MNQ MNq	MQ Mq	MNQ MNq	MNQ MQ	MNQ MQ	Wi MNQ So MNQ	Wi MQ So MQ	Wi MNQ So MNQ	
Iller	Kempten	953	1901/70	9,54 10,0	35,4 37,1	256 269	13,8 14,5	57,8 60,7	340 357	8,99 9,43	46,7 49,1	375 383	8,0	0,19	0,61	0,75	0,69	
	Ferthofen	1329	1931/45	8,69 6,54	46,4 34,9	354 266	13,3 10,0	71,3 53,6	433 326	8,06 6,06	58,9 44,3	481 362	8,2	0,14	0,72	0,82	0,69	
	Wiblingen	2115	1921/70	21,7 10,3	58,6 27,8	342 162	27,1 12,8	78,9 37,3	425 101	20,7 9,79	60,9 32,6	474 224	6,9	0,30	0,74	0,80	0,80	
Aitrach	Lauben	315	1931/70	1,99 6,32	5,48 17,3	27,8 88,3	2,03 6,44	5,09 16,2	25,5 84,1	1,72 5,46	5,27 16,7	33,0 105	6,3	0,33	1,08	1,05	0,98	

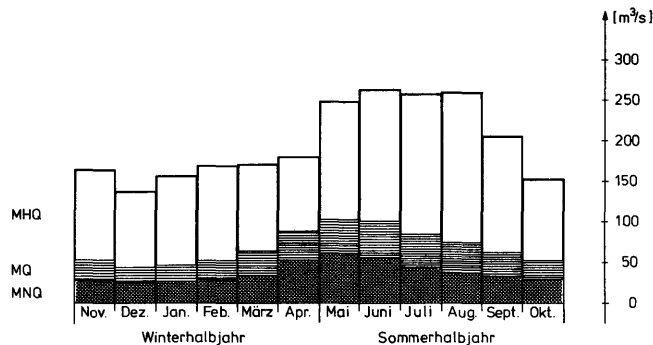


Abb. 4.2 Monatsmittelwerte der Abflüsse am Pegel Wiblingen in den Jahren 1921–71

Jahren 1858 bis 1893 von Bayern und Württemberg gemeinsam die Iller unterhalb Ferthofen ausgebaut.

Durch die Korrektur erhielt das Illertal den notwendigen Hochwasserschutz. Das bisher im Mittel 600 m breite Hochwasserbett und das ca. 200 m breite Mittelwasserbett wurden auf etwa 50 bis 90 m verengt. Gleichzeitig verkürzte sich durch Beseitigung der Flußmäander die Flußlänge, wodurch sich das Gefälle von etwa 1,77 auf 2,15‰ erhöhte. dadurch kam es zu einer schnellen Erosion der Illersohle, die im Bereich der Iller ein Absinken der Grundwasserstände zur Folge hatte (vgl. Kap. 4.2.4.1). Um dieser Erosion Einhalt zu gebieten, errichteten die beiden Länder Bayern und Württemberg seit 1904 Schwellen in der Iller (Karte VII a).

Im Jahre 1921 begann der Ausbau der Iller zur Wasserkraftnutzung mit dem Bau des Illerkanals zwischen Mooshausen und Dettingen; 1929 folgte der Bau des Illerkanals zwischen Filzingen und Au.

Der Kanal zwischen Mooshausen und Dettingen nimmt bis zu einem Abfluß von $Q = 88 \text{ m}^3/\text{s}$ alles Wasser der Iller auf. Grundwasser, welches unterhalb Mooshausen der Iller zufließt, und Zuflüsse aus Seitengewässern können über Stichkanäle bei Buxheim und Fellheim dem Kanal zugeführt werden.

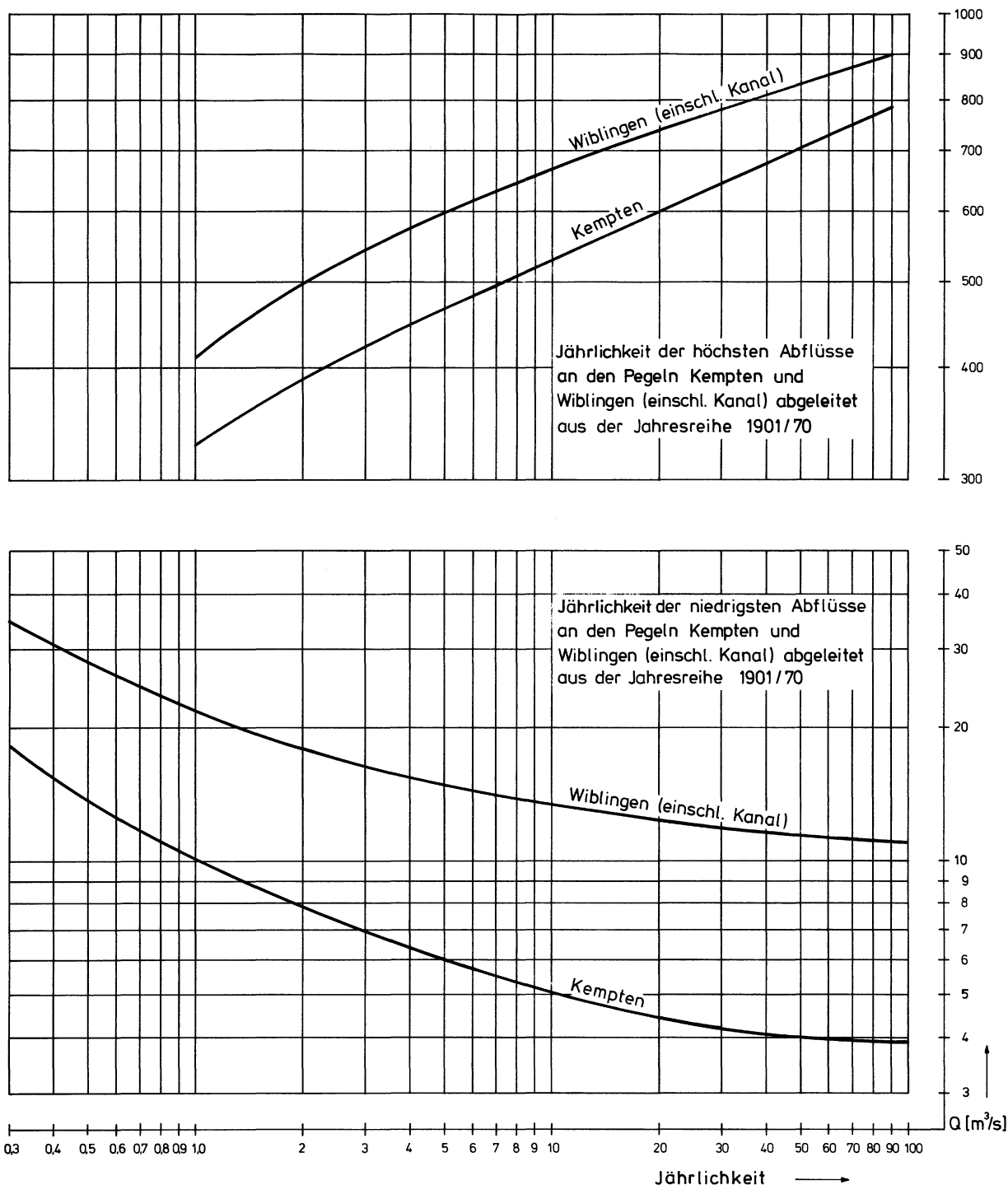
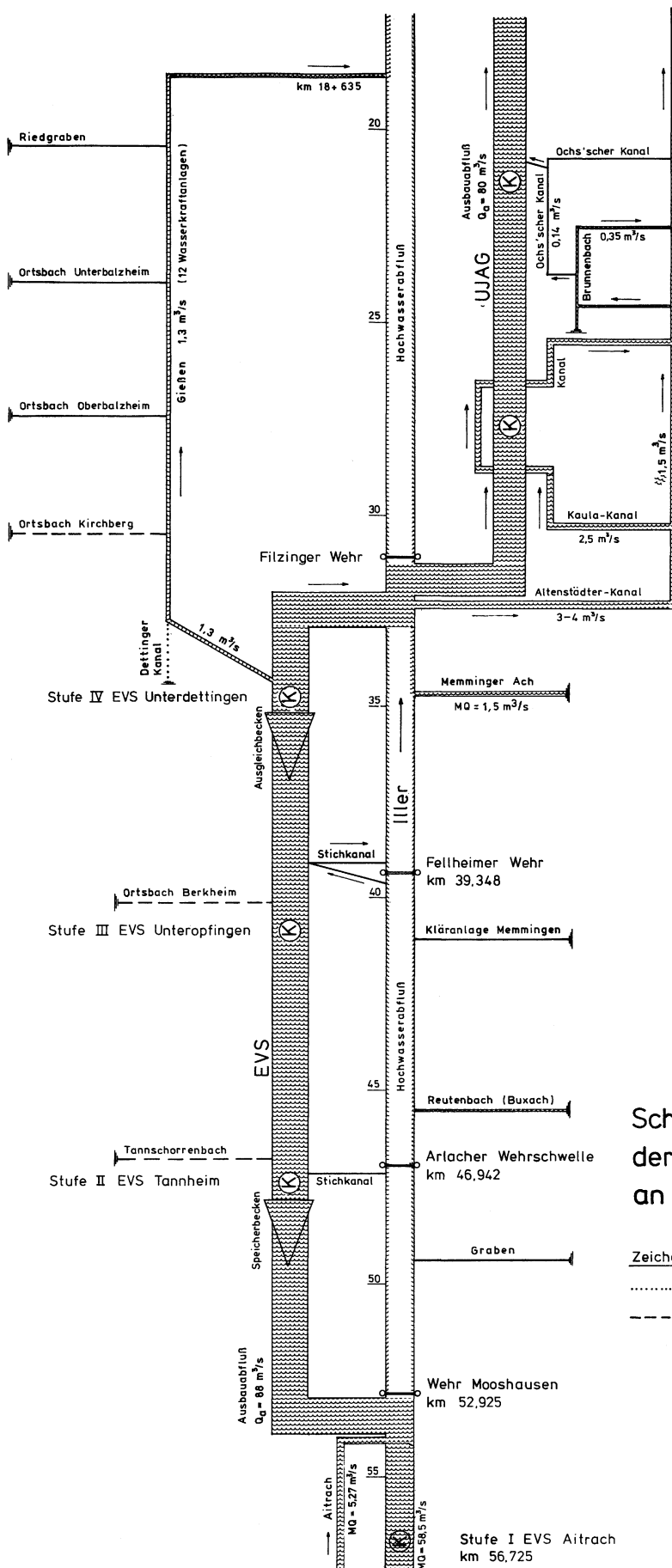


Abb. 4.3 Jährlichkeit von Hoch- und Niedrigwasserabflüssen

Der Kanal zwischen Filzingen und Au entzieht der Iller das Wasser bis $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$, weitere $5 \text{ m}^3/\text{s}$ Illerwasser führen der Gießen und der Altenstädter Kanal (Abb. 4.4).

Durch den Bau der Stauanlagen oberhalb und innerhalb des Untersuchungsgebietes wurde der Geschiebebetrieb weitgehend unterbrochen. Die mittlere jährliche Geschiebefracht bei Wiblingen wird auf ca. $1000 - 15000 \text{ m}^3$ geschätzt. Noch größer ist die Menge des Materials, welches im Jahresmittel des Zeitraumes 1965/75 durch Sohlenerosion unterhalb der Schwelle bei km 25 + 200 dem Illerbett entnommen wurde.



Schematische Darstellung der Gewässersysteme an der unteren Iller

Zeichenerklärung

- Gewässer fällt zeitweise trocken
- Gewässer verrohrt

Abb. 4.4 Schematische Darstellung der Gewässersysteme an der unteren Iller

Tabelle 4.4 Oberflächengewässer, die dem Untersuchungsgebiet nördlich Mooshausen zufließen

Gewässer	Größe des Einzugsgebietes km ²	MQ (l/s) Mq (l/s km ²)	Vorflut
Gräben zw. Tannheim u. Mooshausen	1,6		versickern im Sickerbecken am Talrand
Tannschorrenbach	4,7	30–35 7	Ein Teil versickert im Becken nördlich Tannheim, ein Teil wird in den Illerkanal abgeleitet
Gräben zwischen Tannheim und Illerbachen	1,5		versickern in Sickerbecken am Talrand
Ortsbach Illerbachen	5,0	18–20 4	versickert in Kiesgrube westl. Illerbachen
Ortsbach Berkheim	2,4	25–30 11	Etwa 80% wird zum Illerkanal abgeleitet, der Rest versickert in einem Becken nördl. Berkheim
Gräben zwischen Berkheim und Erolzheim	1,5		versickern am Talrand
Mauchenbach	7,5	30–35	Wird zum überwiegenden Teil in den Gießen abgeleitet. Das Bett des Mauchenbaches ist durch Abwässer weitgehend abgedichtet
Ortsbach Kirchberg	3,7	30–35 9	Wird zum überwiegenden Teil in den Gießen abgeleitet
Gräben zw. Kirchberg u. Oberbalzheim	2,9	12–15 5	versickern am Talrand
Ortsbach Oberbalzheim	3,6	8–10 3	Wird zum überwiegenden Teil zum Gießen abgeleitet
Gräben zw. Ober- und Unterbalzheim	1,2	6–7 5	Wird zum überwiegenden Teil zum Gießen abgeleitet
Ortsbach Unterbalzheim	4,1	6–8 2	versickert nahezu vollständig zwischen Unterbalzheim und Halbertshof
Gräben zw. Unterbalzheim u. Brandenburg	3,1		versickert nahezu vollständig zwischen Unterbalzheim und Halbertshof
Summe	42,8	ca. 230 ca. 5,4	

Für die Jahre 1966 bis 1977 wurde bei Wiblingen eine mittlere jährliche Schwebstofffracht von 137000 t ermittelt (Abb. 4.5). Der Schwebstoffgehalt des Illerwassers ist sehr unterschiedlich; insbesondere bei Hochwasser nimmt er stark zu und ist im Sommerhalbjahr generell höher als im Winter (Abb. 4.6).

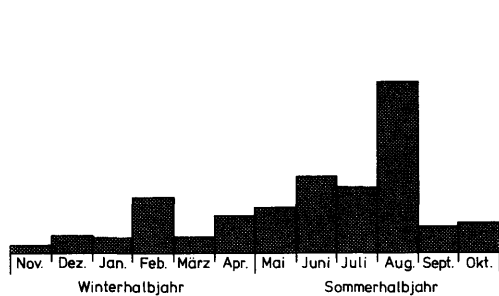


Abb. 4.5 Mittlere Schwebstofffracht der Iller am Pegel Wiblingen in den Jahren 1966–70

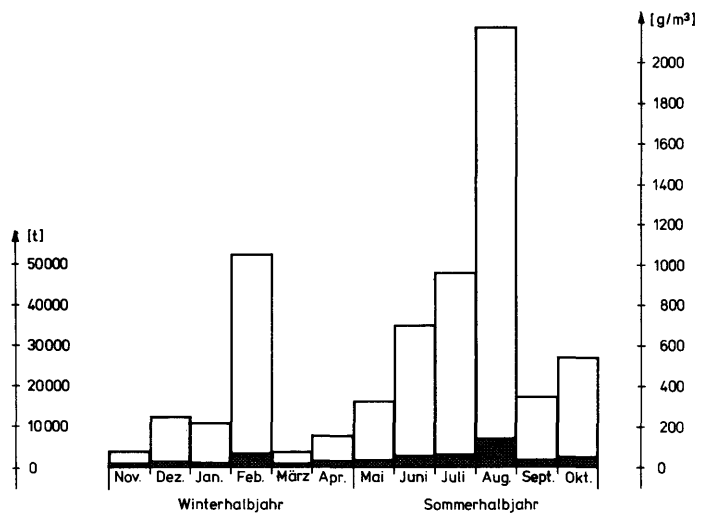


Abb. 4.6 Mittlerer u. größter Schwebstoffgehalt der Iller am Pegel Wiblingen in den Jahren 1966–70

4.1.3.2 Nebengewässer der Iller

Die Aitrach, deren Einzugsgebiet in der Adelegg (Eschach) und im tiefer gelegenen Alpenvorland (Wurzacher Ach) liegt, besitzt eine ausgeglicheneren Wasserführung als die Iller. Die mittlere Abflußspende am Pegel Lauben liegt mit $M_q = 16,7 \text{ l/s km}^2$ deutlich unter der der Iller (Ferthofen $M_q = 44,3 \text{ l/s km}^2$), auch wenn berücksichtigt wird, daß die Aitrach am Pegel Lauben von einem Grundwasserstrom von ca. 4 l/s km^2 begleitet wird.

Vom Höhenrücken westlich des Illertales fließen dem Erolzheimer Feld einige Gewässer zu, die zum größten Teil in den kiesigen Talfüllungen versickern. Die in der Tabelle 4.4 genannten mittleren Abflüsse dieser Gewässer sowie die Angaben über Grabenabflüsse bei Dettingen beruhen auf Schätzungen des Wasserwirtschaftsamtes Ulm, Außenstelle Riedlingen, in Verbindung mit Einzelmessungen.

Bei Dettingen bilden sich durch austretendes Grundwasser Wasserläufe, welche insgesamt eine Wasserführung von über $MQ = 200 \text{ l/s}$ haben.

Bis zur Jahrhundertwende wurde der Gießen durch den Dettinger Kanal gespeist. Nachdem als Folge der Sohlenerosion der Iller die Grundwasserstände zurückgegangen waren, verringerte sich die Wasserführung des Gießen. Um die Kraftanlagen am Gießen weiter betreiben zu können, erhielt der Gießen eine Zuleitung aus der Iller bzw. später aus dem Illerkanal.

4.1.3.3 Baggerseen

Längs der Autobahn und der Iller im Bereich nördlich Kirchberg sowie bei Aitrach entstanden einige Baggerseen. Wegen der geringen Größe der einzelnen Seen wirken sich diese nur in ihrem Nahbereich auf das Grundwasser aus.

4.1.4 Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnahmen dienen bisher ausschließlich der Wasserversorgung des Untersuchungsgebietes selbst. Insgesamt werden derzeit etwa 2 Mio m^3 pro Jahr gefördert. Der Zweckverband Landeswasserversorgung beabsichtigt, in größerem Umfang das Erolzheimer Feld als Wassergewinnungsgebiet zu nutzen. Mit den entsprechenden Untersuchungen wurde begonnen.

In Abb. 4.7 sind die Entnahmestellen der öffentlichen und der privaten Wasserversorgungen, deren Wasserrecht eine Grundwasserentnahme von mehr als $0,02 \text{ hm}^3/\text{a}$ erlaubt, eingetragen. Die Nummerierung der Grundwasserentnahmen bezieht sich auf die Zusammenstellung der Tabelle 4.5.

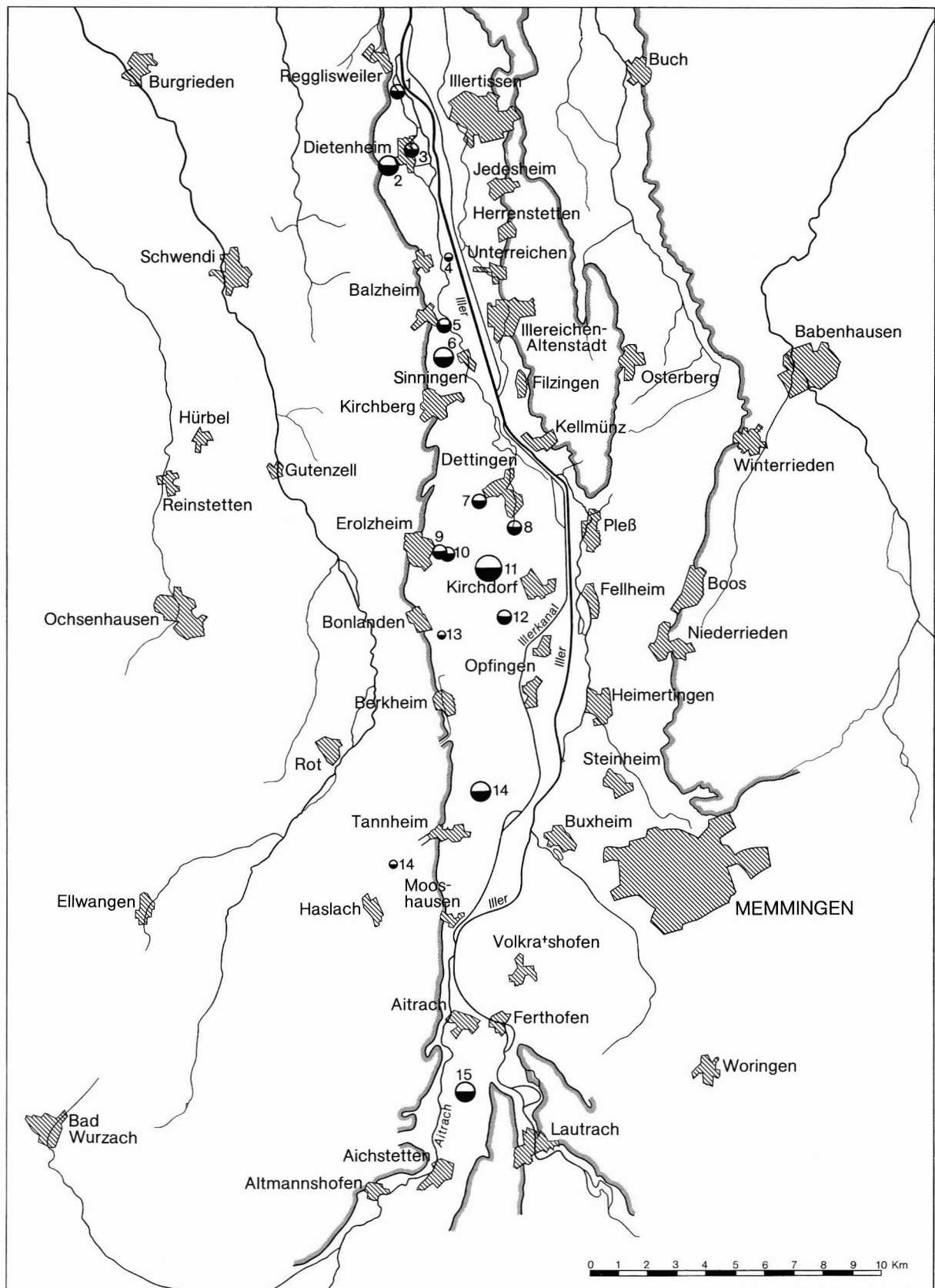


Abb. 4.7 Grundwasserentnahmen

GW - Entnahmen $> 0,02 \text{ hm}^3/\text{a}$

- $< 0,1 \text{ hm}^3/\text{a}$
- ▨ $0,1 - 0,5 \text{ hm}^3/\text{a}$
- ▤ $0,5 - 1,0 \text{ hm}^3/\text{a}$
- ▥ $> 1,0 \text{ hm}^3/\text{a}$

Tab. 4.5 Grundwasserentnahmen

lfd. Nr. (Nr. in Karte I u. II)	Wasserrechtsinhaber	Wasserrecht hm ³ /a	mittlere Entnahme hm ³ /a
1 (1)	WV Illergruppe, Regglisweiler	0,25	0,16
2 (2)	WV Dietenheim	0,7	0,335
3 –	Private Brauchwasserversorgungen	0,34	nicht bekannt
4 (169 768)	WV Unterbalzheim	0,03	0,03
5 (5)	WV Oberbalzheim	0,14	0,14
6 (6)	WV Kirchberg-Sinningen	0,5	0,094
7 (7)	Dettingen	0m2	0,075
8 –	Wasser- u. Bodenverband Dettingen (Beregnungsbrunnen)	0,16	nicht bekannt
9 (9)	Milchwerk Erolzheim	0,1	nicht bekannt
10 (10)	WV Iller-Riß-Gruppe, Erolzheim	siehe Nr. 11	0,142
11 (11)	WV Iller-Riß-Gruppe	1,8	noch keine Entnahme
12 (12)	WV Illertalgruppe, Berkheim	0,4	0,31
13 (13)	WV Bonlanden, Berkheim	0,06	0,052
14 (15)	WV Tannheim	0,54	0,22
15 (18)	WV Aitrach	0,66	0,3

Wasserentnahmen von unter 20000 m³/a sind nicht aufgeführt

4.2 Hydrologie des Grundwassers

4.2.1 Der Grundwasserstrom des Illertales und seine hydraulischen Grenzen

Das Grundwasser im Untersuchungsgebiet fließt in den Kiesfüllungen der Tiefen Aitrach-Rinne mit einem Gefälle von größtenteils über 1‰ von Süden nach Norden (vgl. Kap. 2.2.4). Die Grundwasserhöhengleichen verlaufen in der Regel nur wenig gekrümmt, nahezu rechtwinklig zur Talachse. In Abb. 4.8 ist dieser Grundwasserstrom in Form eines Stromlinienplanes dargestellt; die Breite der Stromlinie entspricht der Größe des Grundwasserabflusses. Vorfluter für das Grundwasser ist die Iller.

Der Grundwasserstrom ist im Westen und im Südosten durch die am Talrand über die Grundwasseroberfläche ansteigende Molasse begrenzt. Im Osten bilden die Iller bzw. nördlich des Illerwerkes II Tannheim der Illerkanal und eine zwischen dem Staubecken Tannheim und Unteropfingen sich hinziehende Molasseschwelle hydraulische Grenzen. Diese Schwelle, ein Rest des vorwürmeiszeitlichen östlichen Randes der Aitrach-Rinne (vgl. Kap. 2.2.3), trennt den Hauptgrundwasserstrom des Erolzheimer Feldes vom Grundwasser längs der Iller (vergl. Karte Ia).

Nördlich Kirchberg verläuft die Iller im Bereich des Rinnentiefsten; ihre Sohle ist von etwa 10 m mächtigem grundwasserführendem Schotter unterlagert. Dort, wo die Illerwasserstände unter der Grundwasseroberfläche liegen, wirkt die Iller weitgehend als hydraulische Grenze; auf den übrigen Strecken ist ein Grundwasseraustausch unter der Iller in größerem Umfang möglich. Das Gefälle des Grundwassers nördlich Kirchberg entspricht dem der Iller.

Nahe des Talrandes und im Bereich der Molasseschwelle steigt die Molasse über die Oberfläche des Grundwasserstromes im Illertal an. Im Schotter des Geländestreifens, zwischen dem Rand des in Talrichtung fließenden Grundwasserstromes und dem morphologischen Talrand, fließen die vom Hang kommenden Randzuflüsse, vermehrt durch in diesem Gebiet versickerte Niederschläge, dem Hauptgrundwasserstrom zu.

Das Fließgefälle dieses Schichtgrundwassers entspricht etwa der mittleren Neigung der Molasseoberfläche. Die Mächtigkeit dieser Grundwasserschicht ist im allgemeinen gering. Sie kann entsprechend der Struktur der Molasseoberfläche örtlich stark wechseln und auch auf Null zurückgehen. Im weiteren wird dieser Geländestreifen als Randzone des Grundwasserkörpers bezeichnet (Abb. 4.9).

In dieser Randzone befinden sich nur sehr wenige Meßstellen, so daß dort eine Kartierung des Grundwassers nicht möglich ist.

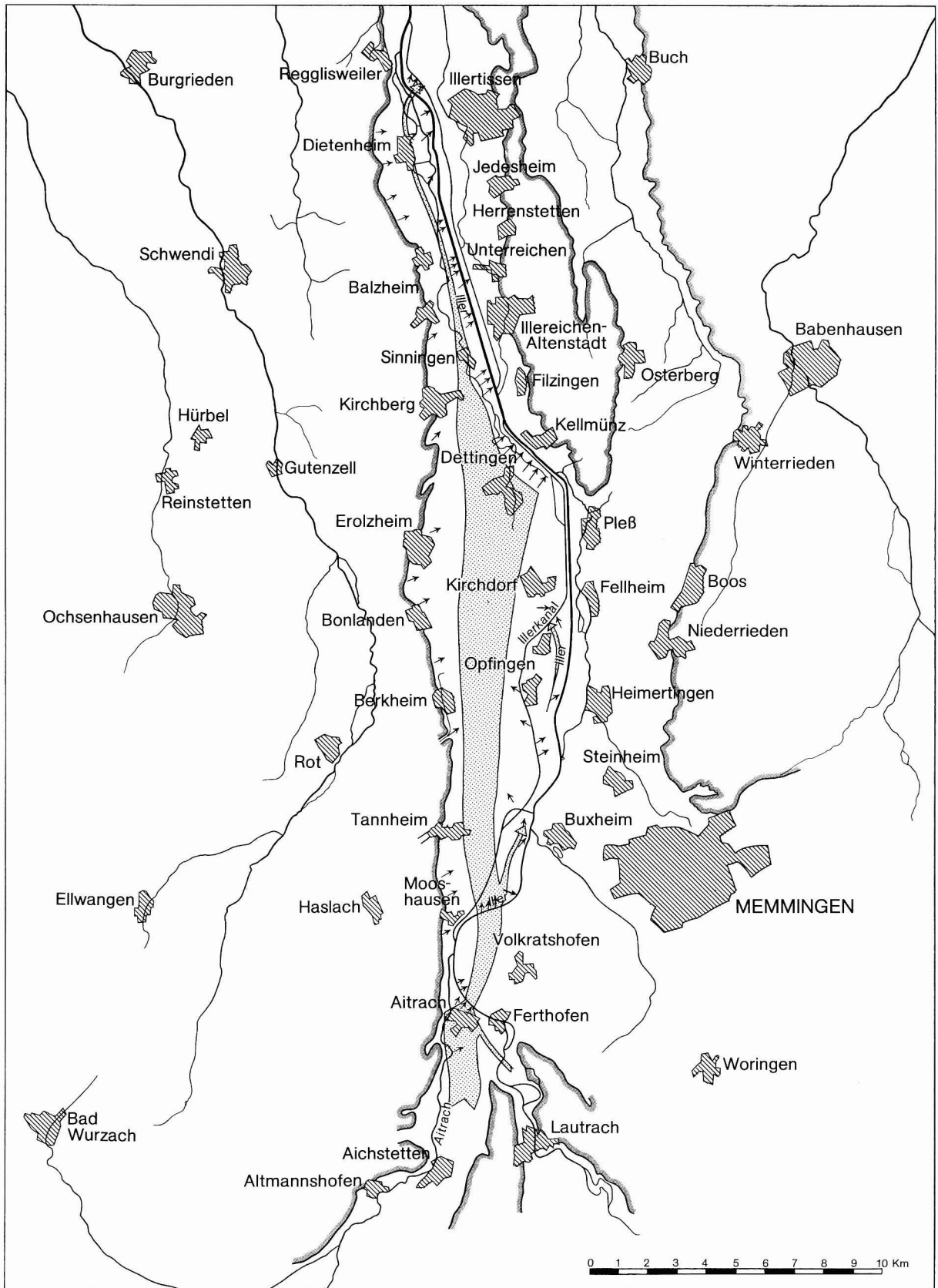


Abb. 4.8 Stromlinienplan des Grundwassers

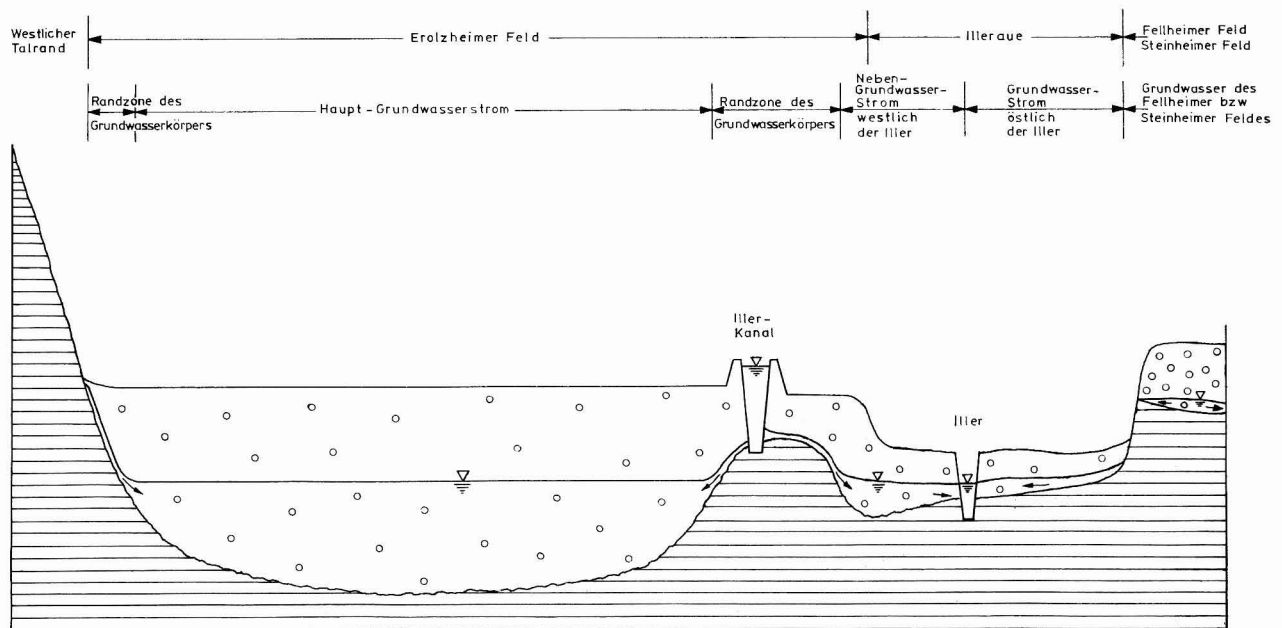


Abb. 4.9 Schematischer Querschnitt des Illertals in Höhe von Oberopfingen

4.2.2 Grundwasserstände

4.2.2.1 Entwicklung der Grundwasserstände seit der Illerkorrektur

Das Absinken der Illerwasserstände als Folge der Illerkorrektur hat sich im Untersuchungsgebiet unterschiedlich auf die Grundwasserstände ausgewirkt. BUCHWALD [2,3] gibt Grundwasserabsenkungen zwischen 0,6 bis 3,5 m an, die sich jedoch nur zum Teil auf die Vegetation ausgewirkt haben, weil bereits vor der Illerkorrektur in einigen Gebieten die Flurabstände sehr groß waren (Tab. 4.6). Der Rückgang der Grundwasserstände hatte ein vollständiges bzw. teilweises Versiegen einiger durch Grundwasser gespeister Gewässer im Erolzheimer Feld zur Folge.

	Flurabstände vor der Iller- korrektur (m)	Flurabstände heute (m)	Grundwasserabsenkung (m)	Beeinflusste das Grundwasser vor der Illerkorrektur die Vegetation?	Schrifttum
Alluviale Talstufe Illergieß	0,3–2,0 Mittel 1,2	1,8–4,2 Mittel 3,5	0,6–3,5 Mittel 2,0	ja	[2, 3]
Sinninger Niveau	0,3–1,8 Mittel 1,0	0,9–4,4 Mittel 2,6	0,6–3,2 Mittel 1,7	ja	[2, 3]
Südl. Dietenheim	0,5–2,5 Mittel 1,0	2,5–4,0 Mittel 3,0	1,0–3,0 Mittel 1,7	ja	[5]
Niederterrasse Illertissener Feld	1,1–1,6 Mittel 1,5	2,4–4,5 Mittel 3,3	1,4–2,8 Mittel 2,2	nur bei tief- gründigem Mergel	[2, 3]
Erolzheimer Feld- Ost	0,7–4,1 ^{x)} Mittel 3,0	5,5–8,2 Mittel 6,4	1,5–2,1 Mittel 1,6	nein	[2, 3]
Erolzheimer Feld- West		5,2–15,7 Mittel 10,4	2,0 ^{xx)}	nein	[2, 3]

^{x)} Nur in wenigen Aufschlüssen feststellbar

^{xx)} Nur in der Kiesgrube Erolzheim festgestellt

**Tabelle 4.6 Veränderung der Grundwasserverhältnisse
als Folge der Illerkorrektur**

Durch den Bau des Illerkanals zwischen Mooshausen und Dettingen in den Jahren 1921 bis 1927 wurden die Grundwasserstände angehoben. Bei einem ersten Füllversuch im Illerkanal im August 1922 versickerte ein Großteil des Wassers. Die rasche Selbstdichtung des Kanalbettes verminderte die Wasserverluste schnell. Ein Vergleich zwischen den mittleren Wasserständen in den Jahren 1925 bis 1932, d.h. wenige Jahre nach Inbetriebnahme des Kanals, und dem Mittelwasser 1960 bis 1969 an den vom Betreiber des Kraftwerkes im Erolzheimer Feld zwischen Illerbachen und Kirchberg eingerichteten Meßstellen zeigt, daß die Grundwasserstände um nahezu einen Meter gefallen sind, wobei der stärkste Rückgang unmittelbar am Kanal festzustellen ist (Abb. 4.10). Im Bereich Dettingen hat die Wasserführung der Gräben, die dort die Vorflut für das Grundwasser bilden, deutlich abgenommen; dagegen sind die Grundwasserstände nur geringfügig zurückgegangen.

Durch den Bau der Wehre und Schwellen in der Iller wurden, wo immer der Fluß Kontakt mit dem Grundwasser hat, die Grundwasserstände zuerst angehoben, anschließend sanken sie langsam wieder ab, wobei ein Teil der Grundwasseranhebung wieder verloren ging.

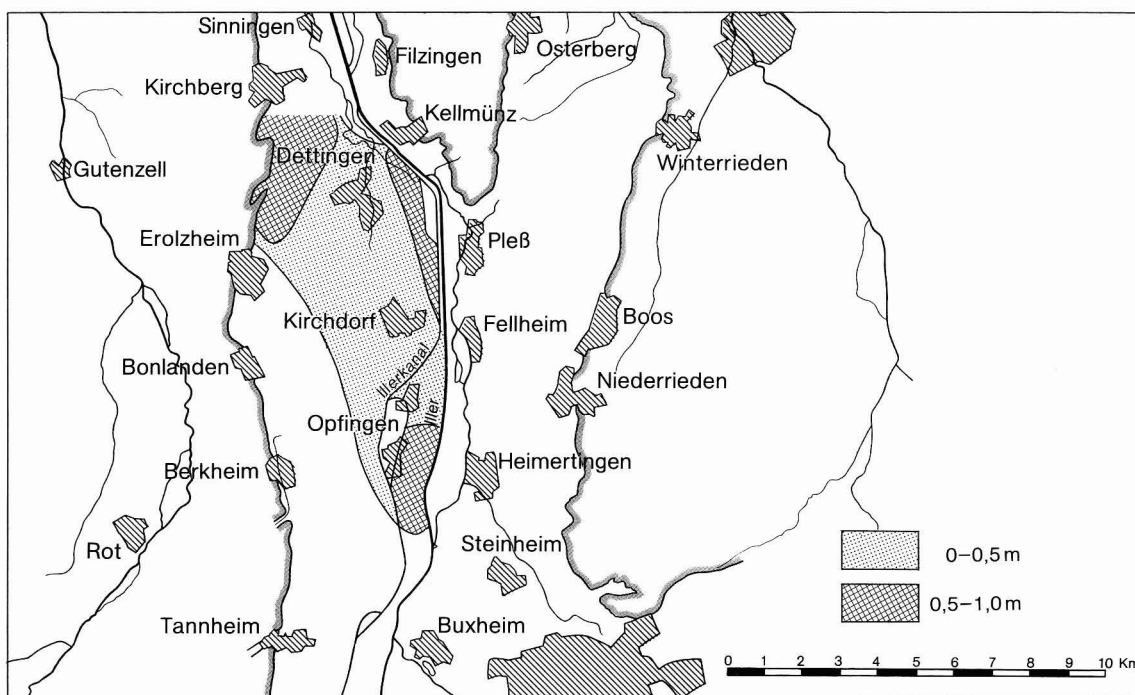


Abb. 4.10 Rückgang der Grundwasserstände von 1925/32 bis 1960/61

Die Auswirkungen des Einstaues der Schwelle Mooshausen auf das Grundwasser des südlichen Erolzheimer Feldes lassen sich beispielhaft an der Ganglinie des Grundwasserstandes in der Meßstelle 117 770 (Abb. 4.11) zeigen. Als im Jahre 1957 der Stau errichtet wurde, stiegen die Grundwasserstände um etwa 2 m an. In den folgenden Jahren bis 1961 waren die Grundwasserstände starken Schwankungen unterworfen, die durch das häufige Leeren und Füllen der Stauhaltung verursacht wurden. Ab 1961 wurde der Stauspiegel konstant gehalten. Die Abnahme der Infiltration aus der Stauhaltung als Folge der Selbstdichtung des Gewässerbettes ließ die Grundwasserstände bis 1976 wieder um nahezu 1 m absinken.

Auch nördlich des Filzinger Wehres konnten die Grundwasserstände durch die Schwellen in der Iller zunächst stark angehoben werden. Da, anders als bei Mooshausen, hier die Iller insgesamt Vorfluter für das Grundwasser ist und nur streckenweise ins Grundwasser einspeist, wirkt sich die Selbstdichtung des Illerbettes auf die Grundwasserstände weniger aus. Hier war hauptsächlich die Sohlenerosion unterhalb der jeweils letzten Schwelle und das damit verbundene Absinken der Illerwasserstände die Ursache für einen Rückgang der Grundwasserstände. Dabei reagierten die Grundwasserstände unterschiedlich. Als 1958 die Iller durch die feste Schwelle bei km 29 + 116 aufgestaut wurde, stieg dort das Grundwasser um über 2 m an. Die nahezu gleichzeitige Fertigstellung der Schwelle bei km 27 + 100 stabilisierte unterhalb km 29 + 116 die Illerwasserstände und verhinderte, wie die Ganglinie der Meßstelle 105 768 zeigt (Abb. 4.11), ein Absinken der Grundwasserstände südlich Sinnlingen.

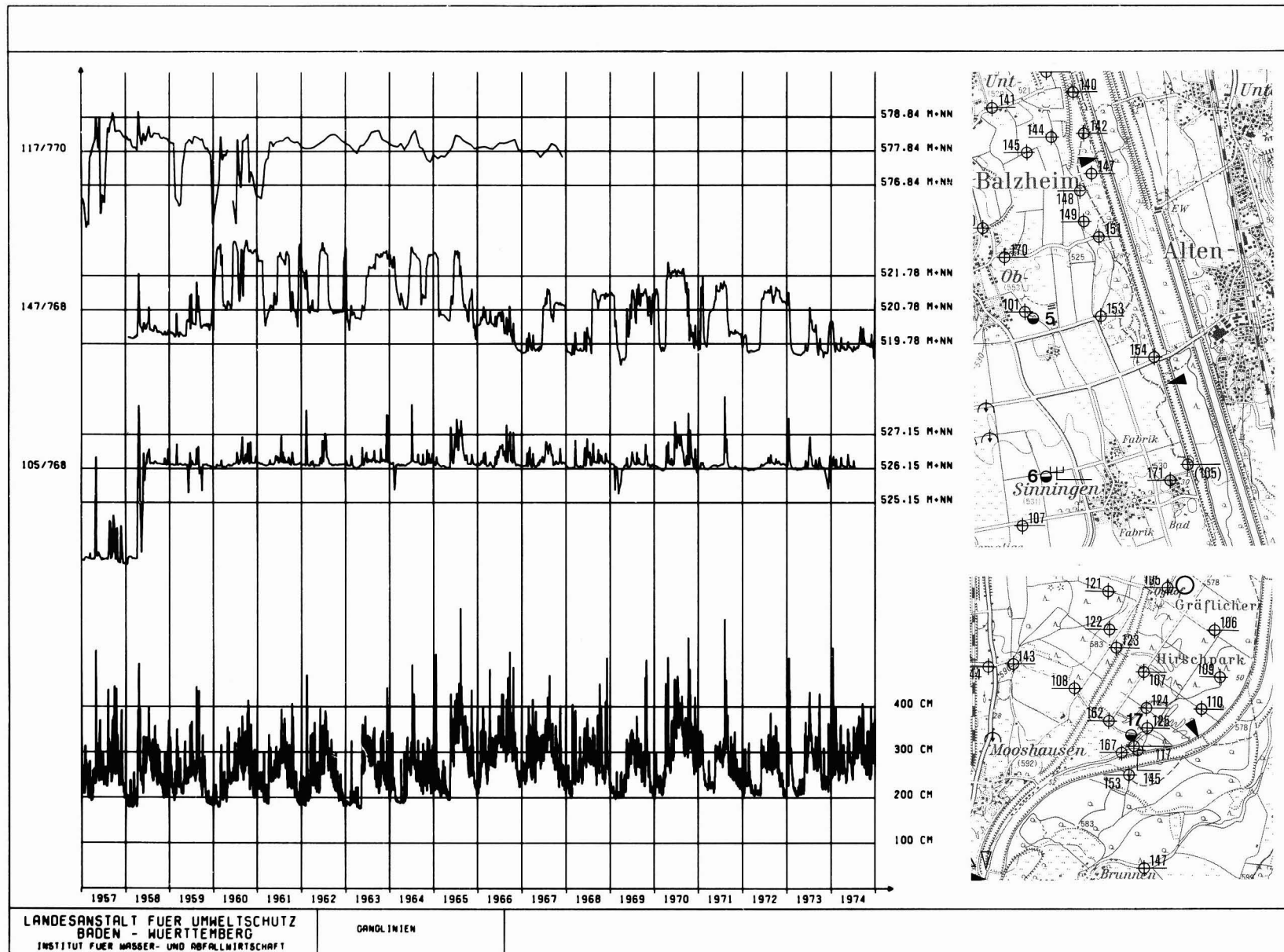


Abb. 4.11 Ganglinie der Iller und der Grundwasserstände

Im Gegensatz hierzu konnten nördlich Sinnigen die Grundwasserstände durch den Bau der Schwellen nicht dauerhaft angehoben werden. Nachdem als Folge des Einstaus der Schwelle 27 + 100 im Jahre 1960 die Grundwasserstände zunächst gleichfalls angestiegen waren, sanken sie anschließend, insbesondere in den Jahren 1965 und 1966, als Hochwässer die Illersohle ungewöhnlich stark erodierten, wieder ab. Die Ganglinie der Meßstelle 147 768 zeigt beispielhaft dieses Grundwasserverhalten (Abb. 4.11). Zwar wurde durch den Bau der Schwelle bei km 25 + 200 das weitere Absinken der Illerwasserstände im Oberwasser unterbunden, unterhalb der Schwelle 25 + 200 schritt die Sohlenerosion jedoch verstärkt fort und entsprechend gingen die Grundwasserstände zurück.

4.2.2.2 Gegenwärtiges Verhalten der Grundwasserstände

Die Charakteristik der Grundwasserganglinien wird geprägt durch drei maßgebende Einflüsse:

- Illerwasserstände
- einzelne Niederschlagsereignisse
- das langzeitige Niederschlagsgeschehen

Dort, wo die Iller Kontakt mit dem Grundwasser hat, werden die Grundwasserstände von den Illerwasserständen beeinflusst.

Bei Ferthofen und nördlich Kirchberg, jeweils im Bereich der Wurzeln der einzelnen Stauhaltungen, ist die Iller Vorfluter für das Grundwasser. Die Grundwasserganglinien verlaufen dort nahezu parallel und synchron zu denen der Iller. Beispielhaft zeigen dies die Ganglinien der Meßstelle 135 768 und der Illerpegel bei km 25 + 210 (Abb. 4.12). Neben dem Einfluß der Hochwässer lassen die Meßstellen nördlich Sinnigen, d.h. im Bereich der Schwellen mit beweglichen Klappen bei km 27 + 100 und 25 + 200 den Einfluß der Wehrklappenstellung erkennen (Abb. 4.11).

Oberhalb der Schwelle Mooshausen, wo der Illerwasserspiegel über dem Grundwasser liegt, speist die Iller das Grundwasser; Illerhochwässer verstärken diese Infiltration. Die Grundwasser- und die Illerwasserstände verlaufen hier nicht in gleichem Maße synchron wie bei der Meßstelle 135 768, und die Spitzen der Grundwasserganglinien sind weniger ausgeprägt (Abb. 4.13); mit wachsender Entfernung von der Iller nimmt deren Einfluß auf die Grundwasserstände schnell ab.

In den Bereichen geringer Grundwassermächtigkeit im Raum Dettingen, zwischen Illerkanal und Iller sowie teilweise am westlichen Talrand zeigt sich in den Ganglinien der Einfluß einzelner Niederschlagsereignisse. Die Grundwasserstandsschwankungen sind weniger ausgeprägt als bei den Meßstellen im Bereich der Iller. Die Reaktion auf Niederschläge und Schneeschmelze erfolgt jedoch gleichfalls sehr rasch (Abb. 4.14).

Die Größe der Wasserstandsänderung ist unterschiedlich. Im Bereich der hohen Niederschläge und des Randzustroms bei Mooshausen beispielsweise ist die Reaktion der Wasserstände auf Niederschlagsereignisse doppelt so heftig wie im Norden bei Dettingen, wo verschiedene Grundwasservorfluter den Grundwasseranstieg begrenzen. Auch zwischen Iller und Illerkanal sind wegen der wechselnden Grundwassermächtigkeit die Amplituden und die Form der Ganglinien gleichfalls unterschiedlich, wie die Ganglinien der Meßstellen 116 769, 113 769 und 113 768 beispielhaft zeigen (Abb. 4.15).

Mit wachsendem Abstand vom Talrand werden die Grundwasserstände zunehmend vom langzeitigen Niederschlagsgeschehen beeinflusst (Meßstelle 113 768). In Feldmitte schließlich prägen überwiegend der wechselnde Zustrom vom Süden und das langzeitige Niederschlagsgeschehen den Grundwassergang. Die Ganglinien zeigen im allgemeinen einen Jahresgang. Außerdem sind die Auswirkungen von Naß- bzw. Trockenjahren zu erkennen. Diese Wasserstandsschwankungen sind deutlich höher als die, welche durch das aktuelle Niederschlagsgeschehen hervorgerufen werden. Beispielhaft ist dieses Verhalten an den Ganglinien der Meßstellen 103 769, 118 769 und 104 769 zu erkennen (Abb. 4.16).

Die hohen Grundwasserstände treten in der Regel im Sommer auf, als Folge der Schneeschmelze im Frühjahr und der hohen Niederschläge im Frühsommer (Bild 4.17).

Die Grundwasserstände in der Mitte des Erolzheimer Feldes sind im wesentlichen maßgebend für die Menge des im Erolzheimer Feld gespeicherten Grundwassers. Die Ganglinie dieses Grundwasserspeichers ist in Abb. 4.18 dargestellt. Bei der Berechnung des Speicherinhalts wurde nur

das Grundwasser des Hauptgrundwasserstroms zwischen Mooshausen und Kirchberg berücksichtigt. Als speichernutzbarer Hohlraumanteil des Grundwasserleiters liegt der Berechnung $n = 0,1$ zugrunde.

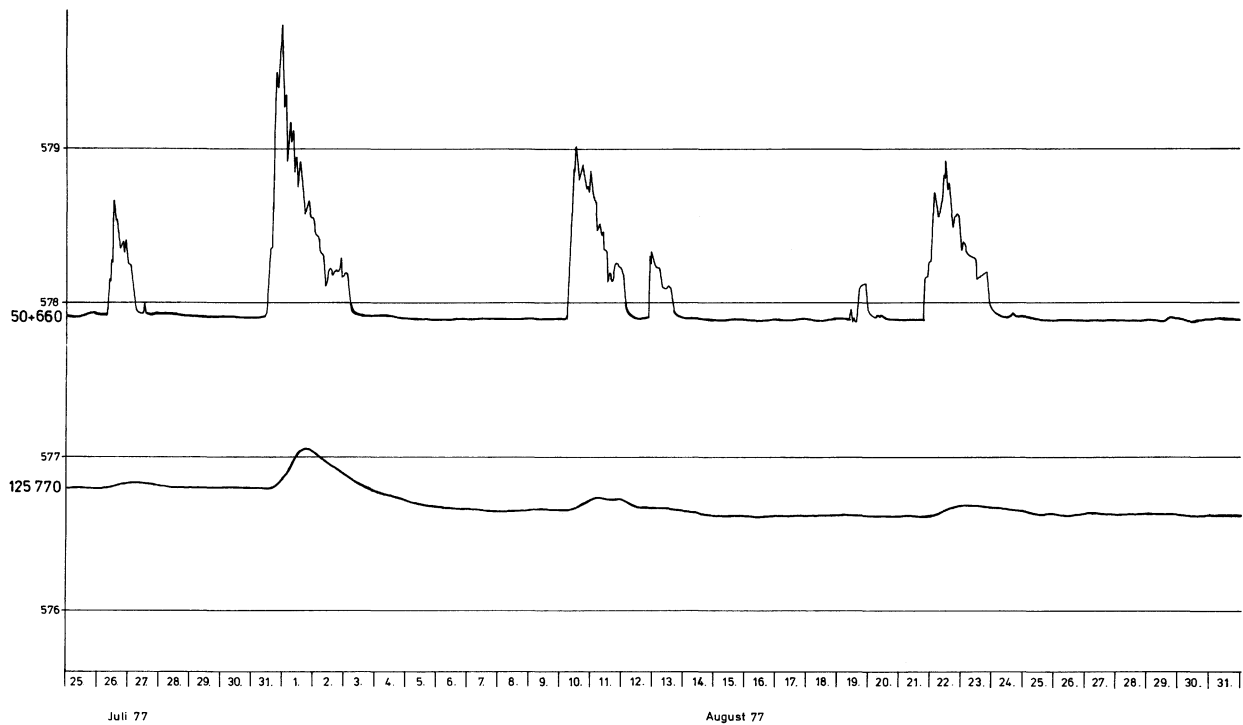


Abb. 4.12 Ganglinien des Illerpegels km 25 + 210 und der Grundwassermeßstelle 135 768

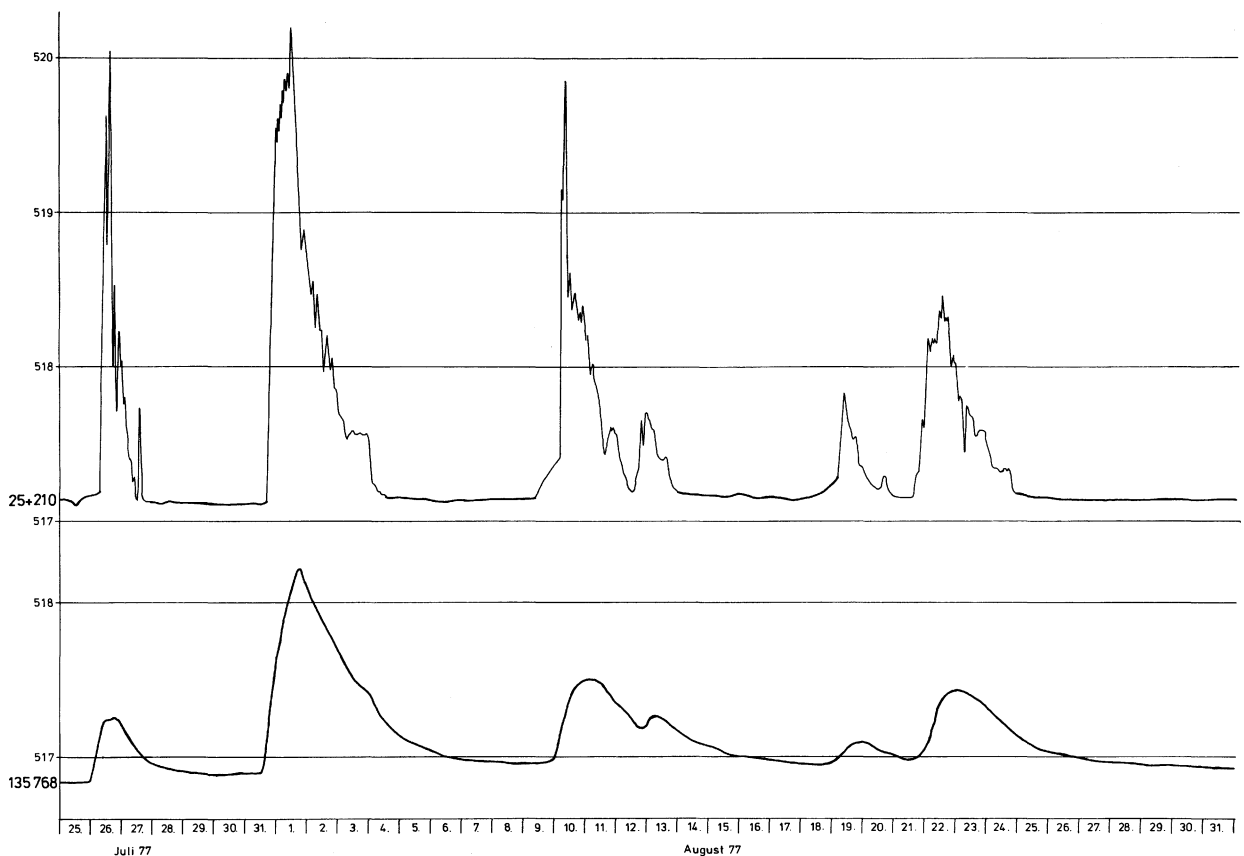


Abb. 4.13 Ganglinien des Illerpegels km 50 + 660 und der Grundwassermeßstelle 125 770

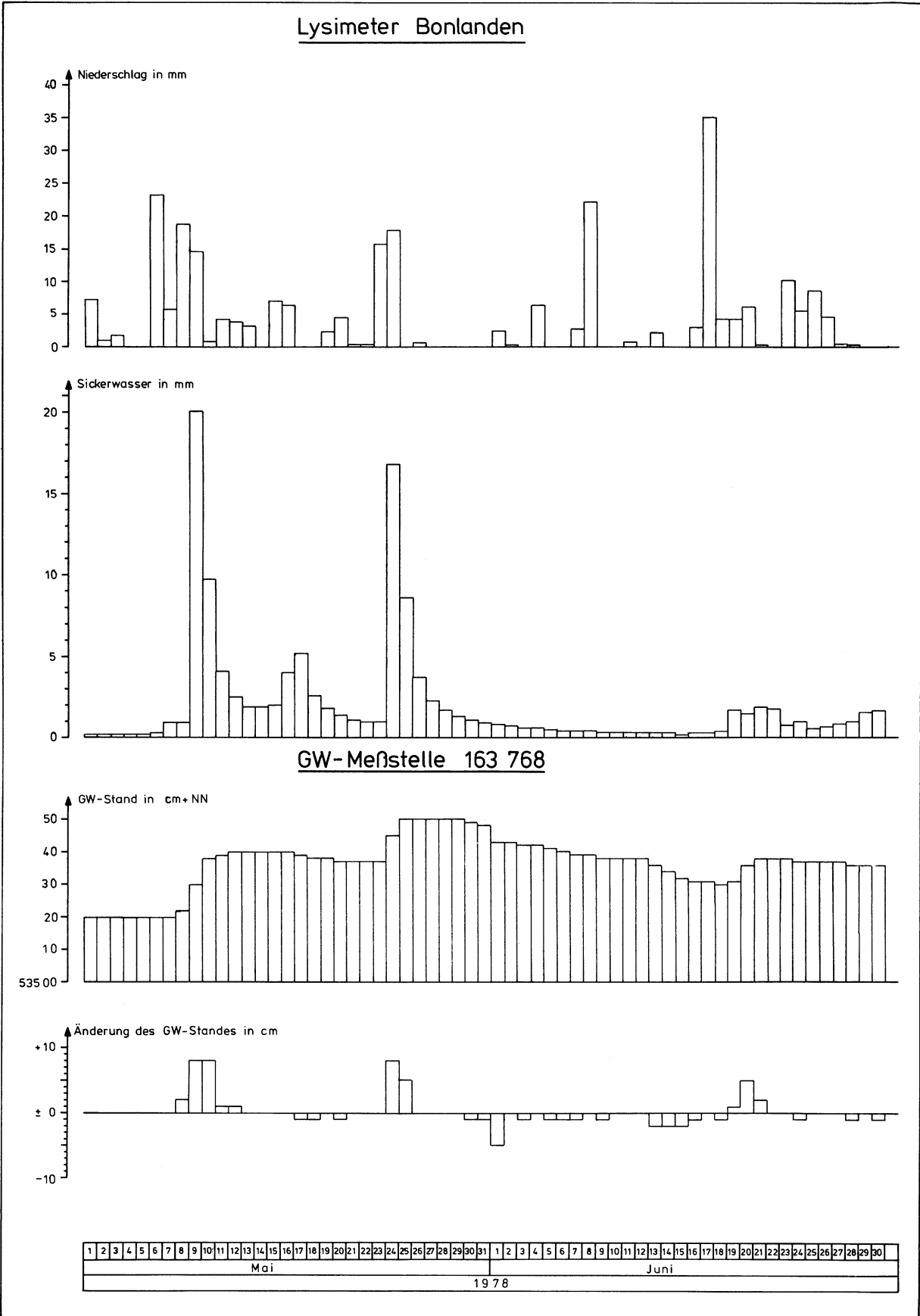


Abb. 4.14 Einfluß von Niederschlagsereignissen auf die Sickerung am Lysimeter Bonlanden und die Grundwasserstände an der Meßstelle 163 768

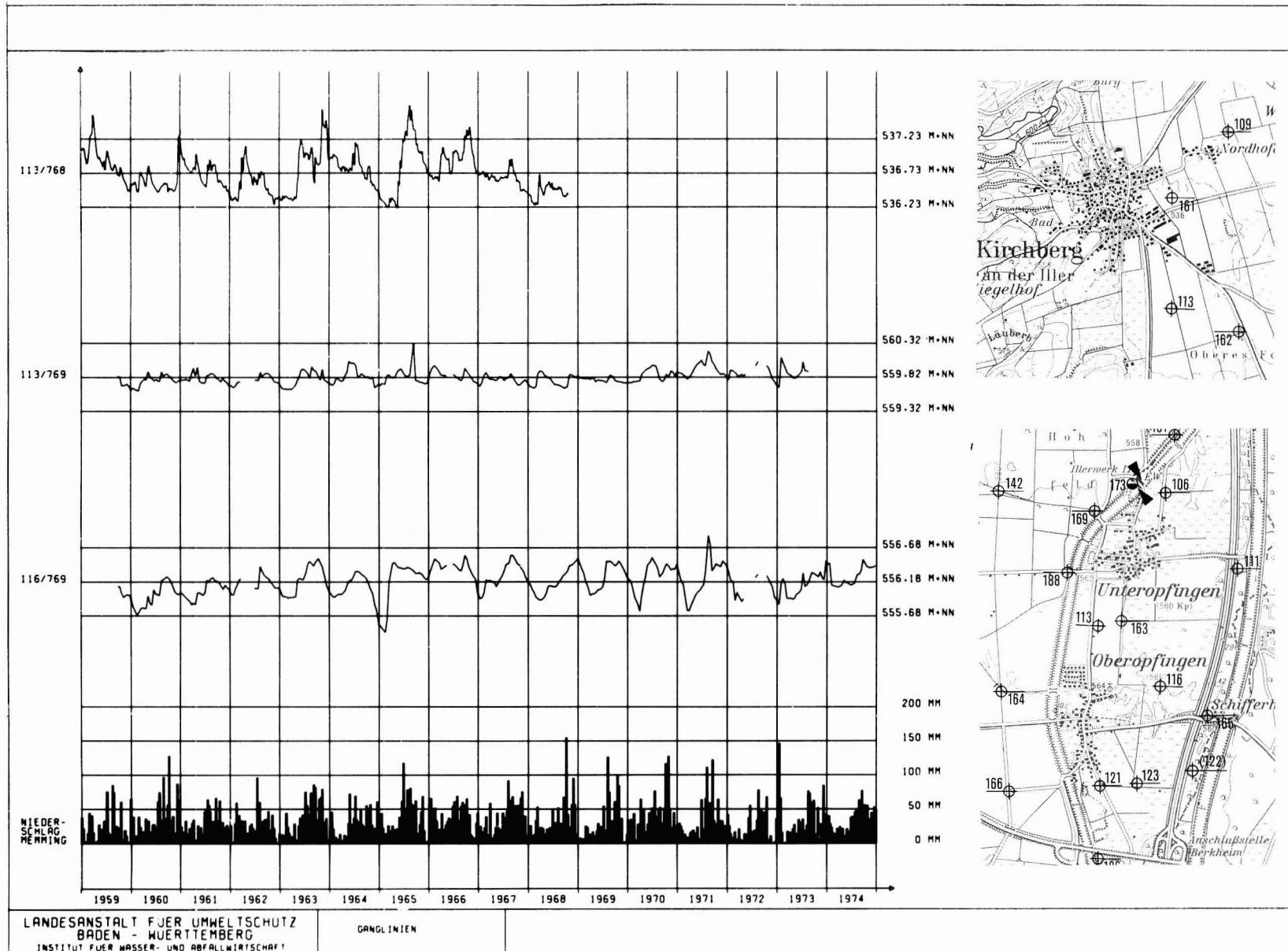


Abb. 4.15 Ganglinie der Grundwasserstände an den Meßstellen 116 769, 113 769, 113 768 und Monatssumme der Niederschläge

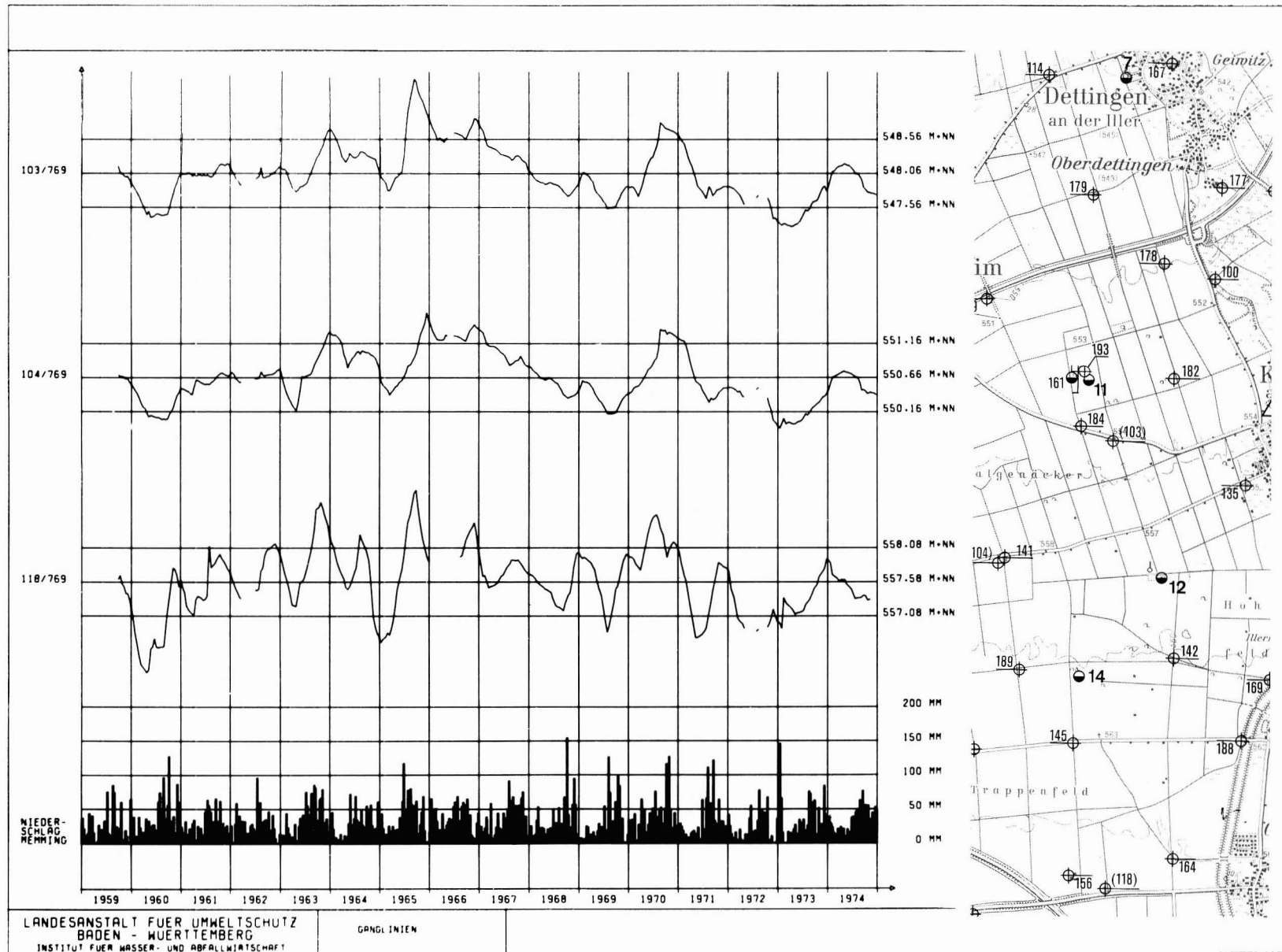


Abb. 4.16 Ganglinie der Grundwasserstände an den Meßstellen 103 769, 104 769, 118 769 und Monatssumme der Niederschläge

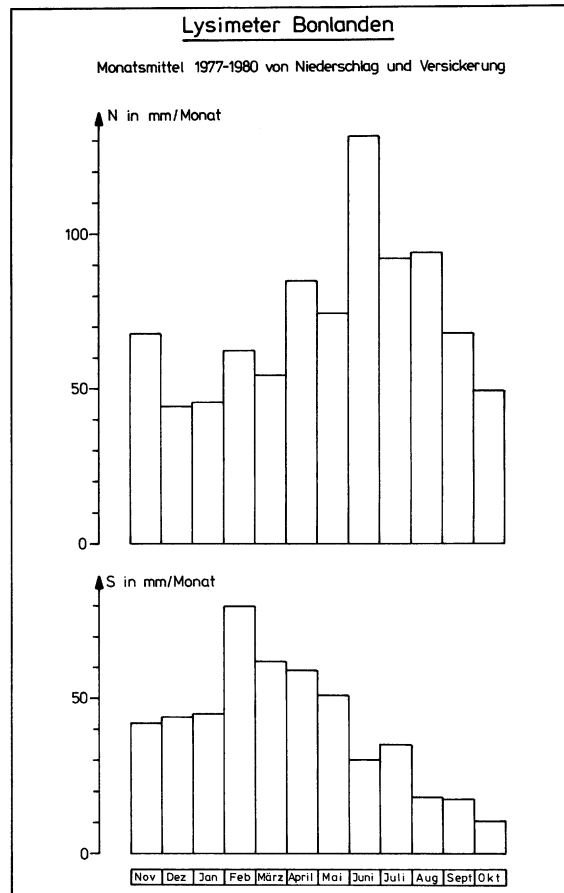


Abb. 4.17 Mittlere monatliche Niederschlags- und Sickerungshöhen am Lysimeter Bonlanden (Sommer 1976 bis Winter 1980)

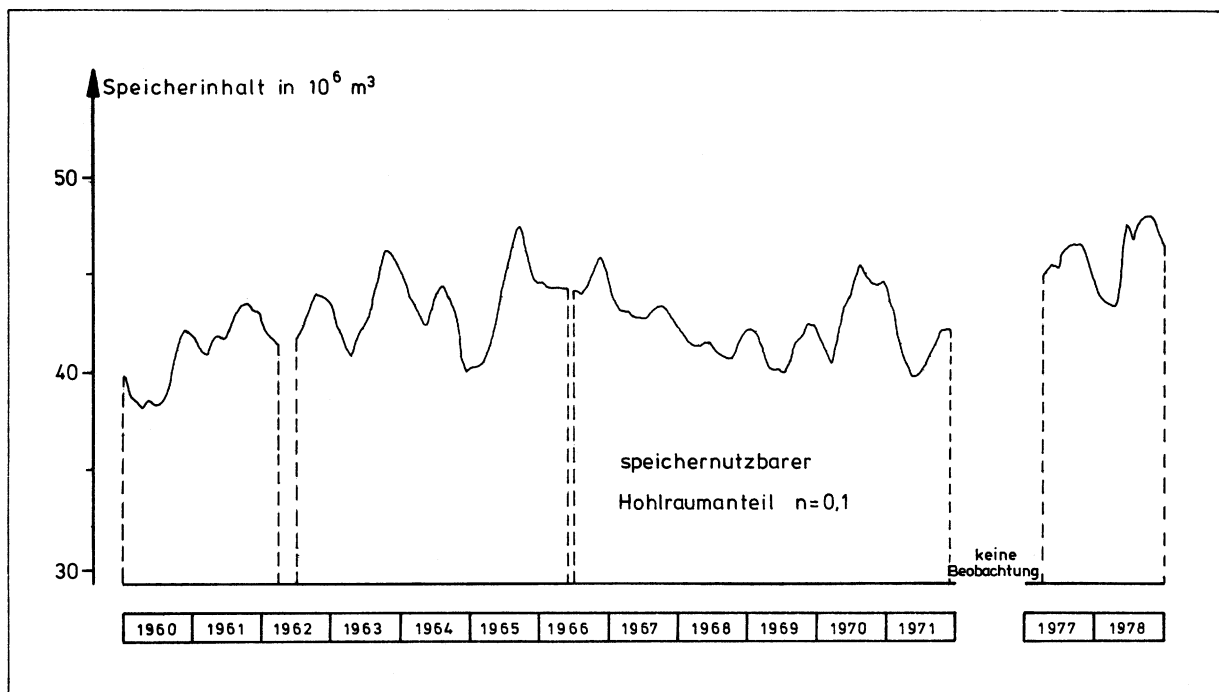


Abb. 4.18 Speicherinhaltsganglinie des Hauptgrundwasserstromes zwischen Mooshausen und Kirchberg

4.2.3 Grundwasseroberfläche (Karte III)

4.2.3.1 Der Karte der Grundwasseroberfläche zugrundeliegende Unterlagen

Der Karte der Grundwasseroberfläche für den Stichtag vom 26. 9. 1977 liegen neben den Daten des amtlichen Grundwassermeßnetzes noch Wasserstandsmessungen an zwei weiteren privaten Meßstellen und 16 Grundwasserblänken (Baggerseen) sowie an Pegeln der Iller zugrunde. Die beobachteten Meßstellen sind in Karte III eingetragen. Außerdem wurden zur Konstruktion der Grundwassergleichen Meßwerte früherer und erst später eingerichteter Meßstellen herangezogen. Die Grundwasserhöhen sind auf NN des Neuen Deutschen Höhennetzes bezogen.

4.2.3.2 Grundwassergleichen, -fließrichtung und -gefälle

Die Grundwasserstände am 26. 9. 1977 lagen im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes etwas unter dem langjährigen Mittel der Jahre 1960 und 1969. Insbesondere am Talrand stand das Grundwasser teilweise über einen Meter tiefer als im langjährigen Mittel, eine Folge der geringen Grundwasserneubildung aus Niederschlag in der Zeit vor dem Stichtag und der somit verminderten Zusickerung vom Hang. In Feldmitte, südlich Bonlanden, lagen die Grundwasserstände am Stichtag etwa 0,5 m unter dem Mittelwert der Jahre 1960 bis 1969, nördlich Bonlanden geringfügig darüber.

Vergleichsweise niedrig stand das Grundwasser nördlich Sinnigen, weil die Wehrklappen der Schwellen bei Iller-km 25 + 200 und 27 + 100 abgesenkt waren. Die Wasserstände am 26. 9. 1977 sind in den Ganglinien (Abb. 4.12) eingetragen.

Im Süden bei Aitrach liegen die Grundwassergleichen im Aitrachtal sehr eng beieinander, das Gefälle beträgt teilweise über 5‰, nördlich der Iller bei Ferthofen rücken sie unvermittelt auseinander, das Gefälle geht auf etwa 2‰ zurück. Dieser plötzliche Gefällewechsel ist eine Folge der Grundwasseraustritte in der Iller und des sich dadurch verringernden Grundwasserabflusses (vgl. Kap. 4.3.4.1).

Unmittelbar unterhalb des Wehres Mooshausen verläuft der Illerkanal in der Molasse; vom Hang zuströmendes Grundwasser wird durch den Kanal gestaut. Etwa 500 m unterhalb des Wehres taucht die Molasse unter die Kanalsohle ab und das vom Hang kommende Grundwasser kann durch die Schotter unter der Kanalsohle der Iller zufließen. Die Temperaturen der gestauten Iller zeigen diesen Grundwasserzustrom deutlich. Auf die grundwasserstauende Wirkung dieses Kanalstückes hat bereits SCHAEFER [72] hingewiesen.

Nördlich der Illerquerung bei Mooshausen erhöht sich das Grundwassergefälle auf 2,4‰; der Grundwasserstrom wird durch Einspeisung aus der Iller und durch Zustrom vom Hang verstärkt. Bei Kronwinkel steigt die Grundwasseroberfläche zum Hang hin stark an. Das Grundwassergefälle entspricht dort etwa der Neigung der Sohlschicht des Grundwasserleiters. Dieser Bereich ist der Randzone des Grundwasserkörpers zuzurechnen (vgl. Kap. 4.2.1), wobei im Vergleich mit dem übrigen Randgebiet hier der Zustrom vom Hang besonders groß ist (vgl. Kap. 4.3.3).

Nördlich des Staubeckens beim Werk II Tannheim, wo der Grundwasserstrom durch die über die Oberfläche des Grundwassers hinausragende Molasseschwelle geteilt wird, verläuft der Hauptgrundwasserstrom im Bereich der Tiefen Aitrach-Rinne, d.h. westlich dieser Molasseschwelle (vgl. Kap. 2.2.4).

Ein kleiner Teil des Stromes fließt östlich der Schwelle weiter und tritt in die Iller und in den Verbindungskanal zwischen Iller und Illerkanal bzw. in einen dort mündenden Entwässerungsgraben aus. Nördlich des Verbindungskanals zwischen Illerkanal und Iller ist die Grundwassermächtigkeit sehr gering. Möglicherweise ragt auch an einigen Stellen die Molasse über die Grundwasseroberfläche empor. In der Karte III ist in diesem Gebiet Grundwasser eingetragen, das nicht durch Messungen nachgewiesen ist.

Nördlich der alten B 312 zwischen Iller und der Molasseschwelle bildet sich ein gegenüber dem Hauptgrundwasserstrom unbedeutender zweiter Grundwasserstrom, der durch versickernde Niederschläge und, wie die Grundwassergleichen und teilweise auch die Grundwasserganglinien und Temperaturmessungen zeigen, durch Zusickerungen aus dem Illerkanal gespeist wird.

Das Grundwasser bei Egelsee, zwischen dem Scheitel des Molasserückens und dem Illerkanal, fließt nördlich der alten B 312 Berkheim – Steinheim, wo die Molasseschwelle unter die Grundwasseroberfläche und unter die Illerkanalsole abtaucht, vermutlich sowohl dem Hauptgrundwasserstrom als auch dem Grundwasserstrom längs der Iller zu.

Trotz der dort fehlenden Trennung zwischen den beiden Grundwasserströmen zeigen die Grundwassergleichen keinen Wasseraustausch zwischen dem Hauptgrundwasserstrom und dem Grundwasser östlich der Molasseschwelle, vielmehr bildet der Illerkanal durch seine Einspeisung ins Grundwasser eine Grundwasserscheide (Kap. 4.3.4.2). Eine gegenseitige Beeinflussung der Grundwasserstände beiderseits des Kanals wird, wie sich bei einem Pumpversuch 1979/1980 zeigte, dadurch jedoch nicht unterbunden.

Nördlich Illerkanal-km 8 wechselt der Scheitel der Molasseschwelle auf die östliche Kanalseite und folgt etwa der Straße Oberopfingen-Unteropfingen, wobei er ab Oberopfingen wieder über die Grundwasseroberfläche emporsteigt. Das zwischen dem Scheitel der Molasseschwelle und dem Kanal aus Niederschlag gebildete und vom Illerkanal gespeiste Grundwasser fließt längs des Kanals dem Unterwasser des Illerwerks III zu.

Nördlich der Straße Unteropfingen – Bonlanden fällt die Molasseschwelle steil ab. Der Grundwasserstrom, welcher sich zwischen der Schwelle und der Iller gebildet hat, tritt zum größten Teil unterhalb des Illerwerkes III in den Illerkanal aus.

Im Erolzheimer Feld in Höhe von Bonlanden vergrößert sich der Durchflußquerschnitt des Grundwassers. Damit verbunden ist eine Abnahme des Grundwassergefälles auf etwa 2‰.

Bei Dettingen erhöht sich das Gefälle als Folge des verringerten Durchflußquerschnittes und des zunehmenden Abflusses erneut.

Am Talrand zwischen Erolzheim und Bonlanden verlaufen die Grundwassergleichen nahezu hangparallel. Dort fließt dem Illertal Grundwasser in den „Erolzheimer Sanden“ zu (vgl. Kap. 2.5 und 4.3.3). Das große Gefälle wird durch die wesentlich kleinere Durchlässigkeit dieses Grundwasserleiters gegenüber dem Talschotter verursacht.

Bei Klein-Kellmünz schwenken die Grundwassergleichen nahezu parallel zum Illerkanal, eine Folge der Grundwasseraustritte in Illerkanal und Iller (vgl. Kap. 4.3.4.1). Das verbleibende Grundwasser fließt westlich der Iller weiter. Jeweils unterhalb der Wehre und Schwellen tritt Grundwasser in die Iller und den Illerkanal östlich der Iller aus. Diese Grundwasseraustritte haben erhebliche Auswirkungen auf die Grundwasserstände (vgl. Kap. 4.3.4.2).

In der Talerweiterung nördlich Unterbalzheim verlaufen die Grundwassergleichen erneut nahezu hangparallel. Die Ursache hierfür liegt sowohl in einem stärkeren Zustrom vom Hang als auch in der geringen Mächtigkeit und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters.

Nördlich Dietenheim unterströmt das Grundwasser die Iller und tritt unterhalb des Kraftwerkes Illertissen größtenteils in den Illerkanal aus.

4.2.4 Grundwasserflurabstände (Karte IV)

4.2.4.1 Der Karte der Grundwasserflurabstände zugrundeliegende Unterlagen

Zur Ermittlung der Flurabstände, der Differenz zwischen Geländehöhe und Grundwasseroberfläche am 26. 9. 1977 (Karte III), wurden die Geländehöhen der topographischen Karten im Maßstab 1 : 25 000 entnommen. Im Bereich der Illeraue, wo die Geländehöhen stärker wechseln, wurden teilweise auch Karten 1 : 10 000 herangezogen. In diesen Karten sind im württembergischen Teil Höhenlinien im Abstand 1,25 m, im bayerischen Teil teilweise nur im Abstand von 5 m vorhanden. Die für den bayerischen Teil der Karte angegebenen Flurabstände sind daher entsprechend ungenauer. Unter Berücksichtigung bekannter Höhen einzelner Punkte wurden die fehlenden Höhenlinien im Meterabstand durch Interpolieren ermittelt.

Die Geländehöhenlinien der Karten sind auf die alten Württembergischen und Bayerischen Höhennetze bezogen, die im Kartierungsgebiet zum Neuen Deutschen Höhennetz einen Niveauunterschied von etwa 30 bzw. 10 cm besitzen. Die Höhendifferenz zwischen den unterschiedlichen Be-

zugshorizonten für Gelände- und Grundwasserhöhen wurde bei der Ermittlung der Flurabstände berücksichtigt.

4.2.4.2 Flurabstände und Deckschichten

Entsprechend der morphologischen Gliederung in Niederterrasse und Flußbaue ergeben sich unterschiedliche Flurabstände. Im Bereich der Niederterrasse ist das Grundwasser von Schotterlagen in einer Mächtigkeit von 5 bis 15 m überlagert, im Illerbogen bei Volkrathshofen–Brunnen wächst die Überdeckung auf über 20 m an (höchstes Niveau der Niederterrassen, vgl. Kap. 1.1). Flurabstände unter 5 m sind in der Flußbaue längs der Iller, dem Illergieß, vorhanden, insbesondere im Bereich der alten Flußschlingen, welche als tiefliegende schmale Geländestreifen noch heute erkennbar sind. Im Flurabstandsplan sind die geringeren Flurabstände in diesen räumlich eng begrenzten Geländestreifen nicht berücksichtigt. Die Karte gibt generalisierend einen Überblick über die in den einzelnen Gebieten überwiegend vorhandenen Flurabstände.

Bei Dettingen und vor allem beim Staubecken des Illerwerkes IV steht das Grundwasser oberflächennah an. In den tiefliegenden Geländestreifen reicht das Grundwasser bis an die dort nur wenige Meter mächtige Deckschicht heran; stellenweise tritt Grundwasser in Gräben zu Tage (vgl. Kap. 4.1.3.2 und 4.3.4.3). In diesen Gebieten mit geringen Flurabständen ist das Grundwasser für die Vegetation von Bedeutung.

Am Talrand nördlich Erolzheim gehen die Flurabstände gleichfalls auf ca. 2 m zurück. BUCHWALD [2, 3] weist in seiner Kartierung der Grünlandgesellschaften in diesem Geländestreifen nasse bis feuchte Standorte nach. Auch im Bereich der hohen Flurabstände südlich Bonlanden hat BUCHWALD am Talrand Deckschichten mit den Wasserhaushaltsstufen naß bis feucht gefunden. Die gute Wasserversorgung dieser Deckschichten am Talrand ist jedoch nicht auf den Einfluß des Grundwassers, sondern auf Zusickerung vom Hang, verbunden mit einer guten Wasserhaltefähigkeit der dortigen Böden, zurückzuführen.

4.3 Grundwasserhaushalt

4.3.1 Zustrom bei Aitrach

Der Grundwasserstrom des Untersuchungsgebietes hat seinen Ursprung in der Leutkircher Heide, in den Tälern der Wurzacher Ach und der Eschach. Von dort folgt er dem Aitrachtal, das sich bei Altmannshofen verengt, wobei ein großer Teil des Grundwassers in die Aitrach austritt. Unmittelbar unterhalb dieser Engstelle ist der Grundwasserabfluß weitgehend konstant. Weiter talabwärts speisen die Aitrach und von den Hängen kommende Gewässer das Grundwasser. Hinzu treten die Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Aitrachtal sowie Grundwasserzuflüsse vom Talrand. In Höhe des Stausees bei Kardorf beträgt der mittlere Grundwasserabfluß im Aitrachtal etwa $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Das Illertal bei Kardorf besitzt eine wesentlich geringer mächtige Schotterfüllung als das Aitrachtal (vgl. Kap. 2.2.4). Der Stausee bei Kardorf reicht mit seiner Sohle bis in die Molasse und füllt nahezu den gesamten Talquerschnitt aus. Dadurch ist der Grundwasserstrom im Illertal weitgehend unterbrochen. Das Staubecken selbst ist nahezu dicht. Unterhalb des Beckens ist daher nur ein geringer Grundwasserabfluß vorhanden. Bei Ansatz des für das Aitrachtal ermittelten k_f -Wertes errechnet sich der Abfluß im Illertal zu etwa 50 l/s .

4.3.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Der Grundwasserstrom, der im Süden bei Aitrach in das Untersuchungsgebiet eintritt, wird durch Zuflüsse vom Rand des Illertales, durch Einspeisung aus Oberflächengewässern sowie insbesondere durch versickernde Niederschläge verstärkt.

Die Grundwasserneubildung aus Niederschlag wurde nach mehreren Verfahren ermittelt [30, 40, 41, 57].

1. Direkte Messung der Versickerung mit Lysimetern
2. Berechnung der Verdunstung aufgrund meteorologischer und bodenkundlicher Daten
3. Analyse der Abflußganglinie von Oberflächengewässern

Die in den Lysimetern gemessenen Jahresniederschlagshöhen und zugehörigen Sickerwerte sind in Abb. 4.19 dargestellt. Bei den angegebenen Niederschlagshöhen handelt es sich um korrigierte Meßwerte. Die Korrektur war erforderlich, weil die Niederschlagsmessung in 1 m Höhe an den windexponierten Lysimeterstandorten systematisch zu geringe Meßwerte ergibt.

Die Jahressickerhöhen sind je nach Größe der Jahresniederschlagshöhe und Lage der Lysimeter sehr unterschiedlich. Gemessen wurden Werte zwischen 948 mm/a entsprechend 30 l/s km² im Jahre 1978 am Lysimeter Aitrach und 282 mm/a entsprechend 8,9 l/s km² im Jahr 1977 am Lysimeter Egelsee. Als weitgehend repräsentativ für den zentralen Bereich des Kartierungsgebietes, das Erolzheimer Feld, sowohl hinsichtlich der Niederschlagshöhe als auch der bodenkundlichen Daten (Abb. 4.20), können die Lysimeter Bonlanden und Egelsee angesehen werden, wobei Egelsee mehr für die windexponierten, Bonlanden mehr für die windgeschützten Flächen steht.

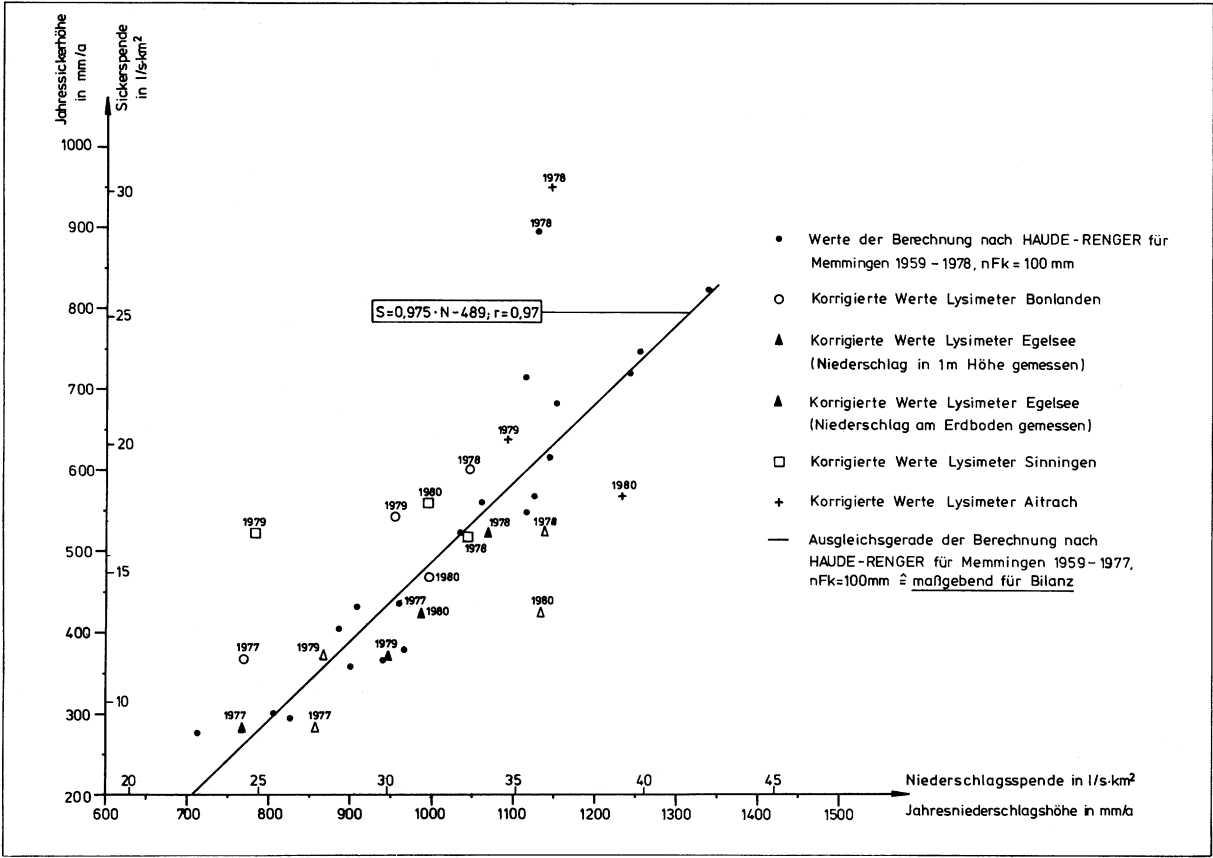


Abb. 4.19 Beziehung zwischen Niederschlag und Versickerung

Für die Berechnung der Verdunstung aufgrund meteorologischer und bodenkundlicher Daten wurde das Verfahren nach HAUDE und RENGHER herangezogen. Sofern, wie hier im Illertal, ein Oberflächenabfluß oder oberflächennaher Abfluß nicht vorhanden ist, kann der Teil des Niederschlages, welcher nicht durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre entweicht, der Grundwasserneubildung aus Niederschlag gleichgesetzt werden.

Der Berechnung wurden die meteorologischen Daten der Wetterstation Memmingen für den Zeitraum 1959 bis 1978 zugrunde gelegt. Die bodenkundlichen Daten der Deckschichten konnten den Arbeiten von BUCHWALD [2, 3] entnommen werden sowie den Deckschichtenuntersuchungen an den Lysimeterstandorten. Danach besitzt das Erolzheimer Feld eine lehmige Deckschicht aus etwa 1 m mächtigem Kiesverwitterungslehm (Abb. 4.20). Zum Talhang nimmt die Stärke der Deckschicht im allgemeinen etwas zu, zur Illeraue hin etwas ab (vgl. Kap. 2.6). Die nutzbare Feldkapazität beträgt im Mittel nFK = 85 mm [3].

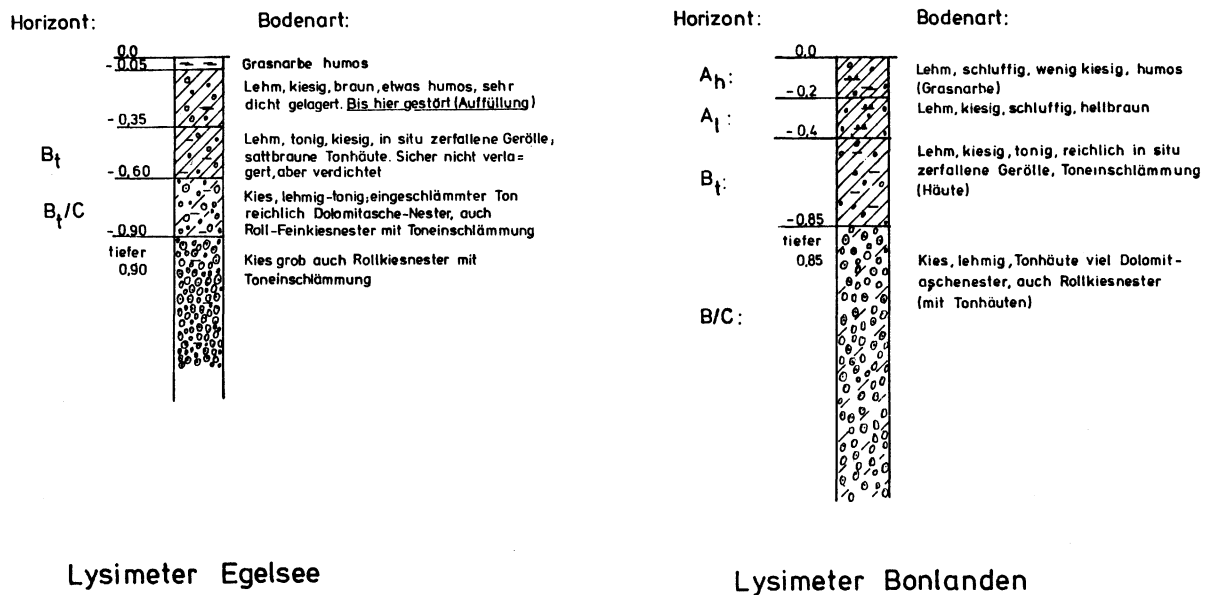


Abb. 4.20 Bodenprofile der Lysimeter Egelsee und Bonlanden

Im Illergieß und im Sinninger Niveau wechseln die lehmigen Deckschichten stärker. In den Illergießen geht ihre Mächtigkeit teilweise unter 10 cm zurück; teilweise steigt sie über 1 m an (vgl. Kap. 2.6). Als Mittelwert wurde der Berechnung der Grundwasserneubildung eine nutzbare Feldkapazität von 100 mm zugrunde gelegt.

Das Ergebnis der Berechnung ist in Abb. 4.19 dargestellt. Danach ergibt sich bei einer mittleren Jahresniederschlagshöhe im Erolzheimer Feld zwischen Mooshausen und Dettingen von etwa 900 mm eine Grundwasserneubildung von 390 mm/a oder etwa 12 l/s km².

Durch Analyse von Abflußganglinien ist es möglich, den Anteil des Gewässerabflusses zu bestimmen, der dem Grundwasser entstammt. Da im Untersuchungsgebiet selbst kein Einzugsgebiet liegt, das durch einen Abflußpegel kontrolliert wird, wurden der Analyse die Abflußdaten des Pegels Binnrot an der Rot zugrunde gelegt. Im Einzugsgebiet der Rot fallen etwa gleich hohe Niederschläge wie im Südteil des Untersuchungsgebietes; im Gegensatz zu diesem ist das Roteinzugsgebiet jedoch stärker bewaldet und hügelig; außerdem sind dort ältere und mächtige Bodenbildungen vorherrschend. Ausgewertet wurden die Abflußdaten der Jahre 1961 bis 77 nach dem Verfahren von WUNDT [85, 86].

Als maßgebender Niedrigstwasserabfluß wurde Mo MNQ = 1,3 m³/s ermittelt. Wird die Größe des unterirdischen Einzugsgebietes gleich der Größe des oberirdischen von 130 km² gesetzt, entspricht dies einer mittleren Grundwasserneubildung von 10,1 l/s km². Tatsächlich ist jedoch das unterirdische Einzugsgebiet merklich kleiner, weil im Bereich der Tannheimer Schotter das Rotgebiet unterirdisch zum Iller- und Aitrachtal entwässert vgl. Kap. 3.3. Außerdem ist der geringe Grundwasserstrom des Rottales nicht berücksichtigt. Der angegebene Wert ist somit als etwas zu niedrig anzusehen.

Die entsprechenden oberflächennahen Abflüsse und Oberflächenabflüsse betragen

$$MQ - MoMNQ = 1,9 - 1,32 = 0,58 \text{ m}^3/\text{s},$$

was einem Spendenwert von 4,5 l/s km² entspricht. Damit ergibt sich eine Gesamtabflußspende von 14,6 l/s km².

Der Vergleich der einzelnen Untersuchungsverfahren zeigt, daß die Messungen an den Lysimetern im Jahresmittel gut mit den Berechnungen nach HAUDE [40, 41] und RENGIER [69] übereinstimmen (Abb. 4.19). Die nach diesem Verfahren gefundene Beziehung zwischen Jahresniederschlag und Grundwasserneubildung kann somit für landwirtschaftlich genutzte Flächen den Bilanzbetrachtungen zugrunde gelegt werden.

In bewaldeten Gebieten ist die Verdunstung höher. BRECHTEL [1] nimmt bei Waldgebieten eine um 100 mm/a verminderte Grundwasserneubildung an. Neuere Messungen von SCHRÖDER [76] weisen auf noch höhere zusätzliche Verdunstung hin. Gewählt wurde für die Bilanzbetrachtung ein Abminderungswert von 150 mm/a. Aufgrund der Beziehung nach Abb. 4.19 und des Abminderungswertes von 150 mm/a ergibt sich für das zu einem Drittel bewaldete und von Böden mit hoher Feldkapazität bedeckte Einzugsgebiet der Rot bei einer mittleren Niederschlagshöhe von 1 060 mm/a eine nach Abzug der Verdunstung verbleibende effektive Niederschlagshöhe von 495 mm/a, was einer Gesamtabflußspende von 15,6 l/s km² entspricht. Dieser Wert ist zu vergleichen mit der Abflußspende am Pegel Binnrot von $M_q = 14,6 \text{ l/s km}^2$.

4.3.3 Zustrom von den Talrändern

Vom westlichen Talrand fließt dem Illertal in erheblichem Umfang Grundwasser zu. Dabei sind drei Arten des Zustromes zu unterscheiden:

- Zustrom über der Molasse
- Zustrom durch die Molasse im Bereich der Erolzheimer Sande
- Zustrom durch die Molasse (Normalfazies außerhalb der Erolzheimer Sande).

Von größter Bedeutung ist der Zustrom über der Molasse. Der Höhenrücken, der das Illertal im Westen begleitet und vom Rottal trennt, ist zum Teil mit Schottern des älteren Pleistozän überlagert. Das in diesen Schottern versickernde Niederschlagswasser tritt in einem Quellhorizont an der Auflagerungsgrenze zwischen Schotter und Molasse aus. Teils strömt es durch den Hangschutt, teils über Gräben und Bäche dem Illertal zu, wo es im Talschotter versickert.

Zur Ermittlung der Größe des Randzustromes wurde dieselbe Niederschlags-Versickerungsbeziehung wie im Erolzheimer Feld verwendet. Die für den Randzustrom maßgebenden Einzugsgebiete wurden grundsätzlich anhand der oberirdischen Wasserscheiden ermittelt. Der starke Wasserzufluß zum Illertal bei Kronwinkel deutet jedoch darauf hin, daß dort das unterirdische Einzugsgebiet der Iller über die Grenzen des oberirdischen zu Lasten des Roteinzugsgebietes hinausreicht (vgl. Kap. 4.2.3.2). Zu erklären ist das größere Einzugsgebiet durch den auf dem Höhenrücken zwischen Iller- und Haslacher Tal liegenden, flach rinnenförmigen, wahrscheinlich mindeleiszeitlichen Tannheimer Schotter [75], der von Süden Grundwasser in den Mooshausener Bereich heranzuführt. Eine Verbindung zu dem im Westen an den Tannheimer Schotter angelagerten Haslacher Schotter ist in diesem Bereich aus geologischen Gründen nicht möglich. Die oberirdische Wasserscheide zwischen Illertal und Haslacher Tal fällt mit einer beide Schotterteile trennenden, überschotterten Molasseschwelle zusammen, deren Vorhandensein durch Bohrungen im Zusammenhang mit dem Bau des Rappenbach-Speichers nachgewiesen wurde.

Zwischen Bonlanden und Erolzheim liegt die Obere Süßwassermolasse nicht in der schwerdurchlässigen Normalfazies, sondern in einer durchlässigeren sandig-feinkiesigen Fazies vor, den Erolzheimer Sanden (vgl. Kap. 2.5). In diesen ist ein Zustrom aus dem etwa 10 m über dem Illertal gelegenen Rottal, das hier auf weniger als 1,5 km an das Illertal heranrückt, grundsätzlich möglich.

Das Meßstellennetz in diesem Gebiet zwischen Rot- und Illertal wurde im Winter 1977/78 aufgebaut. Erste Grundwasserstandsmessungen zeigen einen Anstieg der Grundwasseroberfläche zum Rottal hin, wobei sich das Gefälle von 8‰ zwischen den Meßstellen 171 769 und 175 769 auf 3‰ zwischen den Meßstellen 175 769 und 176 769 vermindert.

Diese Gefällsabnahme deutet darauf hin, daß dieser Zustrom sich überwiegend durch Grundwasserneubildung zwischen den beiden Tälern bildet und im Mittel etwa 20 l/s km² beträgt.

Nördlich Erolzheim verbreitert sich der Abstand zwischen den beiden Tälern, gleichzeitig steigt die Basis der Erolzheimer Sande an. Ein Zustrom aus dem Rottal ist dort nicht mehr gegeben.

Die Erolzheimer Sande setzen sich unter dem Illertal fort und unterqueren die Iller im Raum Pleß-Fellheim. In diesem Bereich ist es grundsätzlich möglich, daß Grundwasser durch die Erolzheimer Sande in die Iller austritt. Die Grundwasserstände in den Erolzheimer Sanden an der Meßstelle 180 769 reagieren deutlich auf Wasserstandsänderungen in der Iller. Andererseits lassen Temperaturmessungen in der Iller solche Austritte nicht erkennen. In der Bilanz bleiben mögliche Grundwasseraustritte in diesem Gebiet unberücksichtigt.

Auch in der Normalfazies der oberen Süßwassermolasse außerhalb der Erolzheimer Sande sind

Schichten grundwasserleitender Sande unregelmäßig eingelagert. Grundwasser dieser Schichten wird in Brunnen bei Wain und Ochsenhausen sowie auf bayerischer Seite bei Au, Illertissen, Filzingen und Kellmünz gefördert. Die Wasserführung dieser Schichten ist verglichen mit der der Erolzheimer Sande von geringer Bedeutung.

4.3.4 Austausch mit Oberflächengewässern

4.3.4.1 Iller (Karte VII a)

Im Illerlängsschnitt sind der Illerwasserspiegel, die Grundwasser- und die Molasseoberfläche eingetragen. Auf den Strecken, auf denen die Grundwasseroberfläche sowohl über der Molasse als auch über dem Illerwasserspiegel liegt, kommt es zu Grundwasseraustritten, dort wo der Illerwasserspiegel höher als das Grundwasser und höher als die Molasse liegt, sickert umgekehrt Illerwasser dem Grundwasser zu. Auf diesen Strecken hat sich jedoch das Gewässerbett teilweise abdichtet, so daß bei gleichem Grundwasserquerschnitt und gleichem Höhendifferenzbetrag zwischen Illerwasserspiegel und Grundwasseroberfläche die Grundwasseraustritte stets größer sind als entsprechende Einsickerungen ins Grundwasser.

Nördlich Aitrach quert die Iller den Grundwasserstrom und nimmt dabei etwa 0,7 m³/s Grundwasser auf. Illerabwärts liegen die Flußwasserstände über dem Grundwasser; das Illerbett ist jedoch teilweise in die Molasse eingebettet. Die Temperaturen des Grundwassers an der Meßstelle 149 770 lassen eine geringe Einspeisung der Iller vermuten.

Tab. 4.7 Einspeisung der Iller bei Mooshausen
Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Untersuchungsverfahren	verwendete Daten	Ermittelter Illerwasseranteil im Grundwasser
Pumpversuch Mooshausen Auswertung des Wiederanstiegs nach THEIS [39]	Wasserstandsganglinien von 15 Meßstellen im Rinnentiefstem nördl. der Iller vom 11. 11. bis 23. 11. 1977	Meßstelle 145 770 0% Bei übrigen Meßstellen 6,2 bis 15% im Mittel 12% Meßstelle 125 770 7%
Auswertung der Grundwassertemperatur [36]	Temperaturprofil der Meßstelle 125 770 vom Aug. 76 bis Juli 77	Meßstelle 125 770 20%
Berechnung einer Grundwasserstromlinie mit Hilfe eines eindimensionalen mathematischen Modells [39]	Grundwasserstände vom Okt. 77 an den Meßstellen 147 770, 153 770, 125 770, 124 770	Für Illerwasserstand Okt. 1977 13,7% Umgerechnet auf MW Iller 14,2%
Isotopenanalyse Auswertung der natürlichen Isotopen Deuterium und Sauerstoff – 18 [37]	Wöchentliche Beprobung der Iller und des Grundwassers nördl. der Iller vom Okt. 77 bis Sept. 78	Meßstelle 125 770 18% 108 770 gering 117 770 50% 124 770 18% Mittelwert etwa 20%
Instationäre Berechnung mit Hilfe des mathematischen Grundwassermodells [43]	Okt. 79 bis Mai 80	Mittelwert etwa 20%

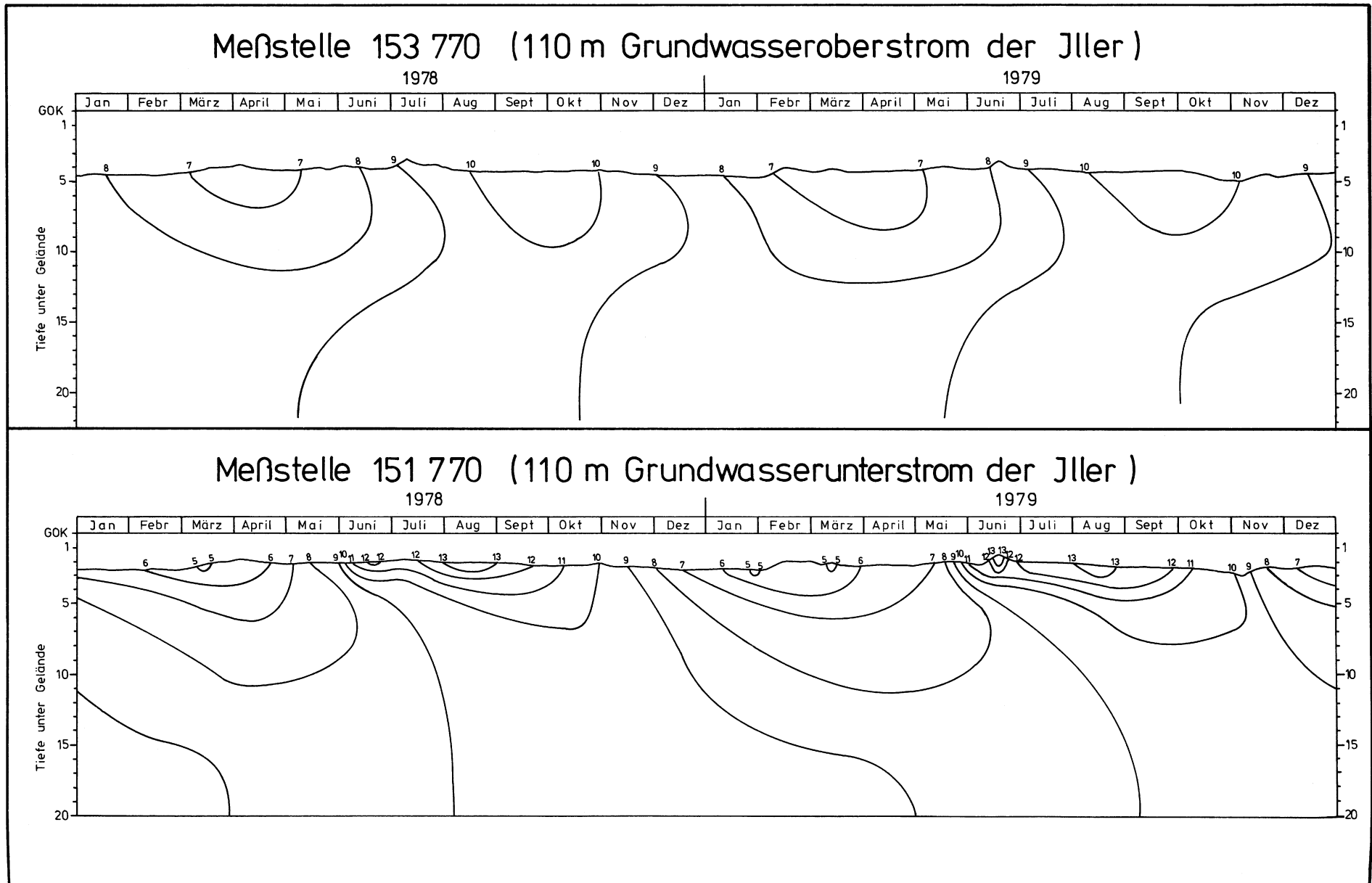


Abb. 4.21 Isothermen des Grundwassers oberstrom und unterstrom der Iller bei Mooshausen

Unterhalb des Wehres Mooshausen kreuzt die Iller den Grundwasserstrom erneut. Ihr Wasserspiegel liegt im Bereich der Schwelle Mooshausen den größten Teil des Jahres auf konstanter Höhe über dem Grundwasser (vgl. Kap. 4.1.3.1), was eine entsprechende Einspeisung ins Grundwasser zur Folge hat. Nur in Höhe des Weilers Mooshausen, wo das Grundwasser zum Talrand hin stark ansteigt, tritt, wie Temperaturmessungen in der Iller zeigen (Abb. 4.21) auf einer kurzen Strecke Grundwasser in die Iller aus (Kap. 4.2.3.2).

Die Größe des Illerwasseranteils im Grundwasser nach Unterquerung der Stauhaltung Mooshausen wurde mit Hilfe verschiedener Verfahren untersucht, wobei im Mittel Illerwasseranteile zwischen 12 und 20% festgestellt wurden. Dabei waren die Illerwasseranteile von Meßstelle zu Meßstelle sehr unterschiedlich; in der Meßstelle 117 770 wurden beispielsweise 50% Flußwasser, in der nur 40 m davon entfernten Meßstelle 145 770 dagegen kein Illerwasser festgestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen sind in Tab. 4.7 zusammengestellt. Als gewichteter Mittelwert kann für den Zeitraum 1976/78 von etwa 15% Illerwasser im Grundwasser unterhalb Mooshausen ausgegangen werden. Das entspricht einer Einspeisung der Iller von etwa 100 bis 150 l/s.

Unmittelbar unterhalb der Schwelle Mooshausen bis etwa km 50 + 350 fließt der Iller an der Uferböschung über die Molasseoberfläche austretendes Grundwasser zu. Weiter nördlich steigt die Molasse über die Grundwasseroberfläche an. Erst beim Verbindungskanal zwischen dem Werk II Tannheim und der Iller sind wieder Grundwasseraustritte zu beobachten.

Unmittelbar nördlich des Verbindungskanals überragt die Molasse auf weite Strecken den Illerwasserspiegel und das Grundwasser. Der Wasseraustausch zwischen Iller und Grundwasser ist daher im wesentlichen auf den Illerabschnitt zwischen km 41 und 44 beschränkt.

Nördlich Unterpöfingen reicht der Illerkanal mit seiner Sohle bis in die Molasse und trennt somit den Grundwasserkörper des Erolzheimer Feldes von der Iller. Nur im Bereich der Erolzheimer Sande ist ein Grundwasserabfluß zur Iller denkbar (vgl. Kap. 4.3.3). Unterhalb km 33 + 22 strömt der Iller in erheblichem Umfang Grundwasser zu, wie aus der Änderung der Illertemperatur deutlich zu erkennen ist.

Jeweils unterhalb des Filzinger Wehres und der Illerschwelle bei km 29 + 116 sowie in geringerem Umfang unterhalb der Wehre bei km 27 + 100 und 25 + 200 sind weitere Grundwasseraustritte in

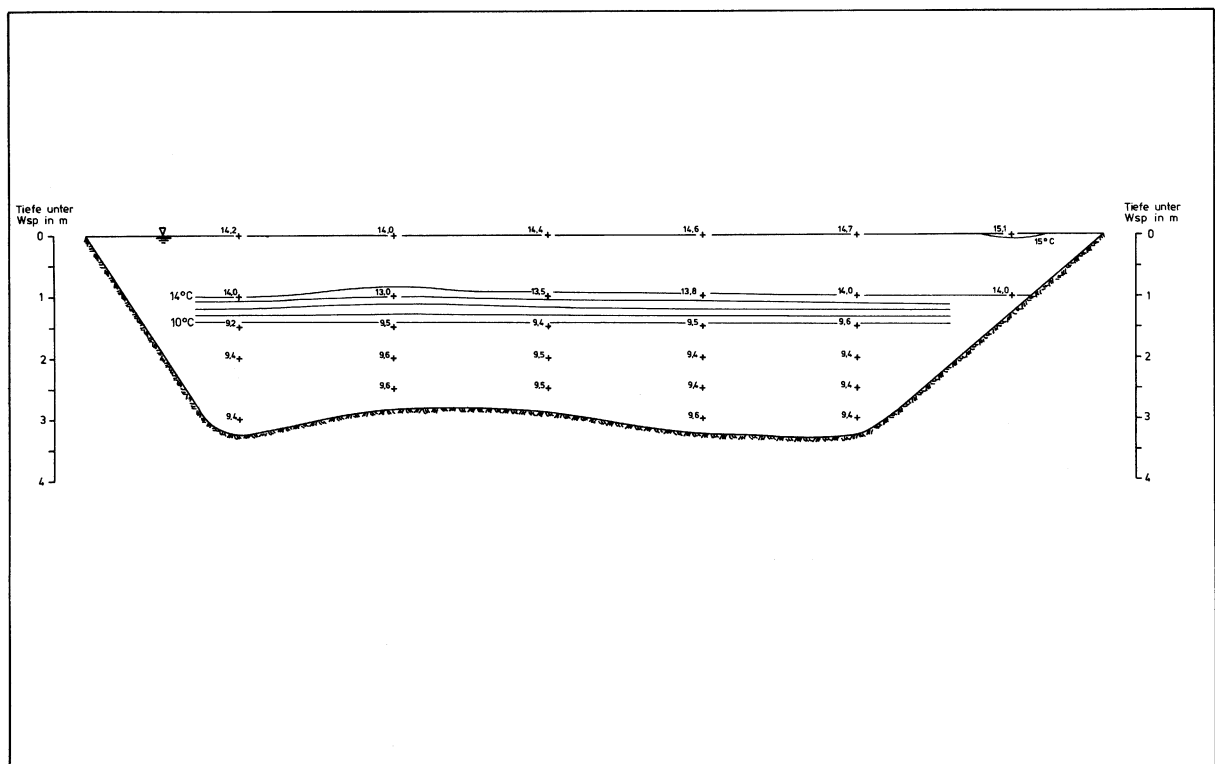


Abb. 4.22 Temperaturprofil der Iller am 15. 8. 78 bei km 29 + 000

die Iller zu beobachten, wobei ein Teil der Austritte aus dem vom Illerkanal gespeisten Grundwasser östlich der Iller entstammt. Die Strecken, auf denen der Iller Grundwasser zufließt, können durch Temperaturmessungen in der Iller abgegrenzt werden (Abb. 4.22). Gegenüber diesen Grundwasseraustritten ist die Einspeisung der Iller jeweils unmittelbar oberhalb der Wehre im Mittel wesentlich geringer.

4.3.4.2 Illerkanäle (Karte VIIb)

Die Wasserstände der Illerkanäle sind, von den geringen, durch den Schwellbetrieb der Kraftwerke verursachten Wasserspiegeldifferenzen abgesehen, im allgemeinen weitgehend gleichbleibend. Nur wenn Instandhaltungsarbeiten es erforderlich machen, werden die Kanalwasserstände ganz oder teilweise abgesenkt.

Das Staubecken bei Tannheim und die südlich davon gelegene Kanalstrecke liegen mit ihrer Sohle höher als die Grundwasseroberfläche. Die Böschungen des Kanals sind mit Beton und die Sohle auf der Strecke zwischen dem Wehr Mooshausen und Oyhof mit Asphalt gedichtet.

Die Sohle des Staubeckens besitzt eine Dichtungsschicht aus bindigem Bodenmaterial, die Böschungen sind mit Betonplatten abgedeckt. Die Wasserspiegelabsenkungen dieses Kanalstückes rufen auf dem größten Teil dieses Kanalabschnittes keine entsprechenden Reaktionen der Grundwasserstände hervor. Nur an den Meßstellen 141 770 und 105 770 war der Einfluß einer Kanalabsenkung im Spätjahr 1979 erkennbar. Temperaturuntersuchungen des Grundwassers im Bereich des Kanals und unterhalb des Staubeckens ergaben keine Hinweise auf Wasserverluste aus dem Illerkanal. Auf die gute Abdichtung dieser Kanalstrecke hat auch R. SCHAEFER [72] hingewiesen.

Die Kanalstrecke zwischen den Illerwerken II und III ist auf unterschiedliche Weise gedichtet. Die Böschungen sind durchweg mit Betonplatten belegt. Südlich km 8 + 800 erhielt die Kanalsohle, soweit sie nicht in der Molasse verläuft, eine Schicht aus bindigen Erdstoffen, nördlich hiervon ist die Kanalsohle betoniert. In den Jahren 1964 und 1968 wurde aufgrund von Sickerverlusten in der Kanalstrecke nördlich km 10 + 200 die Kanalsohle und die Böschungen mit einer Asphaltschicht abgedichtet.

Durch Vergleich von Ganglinien kanalnaher und kanalferner Grundwassermeßstellen in Zeiten von Kanalabsenkungen sowie durch Temperaturmessungen im Grundwasser und im Illerkanal konnte im Bereich des Autobahnzubringers Berkheim eine erhebliche Einspeisung des Illerkanals ins Grundwasser nachgewiesen werden. Das dort dem Grundwasser zusickernde Kanalwasser fließt teils nach Osten in das Gebiet zwischen Molasserücken und Iller, teils nach Westen zum Erolzheimer Feld, wobei je nach der Größe des Grundwassergefälles zu den beiden genannten Gebieten sich die Aufteilung der Sickerzuflüsse ändert. Kanalabwärts, an der Meßstelle 169 769 erbrachten dagegen Temperaturmessungen in den Jahren 1977 bis 79 keine Hinweise auf eine Infiltration aus dem Illerkanal. Die Größe der Einspeisung dieses Kanalstückes war in der Vergangenheit, wie die häufigen Abdichtungsarbeiten im Kanal zeigen, sehr unterschiedlich und dürfte im Mittel kaum über 200 l/s hinausgehen.

Unmittelbar unterhalb des Illerwerkes Unteropfingen besteht zwischen dem Grundwasser und dem Kanal ein enger Kontakt, wie der weitgehend gleichartige Verlauf der Ganglinie der Grundwassermeßstelle 173 769 und des Unterwasserpegels des Kraftwerkes beweist. Dieses Kanalstück nimmt im wesentlichen den Grundwasserstrom aus dem Gebiet zwischen Iller und Illerkanal auf. Dagegen lassen die Grundwassergleichen stärkere Austritte des Hauptgrundwasserstromes in das Unterwasser des Kraftwerkes nicht erkennen.

Auf der anschließenden Kanalstrecke liegt der Kanalwasserspiegel über dem Grundwasser. Aus-sickerungen aus dem Illerkanal werden von einem längs des Kanals und des Staubeckens verlaufenden Entwässerungsgraben aufgefangen.

4.3.4.3 Nebengewässer der Iller

Die Aitrach liegt mit ihrer Sohle im Bereich des Grundwasserleiters über der Grundwasseroberfläche (Karte VIIc). Sie speist wie die Auswertung des Pumpversuches Aitrach ergab, kaum merklich ins Grundwasser ein.

Die im Erolzheimer Feld vom westlichen Talrand zufließenden Bäche und Gräben versickern teilweise nach ihrem Eintritt in das Schotterfeld. Insgesamt tragen diese Gewässer mit über 100 l/s zur Grundwasserneubildung bei (Tab. 4.4).

Die Sohle des Gießens liegt auf nahezu der gesamten Länge über dem Grundwasser. Das Bett des Gießens ist offensichtlich weitgehend gedichtet; die Einspeisung ins Grundwasser ist so gering, daß sie weder aus den Grundwasserhöhen, noch aus den Grundwassertemperaturen zweifelsfrei zu erkennen ist. Auch Abflußmessungen im Gießen erbrachten keine eindeutigen Hinweise auf Wasserverluste in diesem Gewässer.

Die Größe der Grundwasseraustritte in die Entwässerungsgräben östlich Dettingen ist je nach Grundwasserstand sehr unterschiedlich (Abb. 4.23). Abflußmessungen ergaben Grundwasseraustritte in diesem Bereich von im Mittel über 200 l/s. Hinzu kommen die Grundwasseraustritte in die Ortskanalisation Dettingen. Bei Messungen im Oktober und November 1981 wurde in der Kanalisation ein grundwasserbürtiger Abfluß von etwa 360 l/s ermittelt.

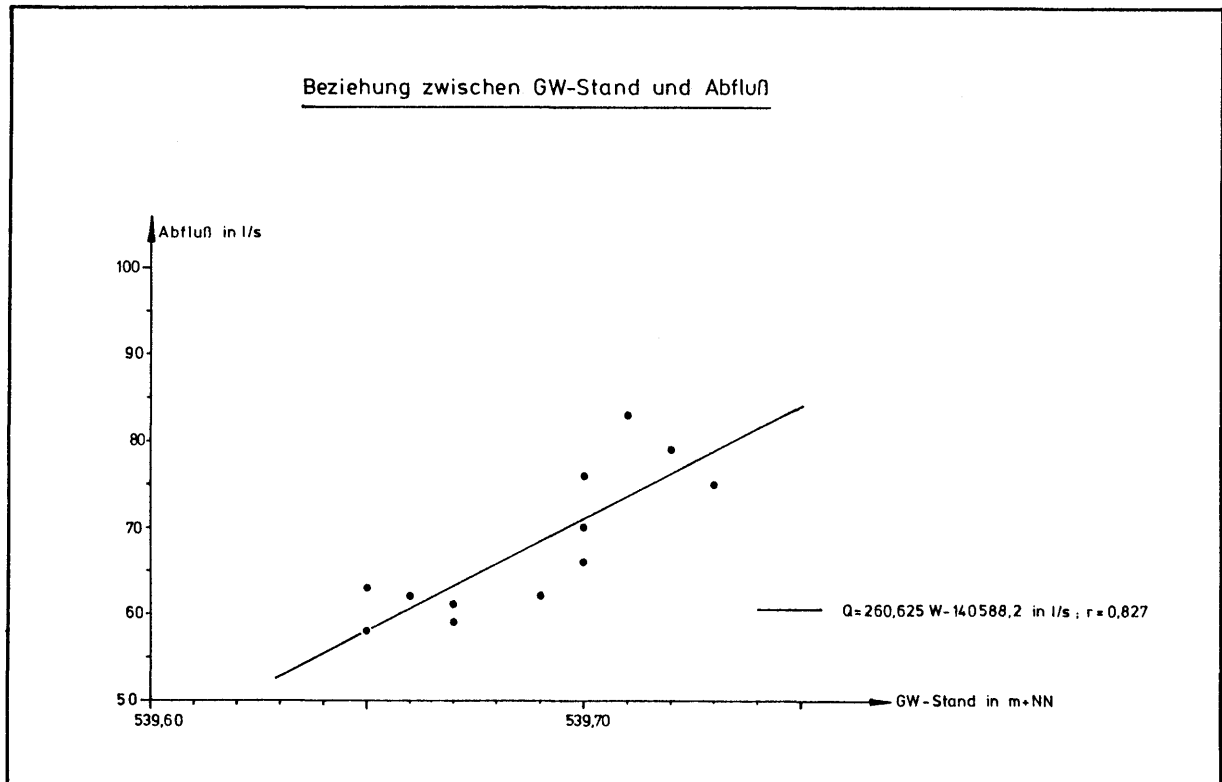


Abb. 4.23 Beziehung zwischen dem Grundwasserstand an der Meßstelle 166 768 und dem Abfluß des Illerbaches südlich Klein-Kellmünz

4.3.5 Bilanz

Der große Grundwasserspeicher des Erolzheimer Feldes gleicht wechselnde Zuflüsse und Entnahmen weitgehend aus. Daher sind für die Bilanzierung überwiegend das langjährige Mittel der einzelnen Bilanzgrößen von Bedeutung. In der Bilanz (Tab. 4.8) werden die Grundwasserdurchflüsse in verschiedenen Querschnitten den mittleren Bilanzgrößen gegenübergestellt, welche den Grundwasserstrom jeweils zwischen zwei Querschnitten verstärken oder vermindern.

Als maßgebende Durchflußgrößen wurden die mit Hilfe des mathematischen Modells für den 9. Oktober 1979 berechneten Werte angesetzt. Zu diesem Zeitpunkt herrschten im Untersuchungsgebiet etwa mittlere Grundwasserstände. Die dem mathematischen Modell zugrunde liegenden Grundwassermächtigkeiten und k_f -Werte decken sich mit den Angaben der Karten V und VI.

Die Lage der untersuchten Querschnitte und die zugehörigen Durchflüsse können Abb. 4.24 entnommen werden.

Der Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag liegen die Isohyeten der Jahresniederschläge 1931 bis 1960, wie sie vom Deutschen Wetterdienst ermittelt worden sind, zugrunde. Für die einzelnen Einzugsgebiete wurden die mittleren Niederschlagshöhen bestimmt und mit Hilfe der gefundenen Beziehung zwischen Niederschlag und Versickerung und unter Berücksichti-

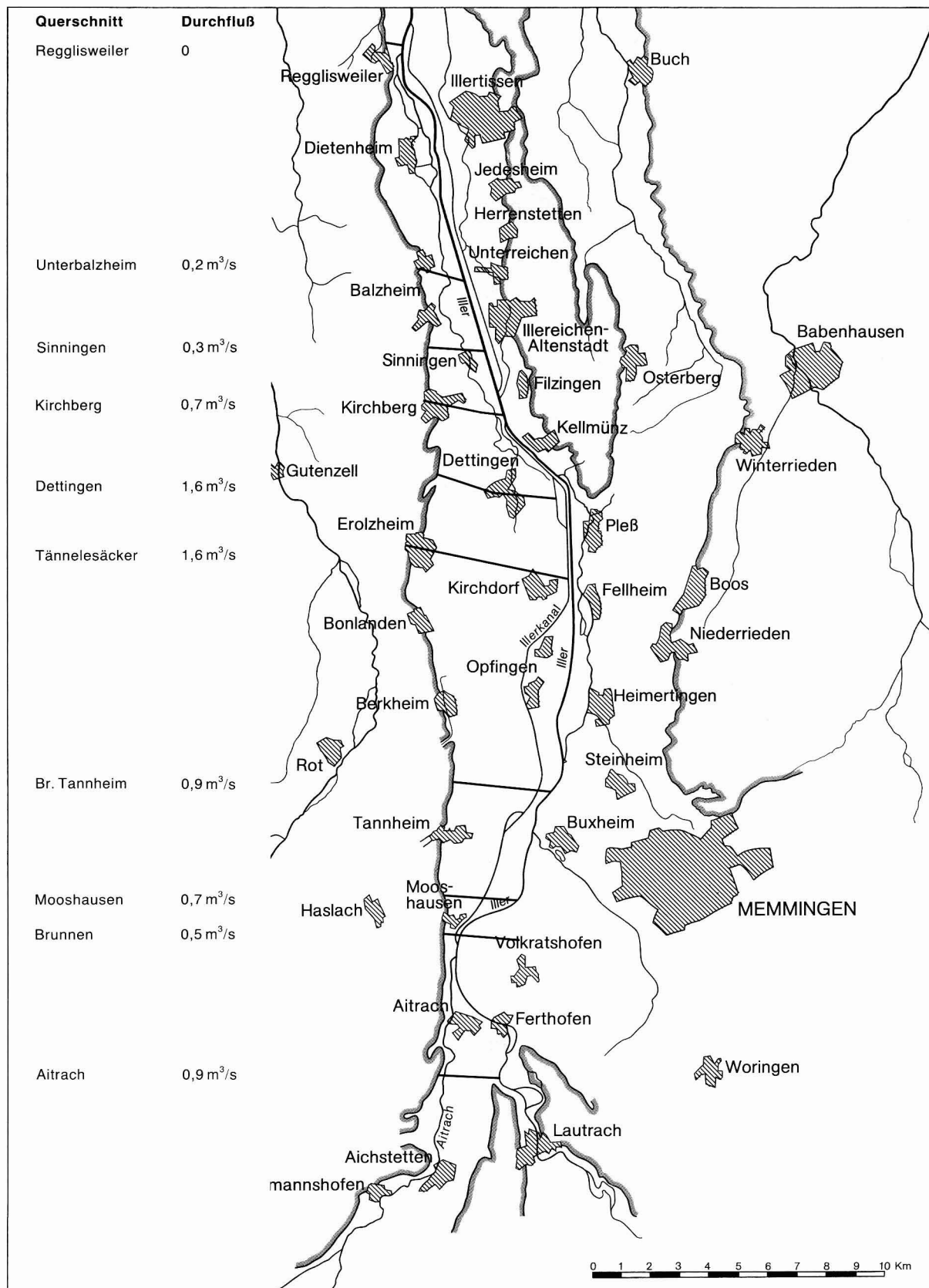


Abb. 4.24 Durchflußquerschnitte und Durchflüsse

Tab. 4.8: Grundwasserbilanz

Querschnitt	Abfluß ¹⁾	GW - Neubildung über dem Feld		Randzustrom aus Hügelland		Austausch mit Oberflächengewässer			GW - Entnahme	Abfluß - änderung	Abfluß ²⁾
	l/s	Fläche km ²	Q l/s	Fläche km ²	Q l/s	Gewässername	Ex (-) l/s	Inf (+) l/s			l/s
Aitrach	800	14,3	200	4,7	40	Aitrach Iller	- 700	50		- 410	900 *
Brunnen	454										490
Mooshausen	606	4,1	50	2,3	30	Iller		130		+ 210	700
Br. Tannheim	774	11,5	130	6,8	80					+ 210	910
Tännelesäcker	1574	34,4	390	18,1	140	Illerkanal		200	-10	+ 720	1630
Dettingen	1644	12,8	130	5,1	10	Gräben	-100		-10	+ 30	1660
Kirchberg	722	7,8	80	8,4	20	Kanalisation, Gräben Iller + Illerkanal	- 1050			- 950	710
Sinningen	301	3,9	40	2,5	10	Iller	-450		-20	- 420	290
Unterbalzheim	195	4,6	40	7,9	40	Iller	-200		-10	- 130	160
Regglisweiler	0	11,1	90	5,9	30	Iller Gießen	- 300	50	-30	- 160	0
Summe der Haushaltsgrößen		104,5	1150	61,7	400		-2800	430	- 80		

1) Abflußwerte entsprechend der instationären Modelleichung für den 9. Oktober 1979

2) Abflußwerte entsprechend der Bilanz

900 * Mittelwert aus Querschnittsberechnung und Modelleichung

gung der erhöhten Verdunstung der Waldflächen die entsprechende mittlere Grundwasserneubildung ermittelt (vgl. Kap. 4.3.2). In gleicher Weise wurde bei der Berechnung des Randzustromes verfahren. Die Abflüsse der Oberflächengewässer des Hügellandes, soweit diese nicht im Feld versickern, sind bei der Ermittlung des Randzustroms in Abzug gebracht worden.

Die Größe der Ex- und Infiltration von Iller, Illerkanal und Aitrach konnte, von der Einspeisung oberhalb der Schwelle Mooshausen abgesehen, nicht gemessen werden. Die in der Bilanz angegebenen Werte wurden mit Hilfe des mathematischen Modells ermittelt.

Wie die Bilanz zeigt, werden im Untersuchungsgebiet und dessen Randbereichen aus Niederschlag etwa $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Grundwasser gebildet. Weitere $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ werden aus Oberflächengewässern ins Grundwasser eingespeist. Dieses Grundwasser sowie der Grundwasserzufluß bei Aitrach von etwa $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$, also insgesamt $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$, werden im Untersuchungsgebiet von der Iller und deren Nebengewässer aufgenommen.

5 Grundwasserbeschaffenheit

5.1 Einleitung

Zwei Jahre lang (1976/77) wurde der Hauptstrom des Grundwasservorkommens Erolzheimer Feld chemisch und bakteriologisch eingehend untersucht (Untersuchungsberichte KÄSS [52] und RITTER [38]).

Ziel dieser Untersuchungsprogramme war es, die Güte des Grundwassers in chemischer und bakteriologischer Hinsicht über einen längeren Zeitraum hinweg zu bestimmen. Darüber hinaus ergab sich eine spezielle Fragestellung aus der Einspeisung von Illerwasser in das Grundwasser bei Mooshausen, die qualitativ und quantitativ erfaßt werden sollte.

Erstmals im Rahmen einer Hydrogeologischen Kartierung sind Grund- und Oberflächenwasserproben auf ihren Gehalt an den stabilen Isotopen Deuterium (D) und Sauerstoff – 18 (^{18}O) untersucht worden. Die Isotopengehalte von Wasserproben geben keine unmittelbare Auskunft über die Wasserbeschaffenheit. Mit dieser Untersuchungsmethode können Aussagen über die Einzugsgebiete gemacht werden und damit hydrologische Zusammenhänge verdeutlicht werden.

5.2 Chemische Untersuchungsergebnisse

Das chemische Untersuchungsprogramm wurde vom Geochemischen Laboratorium des Geologischen Landesamt Baden-Württemberg durchgeführt. Untersucht wurden Wasserproben an Brunnen und Grundwassermeßstellen, die alle ungefähr in der Mitte des Grundwasserstromes liegen (vgl. Tab. 5.1 und Abb. 5.1). Der südlichste Beprobungspunkt Brunnen Lauben, liegt außerhalb des Kartiergebiets im Aitrachtal, ca. 8 km oberhalb Aitrach. Unterhalb des Illerbogens, im gräflichen Hirschpark Mooshausen, wurde eine Reihe dicht beieinanderliegender Meßstellen beprobt, um die Ausbreitung des hier eingespeisten Illerwassers im Grundwasser zu erfassen.

Die Probenahme erfolgte in monatlichem Abstand von August 1976 bis Dezember 1977, und zwar bei den genutzten Brunnen aus den Zapfhähnen, bei den Meßstellen mit Saug- oder Tauchmotorpumpen.

Bei allen Entnahmen wurden die Hauptbestandteile der Wässer durch eine Übersichtsuntersuchung ermittelt:

Härtebildner
Karbonathärte
Chlorid
Nitrat
Sulfat

Aus der Summe der Anionenmengenkonzentration wurden die Alkalien ermittelt und als Natrium, die Gesamthärte als Calcium ausgewiesen. Aus den 6 Hauptbestandteilen:

Alkalien als Natrium
Härtebildner als Calcium
Chlorid
Nitrat
Hydrogenkarbonat
Sulfat

wurde die Feststoffsumme errechnet. Neben den kurzen Übersichts-Untersuchungen wurden im August 1976 und im Dezember 1976 Vollanalysen durchgeführt (s. Tab. 5.1). Außer den Hauptbestandteilen der Wässer wurde bei den letzten 4 Entnahmen (Sept. – Dez. 1977) auch die Borsäure bestimmt, um die Einspeisung von Illerwasser bei Mooshausen besser zu erfassen.

Tab. 5.1: Ergebnisse von 2 Volluntersuchungen des Grundwassers und Illerwassers

Entnahmeserie	1. (Volluntersuchung)																							
Entnahmetag	25./26. August 1976																							
Wetterlage	sehr trocken																							
Wassereigenschaften	T	GH	KH	CSB	Na	K	NH ₄	Ca	Mg	Fe	Mn	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	HPO ₄	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	Fest	CO ₂	O ₂	TOC		
1 Versuchsbrunnen Tännelès- acker (161 769)	9,8	6,3	5,45	1,8	3,2	1,3	n.n.	120	3,7	0,14	0,014	9,2	n.n.	29	16	0,06	10	0,04	523	20	11	0,25		
2 Brunnen Tannheim (Br. 15)	9,1	6,3	5,35	1,9	3,6	1,4	n.n.	123	1,8	0,076	0,02	7,1	n.n.	15	14	0,06	11	0,043	529	15	10	0,25		
3 Brunnen Wintershall (Br. 16)	11,8	5,8	5,40	1,9	3,5	1,6	n.n.	114	1,2	0,11	n.n.	7,1	n.n.	15	17	0,06	16	0,035	493	20	9	0,05		
4 104 770	8,6	6,0	5,65	2,3	5,9	3,2	n.n.	100	12,1	0,29	0,021	7,8	n.n.	16	19	0,12	9	0,045	509	23	9	0,65		
5 121 770	8,7	5,9	5,55	2,8	6,9	2,3	n.n.	78	24,3	0,29	0,002	9,2	0,01	15	10	0,09	14	0,05	497	20	9	1,9		
6 122 770	9,1	4,2	5,6	1,2	52,3	2,9	n.n.	68	9,7	0,56	0,01	7,1	0,01	9	30	0,11	12	0,045	534	20	7	0,7		
7 123 770	8,8	4,3	3,7	1,3	4,1	1,5	n.n.	46	24,3	0,12	n.n.	7,1	0,02	13	21	0,10	10	0,04	353	15	9	0,15		
8 107 770	8,9	4,9	4,3	1,2	3,2	1,5	n.n.	50	29,2	0,104	n.n.	6,4	0,02	15	13	0,07	8	0,05	390	19	9	0,05		
9 124 770	9,8	5,5	5,4	1,3	4,6	1,5	n.n.	106	2,4	0,28	0,028	7,5	0,01	15	13	0,09	10	0,10	468	20	7	0,3		
10 125 770	10,6	4,95	6,25	8,3	60,0	3,9	n.n.	90	5,5	0,46	0,125	3,8	0,4	8	11	0,08	10	0,062	609	21	4	12		
11 117 770	13,1	5,1	4,6	1,5	3,5	1,9	n.n.	99	1,8	0,20	0,011	7,1	0,03	7	18	0,06	11	0,077	434	12	6	0,65		
12 Iller bei Fluß-km 51,25	19,5	3,1	2,55	2,9	3,5	1,4	0,18	60	1,2	0,19	0,011	5,3	0,4	0,1	16	0,32	3	0,115	266	nb.	9	1,9		
13 Iller bei Kanaleinlauf Mooshausen	16,7	4,8	4,0	2,4	3,9	1,6	n.n.	94	1,2	0,27	0,007	6	0,1	3	19	1,05	4	0,107	404	n.b.	10	1,4		
14 Brunnen Lauben (Leutkirch)	8,8	6,1	5,6	1,3	4,1	2,5	n.n.	120	1,2	0,11	n.n.	7,8	<0,01	9	19	0,04	24	0,045	530	21	8	0,2		

Entnahmeserie	5. (Volluntersuchung)																							
Entnahmetag	20./21. Dezember 1976																							
Wetterlage	strenges Winterwetter																							
Wassereigenschaften	T	GH	KH	CSB	Na	K	NH ₄	Ca	Mg	Fe	Mn	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	HPO ₄	H ₂ SiO ₃	HBO ₂	Fest	CO ₂	O ₂	TOC		
1 Versuchsbrunnen Tännelès-äcker (161 769)	9,1	6,0	5,5	0,8	2,8	0,6	n.n.	117	1,8	0,06	0,03	9,2	n.n.	3	9	0,20	7	0,049	493	14	11	0,1		
2 Brunnen Tannheim (Br. 15)	9,0	5,8	5,3	0,6	2,6	0,6	n.n.	105	7,9	n.n.	0,03	7,1	n.n.	22	15	0,03	7	0,049	482	14	10	0,2		
3 Brunnen Wintershall (Br. 16)	6,5	5,95	5,0	0,8	2,6	1,0	n.n.	103	9,7	0,05	n.n.	6,4	n.n.	2	11	0,04	7	0,03	481	15	2	0,1		
4 104 770	8,5	5,4	3,6	0,6	2,8	0,9	n.n.	76	10,9	0,06	0,03	7,5	n.n.	2	11	0,15	8	0,04	384	15	8	0,4		
5 121 770	8,1	5,9	5,4	0,7	3,0	0,9	n.n.	97	12,8	0,04	0,01	9,2	n.n.	3	13	0,05	8	0,036	477	12	8	0,4		
6 122 770	9,0	5,7	5,45	0,7	5,7	1,2	n.n.	110	2,4	0,21	0,03	8,5	n.n.	3	11	0,28	8	0,043	483	17	8	0,2		
7 123 770	9,2	4,7	4,5	0,8	2,8	1,1	n.n.	90	2,4	0,1	0,04	7,1	n.n.	0,2	16	0,26	8	0,047	391	15	8	0,6		
8 107 770	9,9	5,4	5,25	0,6	2,6	1,1	n.n.	102	3,7	0,02	0,01	6,4	n.n.	4	7	0,05	8	0,041	450	17	9	0,9		
9 124 770	9,5	5,1	5,2	0,7	3,2	1,1	n.n.	90	9,1	0,02	0,02	7,1	n.n.	4	7	0,41	8	0,041	435	15	8	0,4		
10 125 770	9,5	4,6	5,4	0,7	4,9	1,2	n.n.	78	14,6	0,02	0,03	14,2	n.n.	5	6	0,16	8	0,030	424	14	7	0,5		
11 117 770	9,7	5,2	4,9	1,0	3,7	1,1	n.n.	100	2,4	0,6	0,02	9,2	n.n.	2	17	0,09	6	0,069	435	n.b.	8	0,2		
12 Iller bei Fluß-km 51,25	5,5	5,7	5,3	1,1	2,8	1,1	n.n.	112	1,2	0,03	0,02	7,8	0,02	4	6	0,06	7	0,053	472	n.b.	12	0,3		
13 Iller bei Kanaleinlauf Mooshausen	0,6	5,1	4,6	3,3	4,6	1,3	0,15	86	9,7	0,1	0,02	10,6	0,05	3	12	0,82	1	0,128	416	10	13	1,4		
14 Brunnen Lauben (Leutkirch)	8,5	6,15	5,4	0,6	2,6	1,1	n.n.	122	1,8	0,03	0,02	7,1	n.n.	7	9	0,05	7	0,030	505	18	9	n.n.		

Gesamthärte (GH) u. Karbonathärte (KH) in Milligramm –
Äquivalenten je Liter; sonstige Inhaltsstoffe in Milligramm je Liter

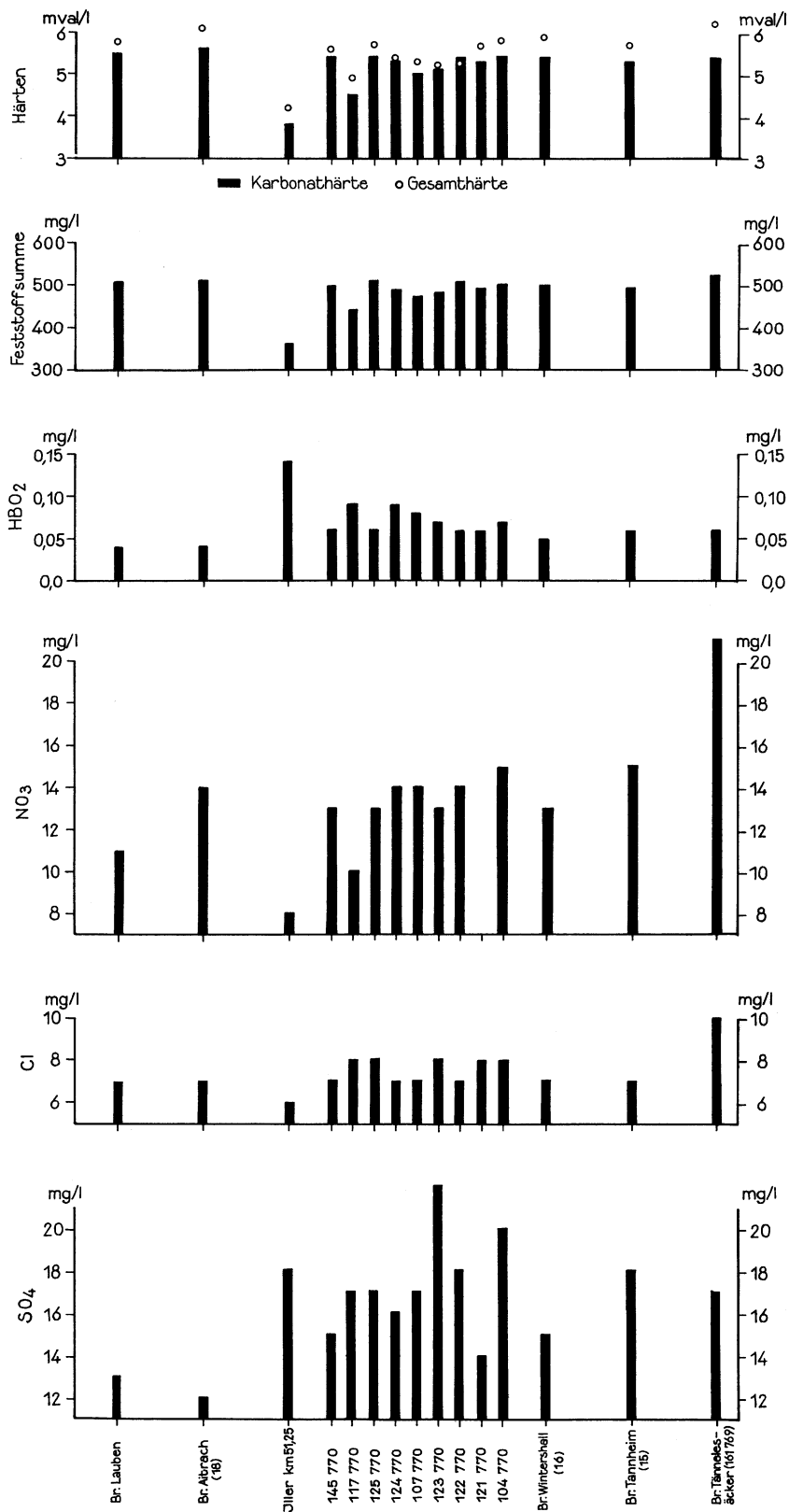


Abb. 5.1: Mittelwerte aus chemischen Wasseruntersuchungen 1976–77

Die gemittelten Analysenwerte der Härten (Gesamthärte und Karbonathärte), der Feststoffsumme, von Chlorid, Nitrat und Sulfat sowie der Borsäure sind in Abb. 5.1 dargestellt. Das Grundwasser im Illertal ist demnach mittelhart (Gesamthärte zwischen 5,2–6,2 mval/l). Die Gehalte an Chlorid, Nitrat und Sulfat sind im Mittel relativ niedrig. Es wurden allerdings in den Sommermonaten Einzelwerte von Nitrat bis zu 32 mg/l gemessen, und damit nähert sich der Nitratgehalt dem für Trinkwasser gültigen Grenzwert von 50 mg/l. Als Beispiel sind die Analysenwerte von Brunnen Tannheim und Brunnen Tännlesäcker (161 769) aufgeführt (Abb. 5.2). Die Ursache für die höheren Nitratwerte in den Sommermonaten dürfte überwiegend in der landwirtschaftlichen Düngung liegen.

Im Vergleich zu den anderen Beprobungsstellen weist der Brunnen Tännlesäcker insgesamt deutlich höhere Chlorid- und Nitratwerte auf (s. Abb. 5.1 u. 5.2). Hier macht sich wahrscheinlich der größere Anteil intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen im Zustrombereich bemerkbar.

Die Einspeisung des deutlich weniger mineralisierten Illerwassers ist nur im Flachpegel 117 770 (25 m neben der Iller) gut zu erkennen. Alle anderen Meßstellen unmittelbar unterhalb des Illerbogens erschließen den gesamten Aquifer. Die aus diesen entnommenen Wasserproben unterscheiden sich im Chemismus nur sehr geringfügig vom nicht von der Iller beeinflussten Grundwasser; doch ist die Infiltration von Illerwasser deutlich an erhöhten Werten für Metaborsäure zu erkennen (s. Abb. 5.1). Eine Ermittlung des Uferfiltrat-Anteile ist mit dieser Methode lediglich halbquantitativ möglich.

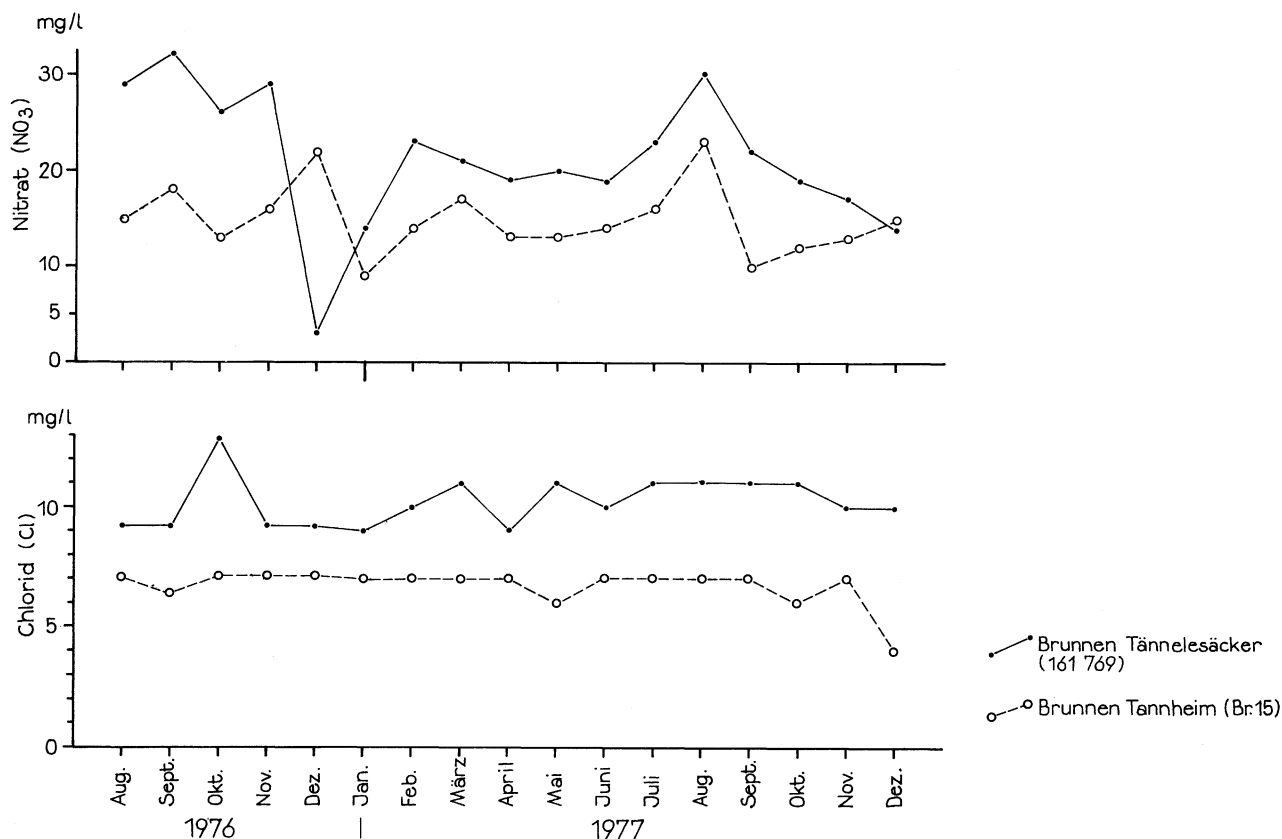


Abb. 5.2 Ganglinien von Nitrat und Chlorid im Brunnen Tännlesäcker (161 769) und Brunnen Tannheim (15)

5.3 Bakteriologische Untersuchungsergebnisse

Untersuchungszeitraum und Beprobungsstellen sind identisch mit denen des chemischen Untersuchungsprogrammes (vgl. Kap. 5.2). Die Untersuchungen wurden von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, durchgeführt [38].

Die hydrobakteriologischen Untersuchungen hatten zum Ziel, die mögliche Verfrachtung von Bakterien aus der Iller in das Grundwasser zu verfolgen, wobei hygienische Gesichtspunkte im Vordergrund standen. Die im infiltrierenden Illerwasser ermittelten Koloniezahlen sind im allgemeinen hoch und können Tausende an Fäkalkeimen (Coliforme Bakterien und *Escherichia coli*) in 100 ml erreichen (vgl. Tab. 5.4).

Die in den Jahren 1976/77 in einem ersten Untersuchungsprogramm durchgeführten Untersuchungen ergaben, daß das aus zwei Grundwasser-Gewinnungsanlagen, dem Brunnen der Gemeinde Tannheim und dem Betriebsbrunnen der Gewerkschaft Wintershall, geförderte Wasser bakteriologisch einwandfrei war. Die beiden Anlagen sind etwa 2,2 bzw. 1,2 km von der Infiltrationsstrecke der Iller entfernt. Zwischen diesen Brunnen und der Iller befinden sich eine Reihe von Grundwassermeßstellen, von denen 8 durch Abpumpen beprobt wurden. Alle untersuchten Proben hatten mehr oder weniger erhöhte Gehalte an Fäkalkeimen, teilweise bis zu 100 *Escherichia coli*-Bakterien in 100 ml, unabhängig davon, wie weit die einzelnen Meßstellen von der Iller entfernt lagen. Diese erhöhten Koloniezahlen konnten nicht mit einer Bakterientrift aus der Iller, sondern nur mit sekundären Einflüssen, insbesondere bei der Beprobung, erklärt werden. Außerdem ist bei Grundwassermeßstellen nicht auszuschließen, daß im Zusammenhang mit den manuellen Wasserstandsmessungen Keime in die Meßstellen eingeschleppt werden. In solchen Meßstellen kann sich insbesondere dann, wenn die Durchströmung mit Grundwasser gering ist, eine eigenständige Bakterienflora entwickeln, die keine Beziehung mehr zur Bakterienflora im Grundwasser hat. Daher ist bei der Beprobung von Grundwassermeßstellen ein längeres Abpumpen notwendig.

Um den Einfluß der Pumpdauer auf das Untersuchungsergebnis abschätzen zu können, wurden an der Meßstelle 117 770 einige bakteriologische Beprobungen nach unterschiedlich langem Abpumpen vorgenommen. Die Meßstelle 117 770 besteht aus einem nur den oberen Bereich des Grundwassers erschließenden Peilrohr von 5 cm Durchmesser. Isotopenanalysen haben gezeigt, daß das Wasser dieser Meßstelle einen etwa 60%igen Anteil an Illerwasser enthält (vgl. Kap. 5.4). Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, daß mit zunehmender Dauer des Pumpvorganges die Koloniezahlen in den geförderten Wasserproben in der Regel geringer werden (Tab. 5.2). Es ist somit zu vermuten, daß die Wassersäule in den Beobachtungsrohren vielfach höhere Koloniezahlen besitzt als das umgebende Grundwasser. Andererseits ist nicht auszuschließen, daß am Korngerüst des Grundwasserleiters adsorbierte Keime – physikalisch gesehen sind sie elektrisch geladene Partikel, die am Steingerüst des Grundwasserleiters adsorbiert werden können – durch stärkeres Abpumpen angesaugt werden.

Beim Untersuchungsprogramm 1978 wurden, um sekundäre Verunreinigungen weitgehend auszuschalten, vor jeder bakteriologischen Probenahme die Grundwassermeßstellen mindestens 1 Stunde abgepumpt. Die Beprobungen erfolgten an 11 Meßstellen [Abb. 5.3], die zwischen ca. 25 und 900 m von der Iller entfernt lagen, jeweils in einer Regen- und einer Trockenperiode. Gleichzeitig wurden zur Ermittlung des Keimgehaltes des infiltrierenden Wassers die Iller und der Illerkanal bakteriologisch untersucht.

Es zeigte sich, daß die Grundwasserproben während der Trockenperiode im wesentlichen bakteriologisch einwandfrei waren, in der Regenperiode dagegen erhöhte Koloniezahlen bei einigen Grundwassermeßstellen auftraten (Tab. 5.3).

In Tab. 5.3 fällt auf, daß einige nahe der Iller gelegene Meßstellen zu keiner Zeit erhöhte Koloniezahlen aufwiesen. Diese beobachtete gute Grundwasserqualität ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß in diesen Meßstellen aus dem unteren Bereich des Grundwasserleiters von der Iller unbelastetes Grundwasser aufsteigt. Derartige Vertikalströmungen sind für die Meßstellen 145 770 durch Temperaturmessungen nachgewiesen (vgl. Kap. 4.3.4.1). Auch die Isotopenanalysen zeigen (vgl. Kap. 5.4), daß in dieser Meßstelle kein aus der Iller infiltriertes Wasser ansteht.

Die bei den Meßstellen 162 770 bis 165 770 aufgetretenen erhöhten Koloniezahlen können sowohl durch Einschwemmungen versickernden Niederschlagswassers (vgl. Kap. 3.8) als auch durch Versickerungen aus der Iller verursacht sein, die in Regen- bzw. Hochwasserzeiten grundsätzlich höhere Keimgehalte aufweist (Tab. 5.4). Wesentliche Unterschiede des Keimgehaltes sind auch

zwischen dem Illerwasser oberhalb der Ableitung des Illerkanals und dem Infiltrationsbereich, der Stauhaltung der Schwelle Mooshausen, festzustellen. Das Wasser in dieser Stauhaltung unterliegt offensichtlich einer Selbstreinigung, die besonders in Trockenperioden erheblich sein kann.

Um festzustellen, ob zwischen den Koloniezahlen im Grundwasser und im infiltrierenden Illerabschnitt ein Zusammenhang besteht, wurden die in den Meßstellen 117 770 festgestellten Koloniezahlen den entsprechenden Zahlen aus der Iller gegenübergestellt. Die Darstellung in Abbl. 5.4 läßt einen derartigen Zusammenhang vermuten. Ein Vergleich mit den Koloniezahlen in den von der Iller weiter entfernt liegenden Meßstellen ließ eine ähnliche Beziehung jedoch nicht erkennen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die an den Meßstellen 162 770 bis 165 770 festgestellten erhöhten Koloniezahlen (Tab. 5.3) auch durch versickernde Niederschläge im Grundwasser eingeschwemmt sein können. Geht man jedoch von der ungünstigen Annahme aus, daß sie ausschließlich durch Infiltration aus der Iller verursacht sind, so ergibt sich eine mögliche Vertriftung von Keimen bis etwa 300 m. Eine weiterreichende Vertriftung aus dem wesentlich stärker mit Keimen belasteten Illerkanal ist nicht ganz auszuschließen.

Tab. 5.2 Abhängigkeit der Koloniezahlen von der Dauer des Pumpvorganges bei der Gewinnung von Grundwasserproben (Meßstelle 117 770: Pumpleistung ca. 0,5 l/s).

Datum	Pumpdauer	1) in 100 ml Coliforme Bakt.	2) in 100 ml Escherichia coli	3) in 1 ml Koloniezahl
13. 10. 1976	5 Min.	120	10	920
	10 Min.	16	0	1 200
	20 Min.	0	0	140
23. 11. 1976	20 Min.	10	0	60
	25 Min.	0	0	20
	30 Min.	0	0	8
20. 12. 1976	10 Min.	0	0	4
	20 Min.	0	0	0
25. 1. 1977	5 Min.	—	—	80
	20 Min.	10	0	20
26. 4. 1977	25 Std.	440	260	1 000

- Coliforme Bakterien:** Gruppe meist harmloser Bakterien **überwiegend** aus dem Säugetierdarm (Enterobakterien), dienen als Fäkalindikatoren für die mögliche Anwesenheit von krankheitserregenden Bakterien und Viren aus dem Darm (z.B. Typhusbakterien, Enteroviren), fäkale Herkunft **kann** möglich sein, umfassen die Bakteriengattungen Enterobacter, Citrobacter, Klebsiella und Proteus.
- Escherichia coli:** harmlose Bakterienart aus dem Säugetierdarm, gehört zur Familie der Enterobacteriaceae, dient als eindeutiger Fäkalindikator für die mögliche Anwesenheit von krankheitserregenden Darmbakterien, fäkale Herkunft ist **sicher**.
- Koloniezahl:** Zahl der sichtbaren Bakterienkolonien, die sich aus der untersuchten Wasserprobe bei 20° C innerhalb von 48 h auf einem nährstoffreichen Nährboden entwickeln. Sie ist ein Maßstab für die Gegenwart von abbaubaren Stoffen (=Schmutzstoffe): je höher der Gehalt an solchen Stoffen, desto höher die Keimzahl.

Beurteilung der Trinkwasserqualität nach der Trinkwasserverordnung:

Eine Wasserprobe ist hygienisch einwandfrei, wenn

- in 100 ml **keine** E. coli-Bakterien nachweisbar sind (Grenzwert),
- in 100 ml **keine** coliformen Bakterien nachweisbar sind (Richtwert) und
- in 1 ml die Koloniezahl **höchstens** 100 Kolonien beträgt (Richtwert).

Tab. 5.3: Höchste festgestellte Koloniezahlen im Grundwasser in der Stauhaltung der Schwelle Mooshausen. Die obere Zahl bezieht sich jeweils auf die Beprobungen vom 31. 5. bis 1. 6. 1978 während einer Trockenperiode, die untere Zahl auf die Beprobung während einer Regenperiode vom 10./11. 5. 1979.

Probenahme Ort	Entf. vom Fluß (m)	Coliforme Bakt. in 100 ml	Escherichia coli in 100 ml	Koloniezahl in 1 ml	Illerwasseranteil Isotopenanalyse	entsprechend Temperaturmessung
Iller	0	55 10 800	25 5 300	1 100 5 100		
Meßstelle 145 770	25	0 2	0 0	20 51	0	0
151 770	120	0 0	0 0	0 20		Illerwasser bis 5 m Tiefe nachweisbar
150 770	140	— 0	— 0	— 2		kein Illerwasser nachweisbar
165 770	145	0 3	0 2	860 58		
164 770	230	2 3	0 2	140 76		
163 770	250	0 4	0 0	160 190		
162 770	320	1 4	0 4	84 350		
124 770	360	0 0	0 0	44 58	—18%	Illerwasser nachweisbar
161 770	410	0 0	0 0	— 280		
107 770	690	0 0	0 0	— 630		
123 770	900	0 0	0 0	— 420		

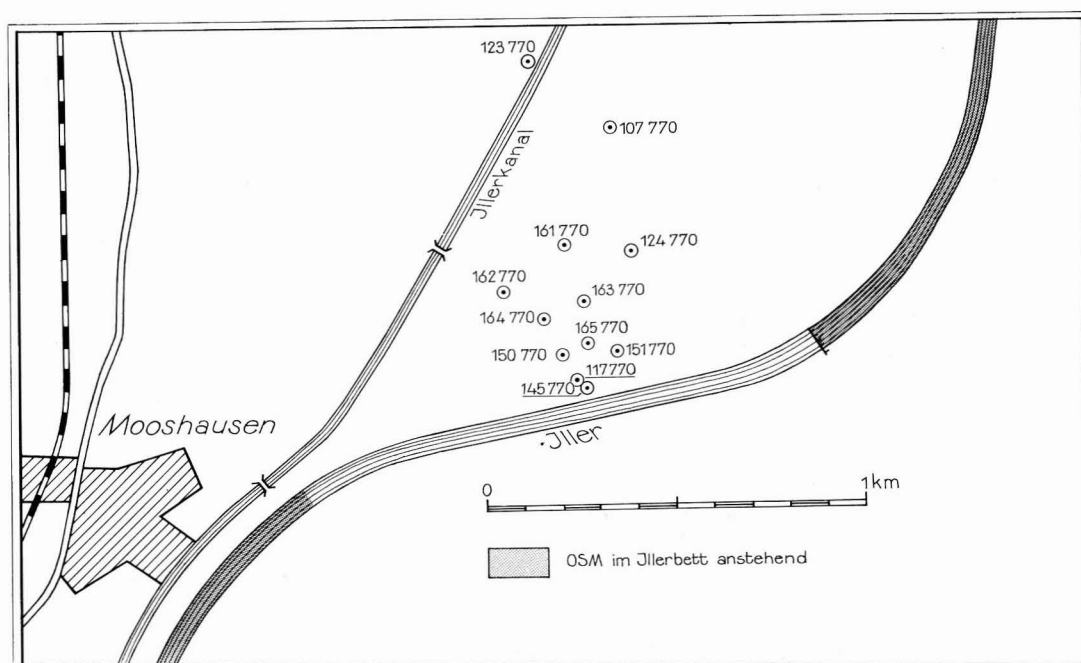


Abb. 5.3 Lageplan der Beprobungsstellen für hydrobakteriologische Untersuchungen bei Mooshausen

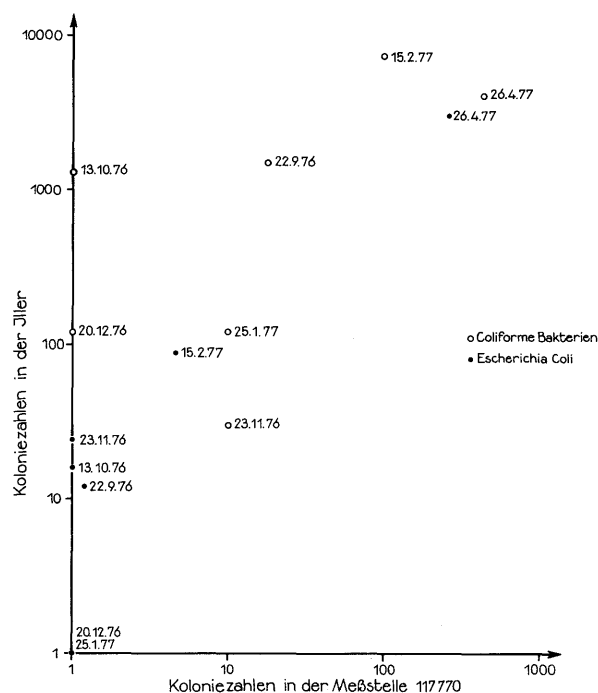


Abb. 5.4 Koloniezahlen in der Iller und der Meßstelle 117 770 bei Beprobung nach etwa 20 minütigem Abpumpen.

Tab. 5.4: Hygienisch relevante Koloniezahlen in 100 ml Illerwasser;
Mittelwerte sowie Maxima und Minima

Zeitraum	Beprobungsstelle	Coliforme Bakterien	Escherichia coli
in Trocken- periode: Probenahme am 31. 5./1. 6. 1978	oberhalb Kanal- ableitung	96 300 51 000–140 000	63 500 20 00–96 000
	oberhalb der Schwelle Moos- hausen	55 0–100	25 0–160
In Regen- periode: Probenahme am 10./11. 5. 1978	oberhalb Kanal- ableitung	290 000 79 500–604 000	807 000 288 000–1 800 000
	oberhalb der	10 750 Schwelle Moos- hausen	5 300 7 000–20 000
3 900–6 800			

5.4 Ergebnisse der Isotopenmessungen

Die Isotopenmessungen sind in den Jahren 1976–1978 vom Institut für Radiohydrometrie, München, durchgeführt wurden [45, 46, 48, 80]. Gemessen wurden z.T. in monatlichen Abständen die Isotopengehalte des Niederschlagswassers, der Oberflächengewässer (Iller, Bäche aus dem westlichen Hügelland und Baggerseen) und des Grundwassers. Gesamtübersichten ergaben sich aus Stichtagsmessungen:

Am 26./27. 4. 1977	an 75 Stellen
am 23. 5. 1977	an 45 Stellen
am 18./19. 10. 1977	an 153 Stellen

Die spezielle Anwendung von Isotopenbestimmungen zur Lösung hydrogeologischer Fragestellungen beruht auf den im Wasserkreislauf auftretenden natürlichen Schwankungen des Gehalts an stabilen Isotopen (^{18}O , ^2H). Es gibt eine Temperaturabhängigkeit der Isotopengehalte, die sich in jahreszeitlichen Schwankungen ausdrückt, weiter eine Abhängigkeit von der orographischen Höhe der Niederschlagsgebiete und Einzugsgebiete. Im einzelnen soll auf die Grundlagen der Isotopenbestimmung hier nicht näher eingegangen werden. Ausführliche Darstellungen enthalten MOSER & RAUERT [63] und STICHLER [80].

Im Illertal können das Niederschlagswasser und das Illerwasser nach ihrem Isotopengehalt deutlich voneinander unterschieden werden. Durch Zumischung dieser beiden Wässer ergeben sich im Grundwasser verschiedene Wassertypen. Das Grundwasser aus der Meßstelle 145 770 (unmittelbar neben der Iller gelegen) entspricht isotopisch dem Grundwasser aus dem Aitrachtal (Brunnen Aitrach). An dieser Meßstelle kann keine Infiltration des Illerwassers festgestellt werden, was auch durch bakteriologische und chemische Untersuchungen bestätigt wird (vgl. Kap. 5.2 und 5.3).

Der unterhalb des Illerbogens ungefähr in der Talmitte abfließende Hauptgrundwasserstrom enthält nach den Isotopenbestimmungen eine geringe Beimischung von Illerwasser.

Bei Mooshausen konnte die Einspeisung des Illerwassers quantitativ erfaßt werden. Die Mischungsberechnungen stützen sich auf Meßergebnisse aus den Meßstellen 124 770 und 125 770. Sie ergaben einen Anteil von Illerwasser von ca. 18%. Damit liegt gute Übereinstimmung mit den auf andere Weise ermittelten Anteilsbeträgen vor (vgl. Tab. 4.7).

Einen überwiegenden Anteil von Illerwasser enthält unterhalb des Illerbogens nur die flache Meßstelle 117 770 (ca. 50%). Weiter wurden überwiegende Anteile von Illerwasser im flachen Grundwasserstrom zwischen Illerkanal und Iller (Egelsee-Unteropfingen) ermittelt. Hier machen sich die Wasserzutritte aus der Iller und dem Illerkanal deutlich bemerkbar.

Unterhalb Dettingen ist nach den Isotopenbestimmungen das Grundwasser im wesentlichen durch die Zumischung von Niederschlagswasser geprägt. Auch dies ein Hinweis darauf, daß der Hauptgrundwasserstrom bei Dettingen in die Iller abfließt.

Eine geringe Zumischung von Niederschlagswasser ist südlich davon nur am Westrand des Tales zu erkennen. Etwa ab Bonlanden verstärkt sich dieser Einfluß.

6 Ergebnisse und Folgerungen

6.1 Das Untersuchungsgebiet

Das Erolzheimer Feld ist die größte Niederterrassenfläche des Illertales, eine Schotterebene, welche im Osten von der Illeraue (Illergieß), im Westen vom Talrand begrenzt wird und sich nach Süden bis Mooshausen und nach Norden bis Balzheim erstreckt. Das Kartierungsgebiet reicht über diesen Bereich hinaus im Osten bis zur Iller, im Süden bis ins Aitrachtal südlich Aitrach und im Norden bis nördlich Dietenheim. Außerdem wird im Hinblick auf den Grundwasserhaushalt des Illertales auch das Illereinzugsgebiet westlich des Tales betrachtet.

Im Tal sind mehrere Terrassenniveaus ausgebildet, die nach Norden hin konvergieren.

Während die beiden höheren Talstufen überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden, haben sich in den Illergießen noch Reste der alten Auenwälder erhalten.

6.2 Geologie

Der kiesige Grundwasserleiter des Kartierungsgebietes wird von der Oberen Süßwassermolasse unterlagert. Diese, eine Ablagerung des Tertiär, besitzt eine Mächtigkeit von 300 bis 450 m und ist, verglichen mit dem kiesigen Grundwasserleiter, nahezu wasserundurchlässig. Nur in Höhe von Erolzheim-Berkheim wird vom Illertal eine Abfolge gering wasserdurchlässiger, sandig-feinkiesiger Schichten der Molasse angeschnitten, die sogenannten Erolzheimer Sande (Kap. 2.5).

Aitrach- und unteres Illertal waren während der Würmvereisung ein zusammenhängendes Schmelzwassertal, über das die Schmelzwässer des östlichen Rheingletschers zur Donau abströmten.

Sie erodierten zuerst eine tiefe Rinne („Tiefe Aitrach-Rinne“), die dann aufgeschottert und durch Seitenerosion noch vergrößert wurde.

Die Iller, der Vorfluter des Illergletschers, war zu Beginn der Würmeiszeit vom Aitrachtal durch einen flachen Molasserücken getrennt und folgte dem bayerischen Rottal. Nachdem sie ihre Talung, das Memminger-, Steinheimer- und Fellheimer-Feld aufgeschottert hatte, überströmte und durchbrach sie den Molasserücken im Bereich des heutigen Memminger Trockentales und floß in das Erolzheimer Feld ab, das zu diesem Zeitpunkt etwa zu einem Drittel bereits von der Aitrach aufgeschottert war. Reste des Molasserückens haben sich in der Molasseschwelle zwischen Staubecken Tannheim und Unteropfingen erhalten. Wenig später brach die Iller in ihr heutiges Tal oberhalb Ferthofen durch, welches dadurch erodiert wurde und daher heute nahezu keine Schotterfüllung besitzt.

Entsprechend ihrer Herkunft aus dem Rheingletscher- oder Illergletschergebiet lassen sich die Schotter des Erolzheimer Feldes petrographisch unterscheiden, wobei jedoch beide Schottertypen einen hohen Anteil an Karbonatgestein aufweisen, der sich auf die Härte des Grundwassers auswirkt.

Aus der Flußgeschichte wird verständlich, warum die große Iller oberhalb Ferthofen nur von einem unbedeutenden Grundwasserstrom begleitet wird, deren kleiner Zufluß, die Aitrach, dagegen eine mächtige, schottererfüllte und grundwasserführende Rinne besitzt, die sich nach Norden bis zur Donau fortsetzt. Die Struktur dieser Rinne ist in Karte I dargestellt. Danach beträgt die Mächtigkeit des Grundwasserleiters im Norden bei Dietenheim bis etwa 15 m und steigt nach Süden bei Aitrach bis über 45 m an, wobei jedoch dort nur etwa 30 m grundwassererfüllt sind. Die Rinne ist bei Aitrach sehr schmal; sie weitet sich im Erolzheimer Feld als Folge der späteren Seitenerosion auf eine Breite von einigen km.

Das Rinnentiefe verläuft vom Aitrachtal kommend, nach zweimaliger Unterquerung der Iller bei Aitrach und Mooshausen etwa in der Mitte des Erolzheimer Feldes, d.h. zwischen dem Talrand im Westen und dem Molasserücken zwischen dem Staubecken Tannheim und Unteropfingen. Nördlich Dettingen bis Dietenheim folgt die Rinne etwa dem heutigen Lauf der Iller.

Die Durchlässigkeit der Rinnenschotter ist in der Rinnenmitte mit $k_f = 0,016$ bis $0,022$ m/s sehr hoch (vgl. Kap. 3.2). Zu den Talrändern hin nimmt die Durchlässigkeit ab. Im steil eingeschnittenen Rinnenabschnitt bei Aitrach ist die mittlere Durchlässigkeit, möglicherweise wegen Molasseeinla-

gerungen als Folge von Hangrutschungen während der Aufschotterungsphase sowie wegen gering durchlässiger Schotter im unteren Bereich des Grundwasserleiters, mit $k_f = 0,008 \text{ m/s}$ deutlich geringer.

Örtlich kann die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters von den genannten Mittelwerten stark abweichen. Sowohl Markierungsversuche als auch isotonenhydrologische Ein-Bohrloch-Messungen haben sehr unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten erkennen lassen. Diese wechselnde Durchlässigkeit des Grundwasserleiters wird durch dessen heterogenen Aufbau verursacht. Geringdurchlässige, tonige, schluffige, feinsandige Schichten wechseln mit Lagen sandfreier Kiese („Rollkiese“), welche aus lokal begrenzten Schotterbänken des eiszeitlichen Schmelzwasserflusses entstanden sind. Diese Kiesschichten bilden die bevorzugten Grundwasserfließbahnen und sind für die durch Markierungsversuche nachgewiesenen hohen Abstandsgeschwindigkeiten von über 50 m/d und die teilweise von der generellen Fließrichtung abweichenden Vertriftung der Markierungsstoffe verantwortlich. auch die in Pumpversuchen festgestellte horizontal-vertikale Anisotropie der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters von $A = 5$ bis 150 und die in den Meßstellen vielfach zu beobachtenden vertikalen Fließbewegungen haben ihre Ursache im Wechsel von Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit (vgl. Kap. 3.4). Diese Besonderheiten des Fließverhaltens sind bei Abwehrmaßnahmen im Zusammenhang mit Grundwasserverunreinigungen und bei der Beurteilung einzelner Wasseranalysen zu beachten.

6.3 Hydrologie

Der Grundwasserstrom aus dem Aitrachtal folgt im gesamten Kartierungsgebiet der Tiefen Rinne der Ur-Aitrach (vgl. Kap. 4.2.1). Bei Aitrach fließen in dieser Rinne etwa 900 l/s dem Kartierungsgebiet zu. Der größte Teil dieses Wassers tritt bei der ersten Unterquerung der Iller, nördlich der Aitrach, in diese aus. Versickernde Niederschläge, Grundwasserzuflüsse über die Ränder der Rinne sowie eine Einspeisung der Iller bei deren zweiten Unterquerung bei Mooshausen lassen den Grundwasserstrom dort wieder auf 600 bis 700 l/s anwachsen. Den größten Abfluß erreicht der Grundwasserstrom nördlich Erolzheim mit über 1600 l/s (s. Abb. 4.24). Die starke Zunahme des Grundwasserabflusses ist vor allem eine Folge der hohen Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Bei Niederschlagshöhen über 1000 mm/a im Süden und knapp 800 mm/a im Norden und einer mittleren Verdunstungshöhe von etwa 500 mm/a ergeben sich Grundwasserneubildungsraten von etwa 10 bis 15 l/s km^2 (vgl. Kap. 4.3.2).

Durch Austritte in Gräben, in die Ortskanalisation Dettingen sowie insbesondere in die Iller und den Illerkanal vermindert sich der Grundwasserabfluß bis Kirchberg auf etwa 700 l/s . Nördlich Kirchberg bildet sich auf der bayerischen Seite des Illertales ein zweiter Grundwasserstrom, welcher von dem westlich der Iller durch diese und den Illerkanal auf weite Strecken hydraulisch getrennt ist. Während der Abfluß des Grundwasserstromes östlich der Iller nach Norden zunimmt, vermindert sich der Abfluß des westlichen Stromes durch Grundwasseraustritte in Iller und teilweise auch Illerkanal bis Regglisweiler, wo die Iller an den westlichen Talrand stößt, auf Null. Insgesamt erhält der Grundwasserstrom aus Niederschlägen im kartierten Bereich einschließlich dem Einzugsgebiet im Westen des Tales eine Zusickerung von etwa 1500 l/s ; weitere 400 l/s werden aus Oberflächengewässern ins Grundwasser eingespeist (vgl. Kap. 4.3.4).

Im Grundwasser läßt sich das aus der Iller und dem Illerkanal zugesickerte Wasser anhand seines vom übrigen Grundwasser abweichenden Gehaltes an stabilen Isotopen sowie auch aufgrund seines Chemismus unterscheiden (vgl. Kap. 5.2 u. 5.4). Bakteriologisch dagegen hat die Einspeisung der Oberflächengewässer keine nennenswerten Auswirkungen. Untersuchungen haben gezeigt, daß bereits nach einem Fließweg von etwa 300 m , d.h. nach einer mittleren Fließdauer von höchstens 10 bis 15 Tagen, keine Keime mehr im Grundwasser festzustellen sind (Kap. 5.3). Dies wird durch die Ergebnisse von Bakterientriffsversuchen in der Größenordnung bestätigt (Kap. 3.7 und 3.8). Die Reichweiten blieben dort unter 80 m .

Die in den gut durchlässigen Deckschichten versickernden Niederschläge tragen einen großen Teil des auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten Düngers ins Grundwasser ein. Entsprechend nimmt der durchschnittliche Nitratgehalt des Grundwassers von 11 mg/l im oberen Aitrachtal bei Lauben auf 14 mg/l bei Aitrach und Mooshausen zu und erreicht bei Erolzheim Werte über 20 mg/l , wobei die höchsten Nitratkonzentrationen in den Sommermonaten auftreten. Ansonsten weist das Grundwasser einen mittleren Mineralisationsgrad bei einer Gesamthärte von etwa 5 bis 6 mval/l und geringen Gehalten an Chlorid und Sulfat auf (Kap. 5.2).

Da das Grundwassergefälle mit über 2‰ größer ist als das der Rinnensohle und kleiner als das heutige Talgefälle, nehmen nicht nur die Mächtigkeit des Grundwasserleiters und des Grundwasserkörpers, sondern auch die Flurabstände von Norden nach Süden zu. In der Flußau bei Dettingen betragen die Flurabstände teilweise unter 1 m; bei Brunnen dagegen steigen sie bis zu 20 m an (vgl. Kap. 4.2.4).

Entsprechend der Größe der Flurabstände wirken sich einzelne Niederschlagsereignisse unterschiedlich heftig auf den Gang der Grundwasserstände aus (vgl. Kap. 4.2.2). Ähnlich wie im Bereich geringer Flurabstände steigen auch am Talrand die Grundwasserstände wegen der dort versickernden Oberflächengewässer nach starken Niederschlägen schnell an. Der Einfluß der Iller auf die Grundwasserstände ist im wesentlichen auf die Bereiche von Aitrach, Mooshausen und nördlich Dettingen beschränkt. In diesen Gebieten hat auch der Illerausbau die Grundwasserstände nachhaltig verändert. Je nach Ausbauart der Iller, ob mit beweglichen Wehren oder festen Schwellen, zeigen die Grundwasserganglinien heute ein sehr unterschiedliches Bild.

Im zentralen Bereich des Erolzheimer Feldes macht sich das Speichervermögen des Grundwasserleiters bemerkbar, so daß dort der Gang der Grundwasserstände vor allem durch das langzeitige Niederschlagsgeschehen bestimmt wird. Im Mittel enthält dieser Speicher etwa 45 Mio m³ GW, das entspricht nahezu der während eines Jahres abfließenden Grundwassermenge.

Der kartierte Raum wurde in einem mathematischen Grundwassermodell nachgebildet. In diesem Modell sind Struktur und Eigenschaften des Grundwasserleiters sowie die maßgebenden Neubildungswerte erfaßt. Das Modell ist in der Lage, Grundwasserstände und -abflüsse für vorgegebene hydrologische Situationen nachzubilden, und somit auch geeignet, die Auswirkungen von Eingriffen in den Grundwasserhaushalt, wie beispielsweise Grundwasserentnahmen, vorzuberechnen.

6.4 Grundwassernutzung

Das kartierte Gebiet ist eines der bedeutendsten Grundwasservorkommen Oberschwabens. Es wird bisher nur in geringem Umfang für die örtliche Wasserversorgung genutzt. Das dort vorhandene Grundwasser ist hinsichtlich seiner Beschaffenheit als Trinkwasser gut geeignet.

Im Erolzheimer Feld können aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten im langjährigen Mittel etwas mehr als 1 m³/s Grundwasser gefördert werden, wobei die Entnahmen, wegen des großen Speichervermögens des Grundwasserleiters, kurzzeitig erheblich höher liegen können. Weitere etwa 0,5 m³/s Grundwasser sind bei Aitrach zu gewinnen, ohne daß dadurch das Grundwasserdargebot im Erolzheimer Feld beeinträchtigt wird. Wegen des geringen Grundwasserspeichervolumens ist dort jedoch eine kurzzeitige Steigerung dieser Förderung, wie im Erolzheimer Feld, nicht möglich.

Die Grundwasserentnahmen vermindern die Grundwasseraustritte im Vorfluter, d.h. letztlich in der Iller, wobei sich Entnahmen bei Aitrach unmittelbar, Entnahmen aus dem Erolzheimer Feld nur längerzeitig auswirken. Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf die Vegetation sind im wesentlichen nur im Bereich der geringen Flurabstände bei Dettingen zu befürchten. Wie Berechnungen mit Hilfe des mathematischen Modells gezeigt haben, wirken sich Grundwasserentnahmen im Erolzheimer Feld bis zu den genannten Größen nördlich Kirchberg und östlich der Iller nur noch geringfügig aus.

7 Literaturverzeichnis

- [1] BRECHTEL, M. H. (1969): Wald und Abfluß-Methoden zur Erforschung der Bedeutung des Waldes für das Wasserdargebot. – Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Sonderheft 1969; Koblenz
- [2] BUCHWALD, K. (1953): Pflanzensoziologische Karte des Wassermangelgebiets „Unteres Illertal“, 1 : 10000 mit Erläuterungen; Tübingen. [Als Manuskript vervielfältigt]
- [3] – (1954): Das Wassermangelgebiet „Unteres Illertal“, Entstehung, heutiger Zustand, Gesundheitungsmöglichkeiten; Tübingen. [Als Manuskript vervielfältigt]
- [4] COOPER, H. H. jr. & JACOB, C. E. (1964): A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. – Trans. Amer. Geophys. Union, **24**, No IV, 526–534
- [5] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch – Donaugebiet
Abflußjahr 1970 (1975). – Herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft; München
- [6] Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch – Sonderheft Land Baden-Württemberg – Abflußjahr 1970 (1976). – Herausgegeben von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Karlsruhe
- [7] DÜRBAUM, H.-J., KOHLMEIER, R. (1971): Digitale Registrierung von Wasserspiegelständen mit Hilfe von Ultraschall und Ausblick auf Anwendungen bei hydrologischen Pumpversuchen. – Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Nr. 35; Koblenz
- [8] EGGER, R. (1978): Grundwasser in der oberen Süßwassermolasse im Raum München und Augsburg. – Diss. Univ. München
- [9] ELLWANGER, D. (1980): Die Terrassen der Iller zwischen Memmingen und Kempten. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **76**; Stuttgart
- [10] – (1980): Rückzugsphasen des würmeiszeitlichen Illergletschers. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **76**; Stuttgart
- [11] FRIEDRICH, W., FRANZEN, H. (1960): Ein neuer Versickerungsmesser (Lysimeter). – Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Jg. 4; Koblenz
- [12] Gemeindebeschreibung für die Reichsbodenschätzung der Finanzamtsbezirke Biberach, Ravensburg und Memmingen

Geoelektrische Untersuchungen – Berichte des Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung; Hannover

- [13] FREI (1955): Erolzheim – Meßzeitraum 1954 – Gutachten Nr. I/2008/55. – Amt für Bodenforschung; Hannover
- [14] – BLOHM, E. K., HOMILIUS, J. (1968): Unterbalzheim I – Meßzeitraum 1965; Archiv Nr. 970
- [15] – DVORAK, E. (1975): Unterbalzheim II – Meßzeitraum 1973; Archiv-Nr. 30261
- [16] BROST, E. (fr. DVORAK) (1977): Aitrach/ Illertal (Mooshausen) – Meßzeitraum 1971–1977; Archiv BGR/NLFB Nr. 69105

Geophysikalische Bohrlochuntersuchungen – Berichte des Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung; Hannover

- [17] FRIEDRICH, H. (1977): Bereich Tannheim/Illtal – Meßzeitraum 1976; Archiv BGR/NLFB Nr. 78248
- [18] – LORCH, S. (1977): Bereich Kirchdorf/Erolzheimer Feld – Meßzeitraum 1977; Archiv BGR/NLFB Nr. 78769
- [19] – – (1977): Bereich Mooshausen/Illertal – Meßzeitraum 1977; Archiv BGR/NLFB Nr. 78765
- [20] – – (1977): Bereich Aitrach – Meßzeitraum 1977; Archiv BGR/NLFB 78764
- [21] – – (1981): Bereich Erolzheim – Meßzeitraum 1980; Archiv BGR/NLFB Nr. 87 360
- [22] GERMAN, R. (1959): Die Würmvereisung an Rhein- und Illergletscher zwischen Federseebecken und Günztal. – Geol. Bavar., **43**; München
- [23] GÖTTLICH, K. (1977), mit Beitr. von WERNER, J.: Erläuterungen zum Sonderblatt Östliches Württembergisches Allgäu und Illergebiet. – Moorkarte von Baden-Württemberg 1 : 50 000. – Herausgegeben vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg und dem Regierungspräsidium Tübingen, Abt. Wasserwirtschaft; Stuttgart
- [24] GRAUL, H. (1953): Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet. – Geol. Bavar., **18**; München
- [25] GROSS, R. (1925): Gutachten über die Grundwasserverhältnisse bei Erolzheim [unveröff.]; Stuttgart

- [26] **Großpumpversuch zur Erkundung des Grundwasservorkommens im Erolzheimer Feld – Illertal.** – Allgemeine Erläuterungen zur Durchführung und Auswertung des Großpumpversuchs. – Zweckverband Landeswasserversorgung; Stuttgart 1981
- [27] – Hydrogeologisches Gutachten über die Auswirkung des Pumpversuchs im Illertal. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg – Gutachten Nr. II/1 – 1950/79; Freiburg 1979
- [28] – Hydrogeologisches Gutachten zum Pumpversuch im Illertal: Ergebnisse der geohydraulischen Auswertung des digitalregistrierten Versuchsabschnitts. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg. – Gutachten Nr. II/1 – 1914/80; Freiburg 1981
- [29] – Grundwassermarkierungsversuche. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Medizinisches Landesuntersuchungsamt, Zweckverband Landeswasserversorgung; Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart – 1980
- [30] – Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Grundwasserbilanz. – Auswertung der hydrologischen Daten. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Karlsruhe 1981
- [31] – Anpassung des mathematischen Modells an den Großpumpversuch. – Ing. Büro Dr. Ing. G. BJÖRNSEN; Koblenz 1982
- [32] – Zusammenfassende Darstellung des Großpumpversuchs. – Zweckverband Landeswasserversorgung; Stuttgart 1982
- [33] **Grundwasservorkommen Erolzheimer Feld (Illertal).** (1975): 1. Teilbericht. – Ergebnisse der Erkundung und des Untersuchungsserie 1971–1974. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Freiburg, Karlsruhe
- [34] – (1975): 2. Teilbericht. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Karlsruhe
- [35] – (1976): 3. Teilbericht – Bd. I. – Auswirkung der Illerschwellen auf das Grundwasser im Raum Dietenheim – Balzheim. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Karlsruhe
- [36] – (1976): 3. Teilbericht – Bd. II. – Auswertung der Temperaturmessungen im unteren Illertal. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Karlsruhe
- [37] – Messung des Gehalts an Deuterium (D) und Sauerstoff-18 (¹⁸O) an Oberflächen und Grundwasserproben aus dem unteren Illertal im Zeitraum von Juli bis Dezember 1976. – Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH. München
- [38] – Hydrobakteriologische Untersuchungen. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft.
- [39] – (1978): 4. Teilbericht. – Ergebnis der Untersuchung von 1975–1977. – Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft; Freiburg, Karlsruhe
- [40] HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evapotranspiration. – Mitt. Dt. Wetterdienst 1, 8; Bad Kissingen
- [41] – (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. Dt. Wetterdienst, 2, 11; Bad Kissingen
- [42] HAUPT, B. (1979): Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag. – Ingenieurarbeit an der Fachhochschule Karlsruhe.
- [43] Ing.-Büro Dr.-Ing. G. BJÖRNSEN (1978): Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im Erolzheimer Feld/Illertal – Mathematisches Modell. – Erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft. – Koblenz
- [44] Institut für Radiohydrometrie der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München (1975): Bericht über radiohydrometrische Grundwasseruntersuchungen im Erolzheimer- und Tannheimer Feld. – Berichtszeitraum 11. 11. 1971 – 22. 6. 1972. – [unveröff.]
- [45] – (1978): Messungen des Gehalts an Deuterium und Sauerstoff-18 an Oberflächen- und Grundwasserproben aus dem unteren Illertal (Erolzheimer Feld). – In: Jahresbericht 1977 – GSF Bericht R 169; S 58–67; Neuherberg
- [46] – (1979): Messungen des Deuteriumgehalts an Grundwasserproben aus dem unteren Illertal (Erolzheimer Feld). – In: Jahresbericht 1978 – GSF Bericht R 207; S. 186–188; Neuherberg
- [47] – (1979): Bericht über radiohydrometrische Untersuchungen im Erolzheimer Feld, März 1979. – [unveröff.]

- [48] – (1980): Messungen des Deuteriumgehalts in Grund- und Flußwasserproben aus dem Erolzheimer Feld. – In: Jahresbericht 1978 – GSF Bericht R 240; S. 58–67; Neuherberg
- [49] JERZ, H. (1978): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000. – Blatt Nr. 7927 Amendingen mit Erläuterungen. – Bayer. Geol. Landesamt; München
- [50] JERZ, H., STEPHAN, W., STREIT, R & WEINIG, H. (1975): Zur Geologie des Iller-Mindel-Gebiets. – (mit einer Karte 1 : 100 000). – Geol. Bavar., **74**; München
- [51] KÄSS, W. (1967): Erfahrungen mit Uranin bei Färbversuchen. – Steir. Beitr. Hydrogeologie 1966/67; Graz
- [52] – (1978): Untersuchungsbericht zu den Grundwasserbeprobungen im Erolzheimer Feld vom August 1976–Dezember 1977 [unveröff.] Freiburg
- [53] – (1982): Routinemäßige Bestimmung von zwei Fluoreszenzfarbstoffen nebeneinander. – Beitr. zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, 28, I; Bern
- [54] KIDERLEN, H. (1931): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süddeutschen Tertiärs. – N. Jb. Mineral. usw., **66**, Beil. – Bd. Abt. B; Stuttgart
- [55] Klimaatlas von Baden-Württemberg (1953). – Herausg. vom Deutschen Wetterdienst; Bad Kissingen
- [56] KÖNIG, K. (1978): 10. Fortbildungslehrgang für Hydrologie des DVWW; Karlsruhe
- [57] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg – Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft (1975): 1. und 2. Bericht Grundwasserneubildung; Karlsruhe
- [58] LANG, A. (1976): Gutachten der zukünftigen Wasserversorgung Stuttgart erstattet im Auftrag der Amtskörperschaft Neuenbürg und der Verbände der Wasserwerksbetriebe des oberen und unteren Enztals, Düsseldorf [unveröff.]
- [59] LEMCKE, K., ENGELHARDT, W. v. F ÜCHTBAUER, H. (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. – Beih. Geol. Jb., **11**; Hannover
- [60] LOY, R. A. (1957): Sanierung eines Flußtals am Beispiel der Unteren Iller. – Diss. TH Karlsruhe
- [61] MAROTZ, G. (1967): Möglichkeiten und Grenzen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund des Tals der unteren Iller. – Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Grundbau und Wasserbau der Universität Stuttgart, H. 7, Stuttgart
- [62] – (1975): Studie über den Ausbau eines unterirdischen Speichers im Erolzheimer Feld/Iller. – Technischer Bericht des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart
- [63] MOSER, H., RAUERT, W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie. Lehrbuch der Hydrogeologie Band 8 (Ed.: G. MATTHESS). Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart
- [64] NEUMAN, S. P. (1975): Anaysis of Pumping Test Data from Anisotropie unconfined Aquifers Considering Delayed Gravity Response. – Water Res. Research Vol 11, No 2 S 329
- [65] PENCK, A., BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. – 3. Bd., Leipzig
- Pumpversuche** – Registrierung der Grundwasserspiegeländerungen – Berichte des Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung; Hannover
- [66] BRUNKE, H., KOHLMEIER, R (1978): Pumpversuch Aitrach; Archiv BGR/NLfB Nr.: 79300
- [67] – (1978): Pumpversuch Mooshausen; Archiv BGR/NLfB Nr.: 79301
- [68] – (1980): Pumpversuch Erolzheimer Feld; Archiv BGR/NLfB Nr.: 85546 Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung; Hannover
- [69] RENGGER, M. (1964): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung **15**; 353–366; Berlin, Hamburg
- [70] SAUTY, J.-P. (1977): Contribution à l'indentification des paramètres de dispersion dans les aquifères par interpretation des experiences de tracage. – BRGM, 77 SGN S 15 HYP; Grenoble
- [71] SCHAEFER, J. (1953): Zur Gliederung der Würmeiszeit im Illergebiet. Stellungnahme zu den Ausführungen H. GRAUL's. – Geol. Bavar., **18**; München
- [72] SCHAEFER, R. (1925): Bericht über die geologische und hydrologische Untersuchung im Illertal zwischen Mooshausen und Kirchberg a.d. Iller. – Gutachten im Auftrag des Oberschwäbischen Elektrizitätswerks; Biberach
- [73] SCHENDEL, U. (1969): Messungen mit Grundwasserlysimetern über den Wasserverbrauch aus oberflächennahem Grundwasser. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung **9**
- [74] SCHÖBER, R. (1950): Die Möglichkeit der Gewinnung von Grundwasser im Illertal zwischen Illerrieden und Erolzheim. – Gutachten erstattet im Auftrag des Technischen Landesamts (Württemberg-Baden); Ludwigsburg

- [75] SCHREINER, A., EBEL, R. (1981): Quartärgeologische Untersuchungen in der Umgebung von Interglazialvorkommen im östlichen Rheingletschergebiet (Baden-Württemberg). – Geol. Jb., A 59; Hannover
- [76] SCHRÖDER, M. (1976): Grundsätzliches zum Einsatz von Lysimetern – Erfahrungen aus Nordrhein-Westfalen. – Dt. gewässerkundl. Mitt. 20; Koblenz
- [77] SCHWEIZER, R. (1980): THPUMP-Programm zur Auswertung von Pumpversuchen nach THEIS: Bestimmung von Transmissivität und Speicherkoeffizient für einzelne Meßstellen [unveröff.]; Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg
- [78] Städtische Wasserwerke Stuttgart (1909): Die Neugestaltung der Wasserversorgung der Stadt Stuttgart. Verfaßt im Auftrag der Bürgerlichen Kollegien; Stuttgart
- [79] STALLMAN, R. W. (1962): Variable discharge without vertical leakage. In: FERRIS, J. G. et al.: Theory of aquifer tests. – Geol. Survey Water-Supply Paper 1536–E: 118–122
- [80] STICHLER, W. (1981): Identifizierung von Grundwässern anhand ihres Gehalts an stabilen Isotopen. – Festschrift Josef G. Zötl; Graz
- [81] STÖBER, I. (1980): Bestimmung von Aquiferparametern aus Markierungsversuchen in Porengrundwasserleitern mit analytischen Lösungen. – Dipl.-Arbeit am Geographischen Institut der Univ. Freiburg i. Br. [unveröff.]
- [82] VILLINGER, E. (1971): In JOACHIM, H., VILLINGER, E.: Die Hydrogeologische Kartierung in Baden-Württemberg – Aufgaben und Ergebnisse einer Probekartierung 1968. – GWF, 112, H. 10; München
- [83] WELLER, E. (1953): Die natürlichen Veränderungen des Illerlaufs in historischer Zeit und ihre Einwirkungen auf das Landschaftsbild. – Diss. Tübingen
- [84] WERNER, J., STRAYLE, G. & WALSER, M. (1974): Möglichkeiten der Grundwassererschließung und -anreicherung im Gebiet der Leutkircher Heide (Oberschwaben). – GWF, 115, H. 12, München
- [85] WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde. – Springer-Verlag, Berlin
- [86] – (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In GRAHAM, R: Die Grundwässer in der BRD und ihre Nutzung – Forsch. dt. Landeskunde 104; Remagen

8 Aufschlußliste zu Karte I

8.1 Bohrungen für Grundwassermeßstellen des Landesmeßnetz (vgl. Karte II und III)

Die letzten drei Ziffern der Meßstellen-
nummer sind Kennziffer für die
Topographische Karte 1 : 25000 (TK 25)

Kennziffer	TK 25
767	7726
768	7826
769	7926
770	8026

Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)		Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)	
	m u. Gelände	m + NN		m u. Gelände	m + NN
149 767	4,2	502,4	145 769	20,0	542,5
150 767	5,6	501,1	146 769	22,8	544,8
151 767	4,6	503,8	148 769	20,0	555,1
152 767	11,1	497,8	149 769	14,7	563,1
153 767	13,9	496,2	150 769	20,2	555,2
154 767	4,7	505,8	155 769	26,4	552,1
155 767	13,2	498,3	156 769	20,0	547,3
156 767	10,1	500,6	157 769	>22,0	<549,9
157 767	14,2	498,6	158 769	28,0	552,0
158 767	4,8	507,3	161 769	18,0	534,7
159 767	13,9	499,2	162 769	10,5	567,0
160 767	7,6	507,6	163 769	7,6	552,2
161 767	11,9	501,8	164 769	12,5	553,2
162 767	15,2	499,3	165 769	5,9	554,9
163 767	8,1	509,2	166 769	14,2	554,2
09 750 ¹	16,2	497,6	167 769	4,0	567,6
09 751 ¹	15,0	499,4	168 769	6,5	547,8
09 752 ¹	12,5	502,1	169 769	14,4	546,1
09 753 ¹	11,9	504,9	170 769 ²	7,0	547,5
116 768	10,7	506,2	171 769 ²	OSM	—
126 768	13,0	505,0	172 769 ²	5,0	554,0
129 768	3,8	515,8	174 769 ²	OSM	—
160 768	15,5	520,5	175 769 ²	OSM	—
161 768	17,0	519,8	176 769 ²	8,0	559,8
162 768	14,8	525,1	179 769	15,3	532,7
163 768	15,8	522,4	180 769	4,6	545,0
164 768	11,8	527,0	181 769 ²	4,6	545,0
165 768	5,8	536,7	182 769	18,0	535,2
166 768	10,2	530,6	183 769 ²	18,0	535,2
167 768	13,1	529,1	184 769	24,0	530,2
171 768	17,5	512,9	185 769	17,5	536,7
174 768	10,0	537,3	186 769	5,8	547,8
100 769 ²	15,0	532,5	187 769	6,0	548,7
131 769	23,4	553,1	188 769	10,5	551,6
135 769	16,5	539,4	189 769	25,0	535,9
139 769	15,5	534,7	190 769	24,0	539,5
140 769	11,5	541,1	191 769	8,0	559,2
141 769	18,0	539,8	192 769	9,5	564,4
142 769	17,0	543,9	193 769	18,0	539,6
143 769	6,2	542,4	194 769	16,0	529,9
144 769	15,0	546,2	104 770	30,5	556,3
			107 770	23,5	557,5
			121 770	30,0	556,4
			122 770	29,5	554,7
			123 770	25,5	557,5
			124 770	28,0	553,4
			125 770	23,7	557,9
			134 770	41,0	571,5
			135 770	46,7	566,9
			136 770	38,2	567,9
			137 770	15,5	597,1
			138 770	15,8	583,1
			139 770	46,4	568,9
			140 770	30,5	554,8
			141 770	16,5	568,1
			142 770	17,0	571,4
			143 770	10,0	579,8
			144 770	10,5	581,0
			145 770	25,8	556,0
			146 770	21,0	586,5

Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)		Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)	
	m u. Gelände	m + NN		m u. Gelände	m + NN
147 770	36,0	561,3	36	19,8	541,9
148 770	8,4	578,0	37	20,4	541,7
149 770	29,0	562,0	38	23,0	539,8
153 770	25,0	556,5	39	14,0	549,1
155 770	28,5	562,0	40	4,8	552,4
156 770	29,0	570,5	41	4,5	558,0
157 770	20,6	575,4	42	3,3	559,5
158 770	20,0	576,0	43	9,0	554,8
159 770	7,0	591,5	44	6,0	558,3
162 770	14,4	568,1	45	7,7	553,3
167 770	22,4	558,6	46	4,1	556,4
168 770	25,5	585,7	47	4,0	559,4
169 770	37,0	577,5	48	3,6	559,0
170 770	46,0	570,0	49	4,0	560,1
171 770	38,0	577,0	50	4,7	558,9
172 770	26,5	588,0	51	3,0	560,8
175 770	22,5	567,5	52	14,0	556,8
176 770	32,0	564,0	53	4,2	560,7

8.2 Verfüllte Aufschlußbohrungen (fortlaufende Numerierung von N nach S)

Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)		Nr.	Basis des Grundwasserleiters (Quartär)	
	m u. Gelände	m + NN		m u. Gelände	m + NN
1	13,0	503,3	54	4,6	560,4
2	10,5	511,8	55	3,8	561,0
3	13,8	516,0	56	4,2	560,8
4	13,0	518,4	58	2,7	563,4
5	13,5	517,1	59	24,0	551,0
6	13,0	518,8	60	24,3	551,2
7	15,2	515,8	61	24,1	551,9
8	13,2	515,5	62	26,1	549,9
9	11,0	517,5	63	24,3	551,7
10	14,0	518,8	64	16,7	559,0
11	11,3	518,7	65	6,7	566,0
12	13,5	519,3	66	28,0	550,8
13	13,2	520,9	67	7,0	587,0
14	10,6	523,9	68	4,5	580,5
15	14,0	523,8	69	11,0	584,5
16	>15,0	<521,4	70	4,7	585,8
17	>15,0	<522,1	8.3 Brunnenbohrungen		
18	14,5	526,5			
19	9,0	534,5			
20	13,2	529,2			
21	5,0	541,0			
22	4,6	542,6			
23	3,9	543,6			
24	4,5	544,5			
25	18,0	534,4			
26	18,2	534,5			
27	17,0	536,3			
28	19,4	533,7			
29 ²	20,0	536,8			
30	4,7	548,0			
31	21,0	539,0			
32	20,0	540,8			
33	20,0	541,0			
34	20,7	540,9			
35	19,0	542,2			

¹ Grundwassermeßstellen des bayerischen Landesmeßnetz auf TK 25 Nr. 7726

² OSM mit Erolzheimer Sanden