

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

M. Bauer, W. Engesser & H. Schnell

Stichwörter

Muschelkalk, Hydrogeologie, Pumpversuche, Markierungsversuche

Zusammenfassung

Im Rahmen der hydrogeologischen Untersuchungen und des Grundwasserüberwachungsprogramms für die Sonderabfalldeponie (SAD) Billigheim sind zahlreiche Daten angefallen, die eine detaillierte hydraulische Beschreibung des Muschelkalks am Rande der Baulandmulde erlauben.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Ausstrichbereich des Oberen Muschelkalks auf einer durch Bohrungen und seismischen Messungen nachgewiesenen, das gesamte Gebirgsprofil betreffenden Flexurzone. Die Subrosion und die damit verbundene Auslaugungstektonik in der Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks ist praktisch abgeschlossen. Als Folge davon ist der Schichtverband des Oberen Muschelkalks stark aufgelockert.

Im Untersuchungsgebiet ist eine für den Muschelkalk charakteristische hydraulische Stockwerksgliederung ausgebildet. Die Ergebnisse von Pumpversuchen und Markierungsversuchen weisen für den Hauptaquifer (Oberer Muschelkalk und Obere Dolomitformation des Mittleren Muschelkalks) niedrige Transmissivitäten (T ca. $0,00005 \text{ m}^2/\text{s}$) und niedrige Grundwasserfließgeschwindigkeiten (ca. $0,5$ bis $1,0 \text{ m/Tag}$) aus. Der Hauptaquifer ähnelt somit in seinen hydraulischen Eigenschaften einem gering durchlässigen Porengrundwasserleiter. Hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften treten jedoch große Inhomogenitäten

Anschriften der Verfasser:

M. Bauer & W. Engesser

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Albertstraße 5, D-79104 Freiburg i. Br.

H. Schnell

HIM GmbH, Ziegelhütte, D-74842 Billigheim

ten auf, die auf dem Kluftsystem beruhen und zu großen Variationen bei der Grundwasserfließrichtung führen.

Results of long term hydrogeological investigations in the karstified Muschelkalk of the Bauland (Neckar-Odenwald-Kreis)

Key words

Muschelkalk, hydrogeology, pumping tests, tracer tests

Abstract

The hydrogeological investigations and the groundwater monitoring program of the hazardous waste disposal site Billigheim yielded numerous data which allow a detailed hydraulic characterisation of the Muschelkalk aquifer at the margin of the 'Baulandmulde' in Northern Baden-Württemberg.

The disposal site is located in the outcrop area of the Upper Muschelkalk on a flexure zone, detected by drillings and seismic measurements and affecting the whole mountain profile. The subsidence and the induced tectonics in the salinar-formation of the Middle Muschelkalk is practically finished. As a consequence, the layers of the Upper Muschelkalk are strongly broken up.

In the study area a characteristic hydraulic layering of the aquifer can be found, which is typical for the Muschelkalk. For the main aquifer (Upper Muschelkalk and Upper Dolomite-Formation of the Middle Muschelkalk) results of pumping tests and tracer experiments show low transmissivities (about $0.00005 \text{ m}^2/\text{s}$) and low groundwater flow velocities (about 0.5 to 1 m/d). The hydraulic characteristics of the main aquifer are similar to those of a porous aquifer with low conductivity. In contrast to porous aquifers there are large inhomogeneities of the hydraulic properties due to the fracture system. They are responsible for a wide variety of groundwater flow directions.

1. Einleitung

Im Neckar-Odenwald-Kreis (nördliches Baden-Württemberg) liegt etwa 12 km östlich der Stadt Mosbach die von der HIM betriebene Sonderabfalldeponie Billigheim. Eigentümer der Deponie ist die landeseigene Betreiberfirma SAD BW (Sonderabfalldeponiegesellschaft Baden-Württemberg mbH, Malsch).

Seit 1974 wurden umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt, um den Gebirgsaufbau und die Grundwasserfließverhältnisse im Umfeld der Deponie detailliert zu erkunden. Die Grundlage der Untersuchungen bilden 54 zum Teil gekernte Bohrungen.

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

Alle Bohrungen wurden geophysikalisch mit dem Gamma-Log, das eine eindeutige stratigraphische Gliederung der Schichtenfolge ermöglicht, vermessen. Zusätzlich zu den Bohrungen wurden geophysikalische Feldmessungen, hochauflösende Reflexionsseismik und Geomagnetik zur Klärung der tektonischen Strukturen und der Schichtlagerung durchgeführt. Die 16 Grundwassermessstellen des sogenannten engeren Messnetzes wurden zum Teil wöchentlich hydrochemisch untersucht. Die Grundwassermessstellen B23/I und 23/II am Ostrand der Deponie kontrollieren den Zustrombereich, die anderen am westlichen und südlichen Rand den Abstrom der Deponie.

Im Zusammenhang mit den Kontrolluntersuchungen sowie zahlreichen Pumpversuchen und vier Markierungsversuchen sind in den zurückliegenden 30 Jahren sehr umfangreiche geologische, hydrogeologische und hydrochemische Daten angefallen, die eine fundierte Beschreibung der Fließverhältnisse an diesem Muschelkalkstandort erlauben, wobei insbesondere auch langfristig ablaufende Prozesse mit beschrieben werden können.

PLUM & KREJCI (1997) sowie KREJCI (1994) veröffentlichten eine erste Beschreibung der hydrogeologischen Situation der Deponie. Ende 1999 wurden die bis dato vorliegenden Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen im Auftrag des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB) von der Firma Hydroisotop GmbH ausgewertet (HYDROISOTOP 2000). Die Zusammenführung der komplexen Informationen zum geologischen Bau und den aus den Kontrolluntersuchungen abzuleitenden Ergebnissen erfolgte in einem Bericht des LGRB im Frühjahr 2004 (LGRB 2004).

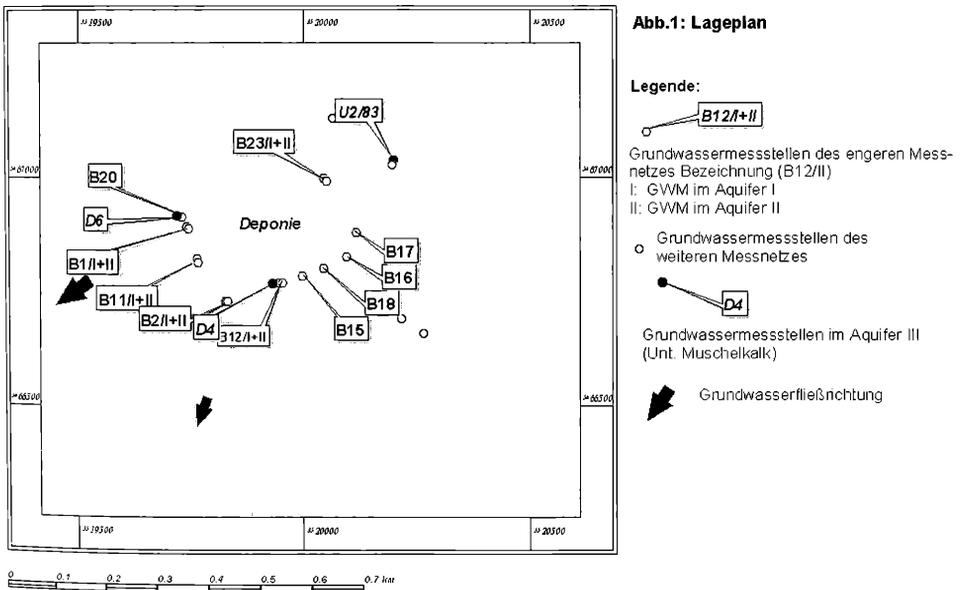


Abb. 1: Lageplan.

2. Geologie

Die Deponie liegt in einer wannenartigen Struktur auf einem Vorkommen von quartärem Löß und Lößlehm, das Gesteine des Oberen Muschelkalks überdeckt (Abb. 1). In der Abb. 2 wurde für die Kernbohrung D6, die am nordwestlichen Rand der Deponie abgeteuft wurde, das Gamma-log (geophysikalische Bohrlochmessmethode zur Registrierung von Tonsteinlagen durch Messung der natürlichen Radioaktivität der Gesteinsschichten) zusammen mit der stratigrafischen und hydrogeologischen Gliederung dargestellt.

Oberer Muschelkalk (mo)

Der Obere Muschelkalk steht im Bereich des Schmelzenhofes mit seiner ursprünglichen Mächtigkeit von ca. 90 m an. Hier ist noch eine Überdeckung mit Gesteinen des Unterkeupers (ku) vorhanden. Im Bereich des Deponiegeländes ist der Obere Muschelkalk zum Teil abgetragen und durch Subrosion im Mittleren Muschelkalk eingesackt.

Besonders hervorzuheben sind die etwa 8 m mächtigen Haßmersheim - Schichten, eine Wechselfolge aus 4 Kalksteinbänken (Trochitenbänken) mit Tonsteinen, die in Bohrungen eine sichere hydrogeologische Gliederung ermöglichen (vgl. Abb. 3, markante Ausschläge im Gamma-log in Abb. 2).

Die Kernbohrungen, vor allem D4 und D6 zeigen, dass der Obere Muschelkalk stark zerrütet ist. Die zahlreichen Klüfte und häufig auch Schichtflächen zeigen rostige Verfärbungen. Diese ausgeprägte Zerstückelung im Oberen Muschelkalk ist eine Folge der Nachsackungen, die durch Salz- und Gipsauslaugung (Subrosion) im Mittleren Muschelkalk verursacht wurde. Die Subrosion verursacht die sogenannte Auslaugungstektonik, die eine unruhige Schichtlagerung und geringe Schichtversätze bedingt. In den Kernbohrungen sind im Oberen Muschelkalk keine Versturzmassen zu erkennen. Auch aus den Bohrungen, die im Lufthammerverfahren abgeteuft wurden, ergaben sich keine Hinweise auf Hohlräume durch Verkarstungserscheinungen.

Mittlerer Muschelkalk (mm)

Der obere Teil des Mittleren Muschelkalks wird von der **Oberen Dolomit – Formation** (mmDo) gebildet, die etwa 12 -13 m mächtig ist und direkt über den Rückstandstonen der Salinar - Formation (mmS) liegt. Die Dolomitsteine enthalten verbreitet Zellendolomite mit erhöhter Porosität; sie sind etwas stärker verkarstet und bilden bevorzugte Fließbahnen für das Grundwasser.

Die **Salinar – Formation (mmS)** bestand primär aus gut wasserlöslichen Sulfatgesteinen (Gips- und Anhydrit) und Steinsalz sowie aus Dolomit- und Tonsteinen. Mächtigkeit und Ausbildung der Salinar-Formation sind variabel und vom Ausmaß der Auslaugung von Salz- und Sulfatgestein, der Subrosion, abhängig.

Die vollständige salinare Abfolge umfasst z.B. in der Solebohrung Rappenau mit der Steinsalzabfolge ca. 76 m (SIMON 1999). Das Steinsalz ist in der Umgebung der SAD Billigheim generell vollständig ausgelaugt. Unter Überdeckung durch Keupergesteine können die Sulfatgesteine allerdings noch vollständig in zwei Lagern vorhanden sein. In der Bohrung für die Grundwassermessstelle (GWM) P2, ca. 500 m südlich der SAD haben die Sulfatgesteine im Mittleren Muschelkalk noch nahezu die ursprüngliche Mächtigkeit von ca. 45 m (vgl. Abb. 6). In Bereichen, wo der Keuper durch Erosion bereits abgetragen ist, sind die Sulfatgesteine im Mittleren Muschelkalk durch Subrosion jedoch weitgehend oder sogar

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

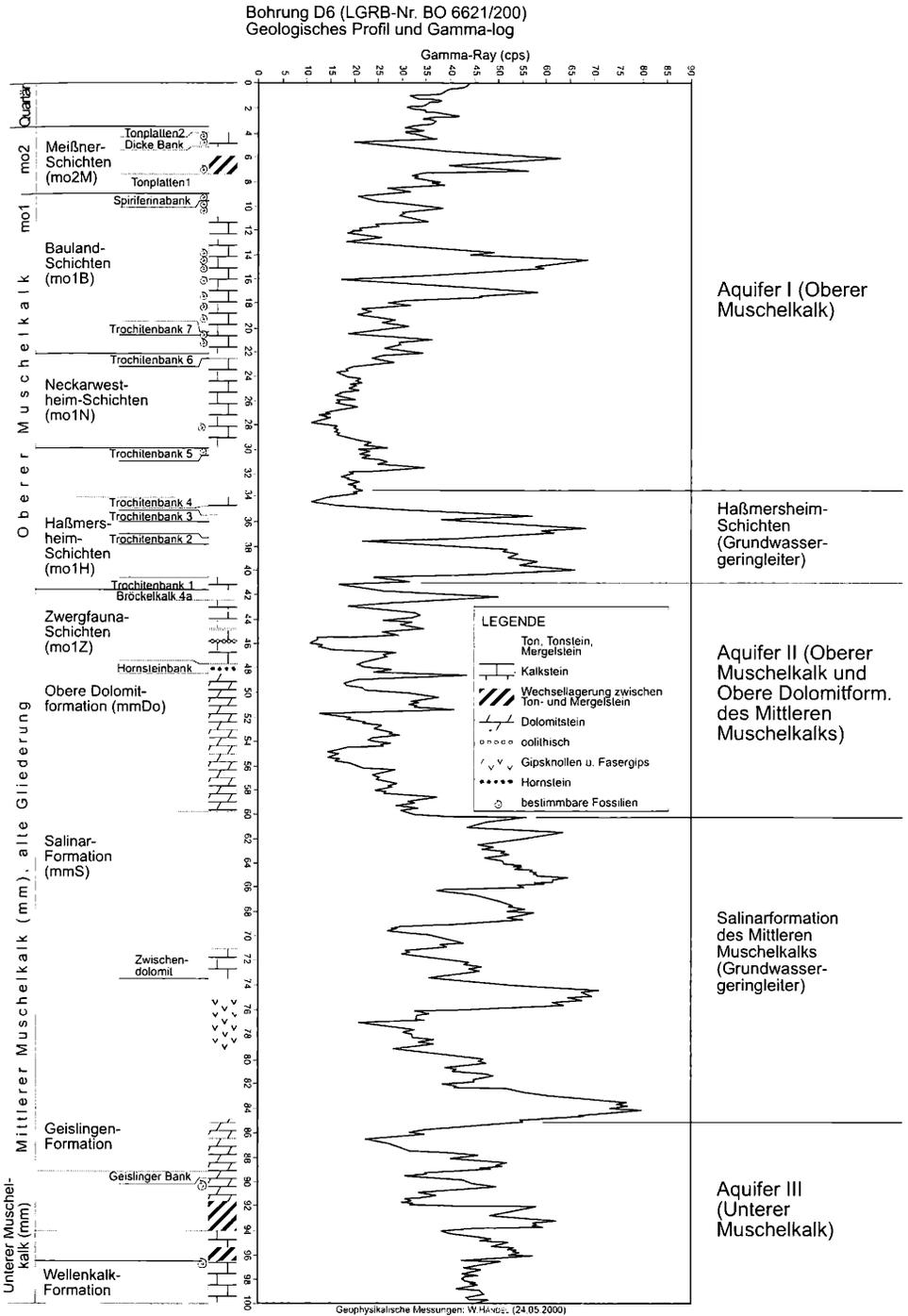


Abb. 2: Hydrogeologischer Bau.

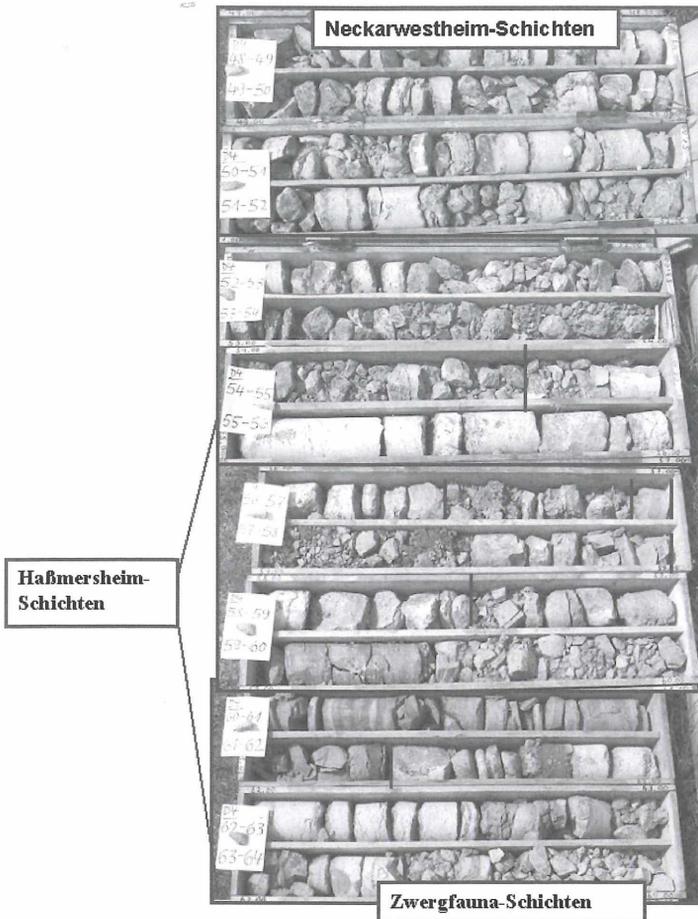


Abb. 3: Fotodokumentation Neckarwestheim-Schichten (Aquifer I) und Haßmersheim-Schichten (Grundwassereringleiter mit den Trochitenbänken T1 - T4).

vollständig ausgelaugt. Bei vollständiger Auslaugung sind nur noch die sogenannten Rückstandstone (Residualtone) vorhanden. Diese Tone waren ehemals tonige Einlagerungen, die in den Salz-, Gips- und Anhydritgesteinen vorhanden waren. Die Mächtigkeit der ausgelaugten Salinaren Formation des Mittleren Muschelkalks beträgt in der Bohrung D6 am nordwestlichen Rand der Deponie nur noch etwa 30 m.

Die beiden tiefen Kernbohrungen am Deponierand sowie weitere im Deponiebereich abgeteufte Bohrungen haben nachgewiesen, dass unter der Deponie keine Gipsflöze mehr vorhanden sind. Wie aus dem in der Abb. 4 dargestellten Foto zu ersehen ist, finden sich in die Rückstandstone isoliert eingebettet noch einzelne Gipschollen und Brocken. Die als Folge der Salz- und Gipsauslaugung gebildeten Residualtone zeigen in den Bohrungen im näheren Deponieumfeld nur geringe Mächtigkeitsschwankungen von wenigen Metern, so dass auf flächenhaft abgelaufene Subrosionsprozesse geschlossen wird. Die in die Tone ein-

gebetteten isolierten Gipsreste sind somit heutigen intensiven Auslaugungsvorgängen entzogen.

Die intensive lokale Gipsauslaugung im Mittleren Muschelkalk im Bereich der SAD wurde durch die stärkere Gebirgsauflockerung im Bereich der Flexurzone in geologischen Zeiträumen begünstigt und führte zur Ausbildung einer „Subsionswanne“. Auch heute ist noch zu erkennen, dass das im Streichen der Flexurzone angelegte Schmelzenhof-Tal die südwärts voranschreitende Gipslösung fördert.

Unter der Salinar-Formation folgt die geringmächtige **Geislingen – Formation (mmG)**, die aus Dolomiten und Tonsteinen besteht. Die Grenze zum Unteren Muschelkalk ist hier wegen ähnlicher fazieller Ausbildung oft nicht scharf zu erkennen.

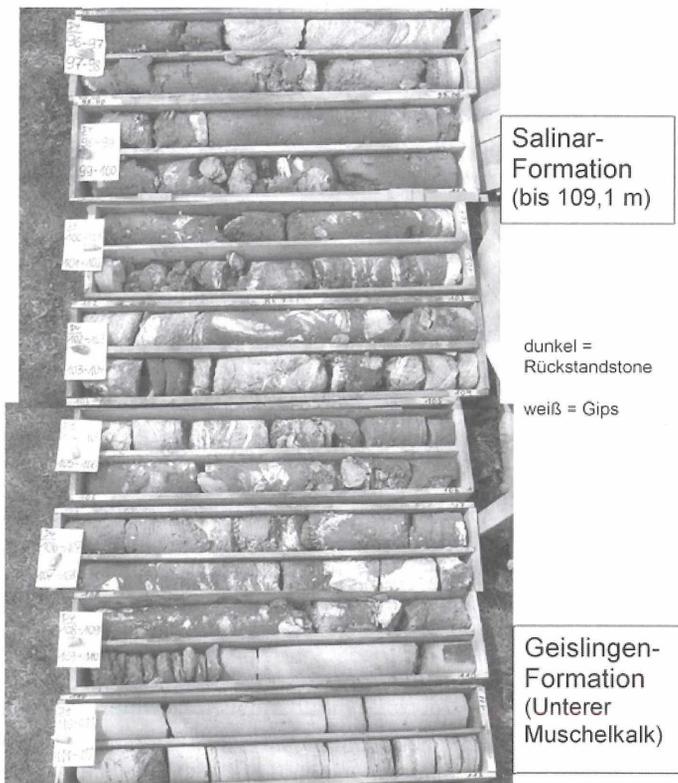


Abb. 4: Fotodokumentation Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks und Geislingen-Formation des Unteren Muschelkalks (Aquifer III). Fotos der Bohrkern im Abschnitt des Mittleren Muschelkalks in der Bohrung D4, Tiefenabschnitt 80 bis 112 m unter Gelände.

Untere Muschelkalk (mu)

Der Untere Muschelkalk wird im Untersuchungsgebiet in einer Tiefenlage von 60 bis 110 m unter Gelände angetroffen. Er weist erfahrungsgemäß eine konstante Mächtigkeit

von etwa 70 m auf und wird heute in die Wellenkalk-Formation (muW) und die Mosbach-Formation (muM) gegliedert.

Die im Zusammenhang mit der Deponie abgeteuften Bohrungen haben nur die obersten Schichten des Unteren Muschelkalks erschlossen. In der Abb. 4 sind die kompakten Kerne der Kalksteine des Unteren Muschelkalks zu erkennen. Die Kalksteine sind im Gegensatz zu denen des Oberen Muschelkalks wenig geklüftet und unverwittert. Die erbohrten Kalksteine sind somit kompakt, da sie nicht durch die Auslaugungsvorgänge des Mittleren Muschelkalks betroffen wurden. Größere offene Klüfte wurden in den Bohrungen nicht angetroffen.

3. Schichtlagerung und Tektonik

Billigheim liegt an der Nordflanke der Baulandmulde. Großräumig fallen die Schichten hier flach nach Südosten ein. Auf der Grundlage der geophysikalischen Feldmessungen und den Bohrungen ergaben sich Hinweise auf eine ausgeprägte Stockwerkstektonik.

Tiefgründige tektonische Prozesse haben das gesamte mesozoische Schichtpaket und das Grundgebirge erfasst. Wie aus der Abb. 5 und 6 (Hydrogeologische Schnitte) ersichtlich ist, wurden die Schichten durch eine Flexurzone verbogen. Drei tektonische Schollen lassen sich unterscheiden:

Ostteil (Hochscholle): in etwa söhlige Lagerung, leichtes Einfallen nach SSW

Mittelteil (Flexurzone): starkes Einfallen nach SW

Westteil (Tiefscholle): leichtes Einfallen nach SSO

Die Flexurzone verläuft steil herzynisch (NNW - SSO). Der höhenmäßige Versatz zwischen der Hoch- und Tiefscholle beträgt ca. 30 m.

Durch das Auslaugen von Salz- und Sulfatgestein entstand eine flachgründige Auslaugungstektonik, die die Schichten über der Salinarfolge des Mittleren Muschelkalk erfasst hat. Sie überlagert die tiefgründige Tektonik und verursacht eine kleinräumig unruhige Schichtlagerung, die durch zahlreiche kleinere, flache Störungszonen bedingt ist.

Das Einfallen der Schichten wurde in der Abb. 7, in der beispielhaft die Linien gleicher Höhenlage der Oberkante der Haßmersheim-Schichten eingetragen sind, dargestellt.

4. Hydrologische Verhältnisse

Von der Niederschlagsstation bei der SAD Billigheim liegen Tagesniederschlagsmessungen seit 1984 vor. Die mittlere Niederschlagssumme für den 20-jährigen Untersuchungszeitraum von 1984 bis 2003 beträgt 798 mm/a. Die höchste jährliche Niederschlagsmenge wurde 2002 (1067 mm/a), die niedrigste 2003 gemessen (555 mm/a, vgl. Abb. 8).

Die Variationen bei den jährlichen Niederschlagsmengen bedingen große Variationen bei den Grundwasserständen. Die Wasserstände aller GWM im näheren Deponieumfeld reagieren synchron und zeigen sowohl jahreszeitliche als auch mehrjährige Variationen. Die jährlichen Variationen betragen zwischen 10 und 20 m, die mehrjährigen ca. 10 m. Trotz der hohen Grundwasserflurabstände von 30 bis 40 m (bezogen auf Aquifer II) reagieren die Wasser-

stände schnell auf Niederschläge, bedingt durch niedrige Speicherkoeffizienten und den anzunehmenden geringen durchflusswirksame Hohlraumanteil.

5. Hydrogeologische Verhältnisse

5.1 Stockwerksbau und Grundwasserfließrichtung

Die Schichtfolge des Muschelkalks enthält 3 Grundwasserstockwerke (vgl. Abb. 2).

- Das Grundwasserstockwerk I (Aquifer I) umfasst den Oberen Muschelkalk über den Haßmersheim - Schichten. Die Tiefenlage der Aquiferbasis unterliegt aufgrund der Flexurzone beachtlichen Variationen. Während sie großräumig betrachtet nach SO einfällt, ist das Einfallen im näheren Deponieumfeld nach Süd bis SW gerichtet (vgl. Abb. 7)

Der Aquifer I führt nur temporär Grundwasser und enthält lokale schwebende Grundwasservorkommen (z.B. bei der GWM B23/I). Temporär können auf der Oberfläche der tonigen Haßmersheim-Schichten auch geringe Mengen an Grundwasser dem Schichtfällen folgend abfließen. Durch die Klüftigkeit der Schichten versickern jedoch diese Wässer und gelangen in den Aquifer II.

Lediglich im Übergangsbereich zwischen Hoch- und Tiefscholle bei der GWM B12 ist eine ganzjährige Wasserführung gegeben, bedingt durch das flexurartige Abtauchen der Schichten nach Westen und die gespannten Verhältnisse im Aquifer II (vg. Abb. 5).

- Das Grundwasserstockwerk II (Aquifer II, Hauptaquifer) umfasst den Oberen Muschelkalk unterhalb der Haßmersheim - Schichten zusammen mit der Oberen Dolomit-Formation des Mittleren Muschelkalks. Als liegender Grundwasserstauer wirken die Rückstandstone der Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks, die im Bereich der Tiefscholle in etwa 70 bis 80 m Tiefe und auf der Hochscholle bei etwa 30 –40 m Tiefe anzutreffen sind (vgl. Abb. 5 und 6).

In diesem Grundwasserstockwerk findet die Hauptgrundwasserbewegung statt, vor allem in einem 2 m mächtigen Abschnitt unmittelbar über den Rückstandstonen (sog. „Lauffener Schichten“). Die Grundwasserfließrichtung ist nach WSW gerichtet, mit Variationen zwischen West und Süd bis Südwest (vgl. Abb. 9). Der Aquifer II ist im Bereich der Hochscholle ungespannt, im Bereich der Flexurzone gespannt und westlich der Deponie wieder ungespannt.

- Das Grundwasserstockwerk III (Aquifer III) umfasst die Schichten zwischen der Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks und den grundwasserstauenden, etwa 20 m mächtigen Röttonen des Oberen Buntsandstein. Die Oberkante dieses Aquifers liegt auf der Hochscholle östlich der Deponie in einer Tiefe von ca. 60 m und im Bereich der Tiefscholle westlich der Deponie von ca. 110 m. Das Grundwasser ist stark gespannt. Die Grundwasserfließrichtung ist nach bisherigen Ergebnissen vergleichbar dem Hauptaquifer etwa nach Südwest ausgerichtet.

5.2 Messstellennetz

Zum Messnetz gehören insgesamt 33 Grundwassermessstellen, die regelmäßig beobachtet werden. Es gliedert sich in ein engeres Messnetz am direkten Deponierand (Abb. 1) und weiter entfernte Messstellen. Viele Messstellen des engeren Messnetzes wurden als Doppelmessstelle ausgeführt, jeweils mit separatem Ausbau von Aquifer I und II (z.B. B 2/I für Aquifer I und B2/II für Aquifer II).

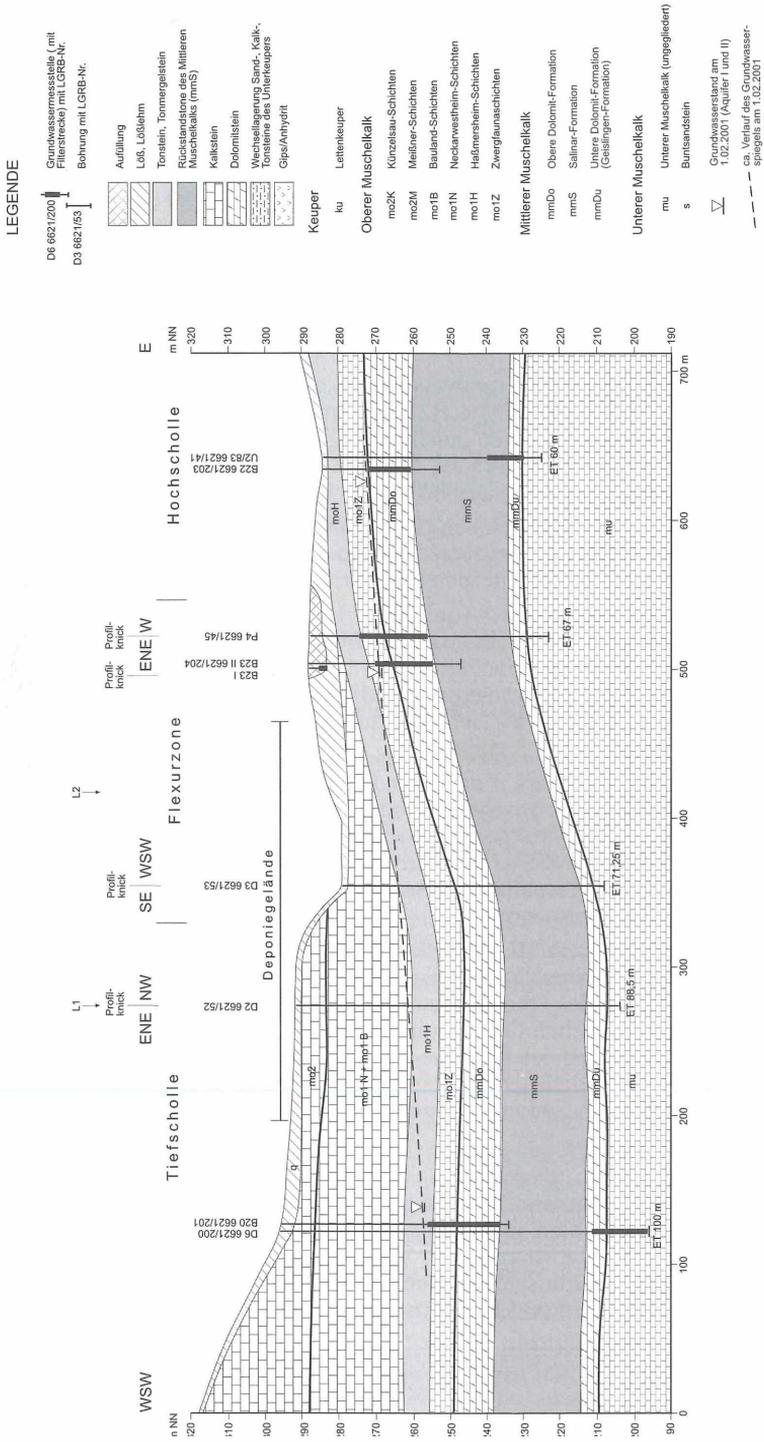


Abb. 5: Hydrogeologischer Querschnitt.

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

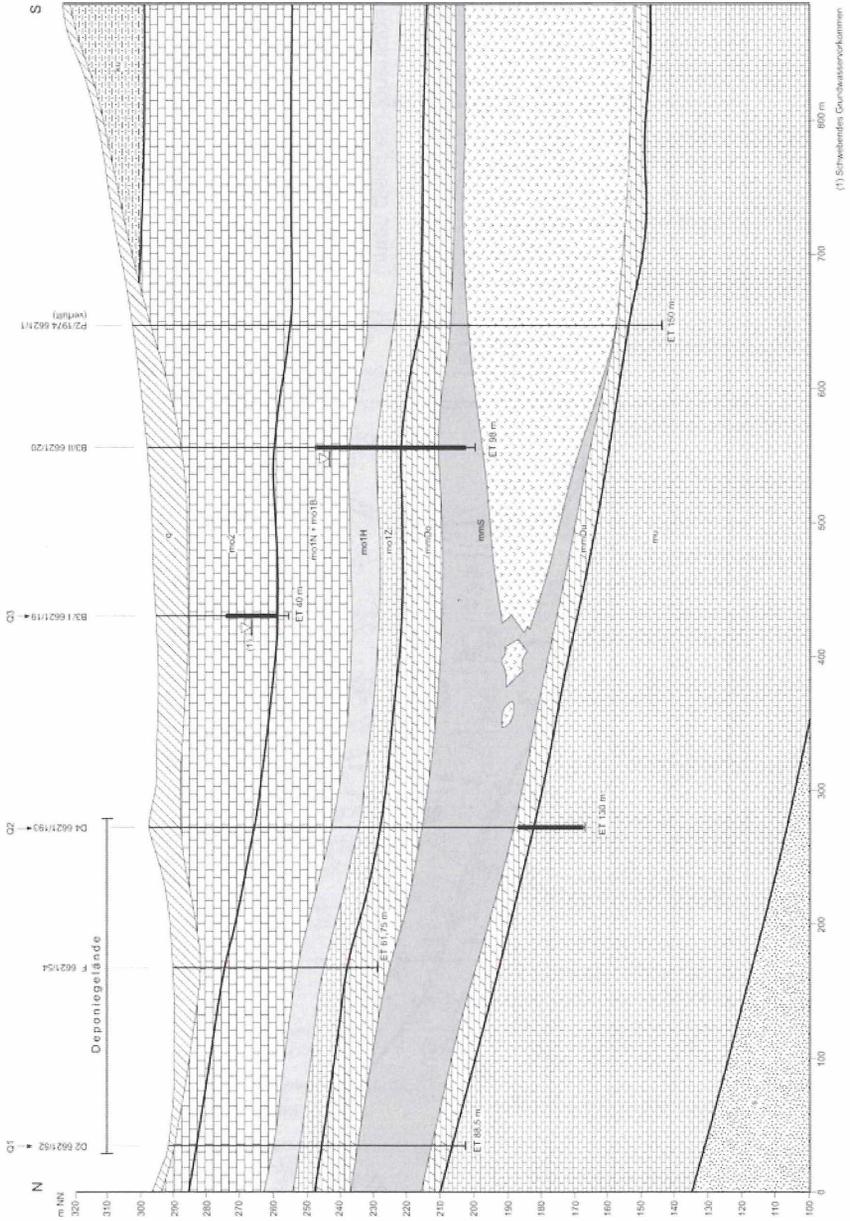


Abb. 6: Hydrogeologischer Längsschnitt.

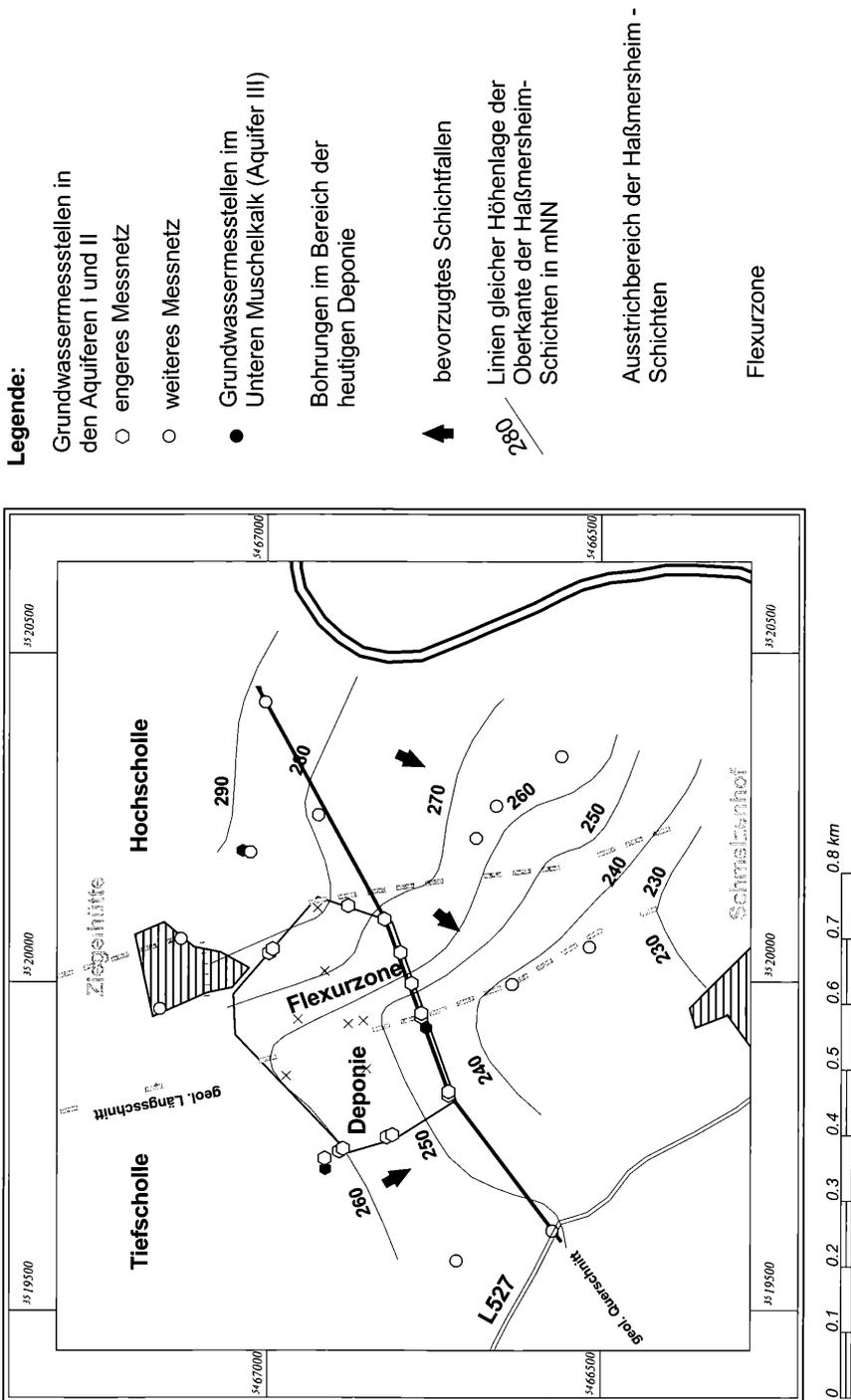


Abb. 7: Tektonischer Strukturplan.

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

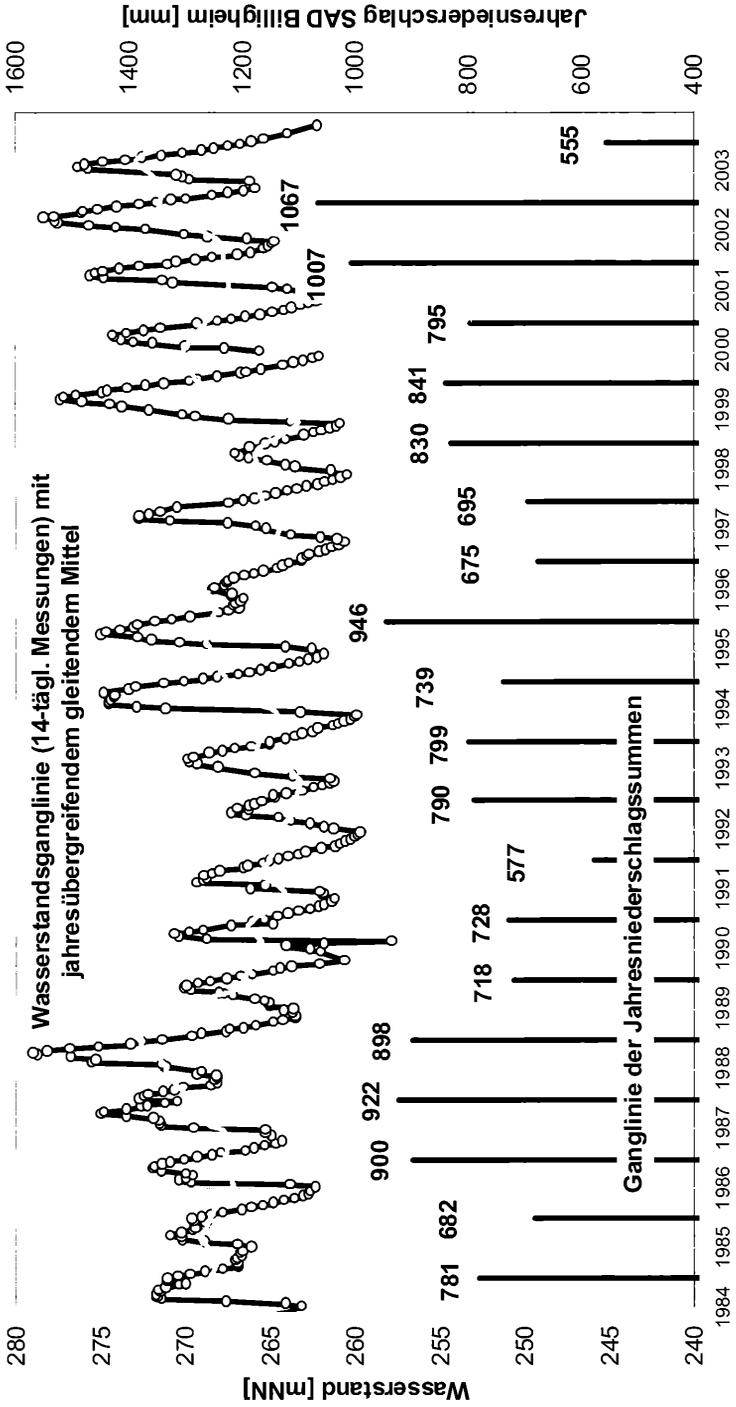


Abb. 8: Langjährige Wasserstandganglinien GWM B8.

Durch eine intensive Grundwasserüberwachung (Grundwasserstände, Hydrochemie, zeitweise Isotopengehalte) werden im engeren Messnetz die Variationen der Wasserinhaltsstoffe in 14-täglicher Auflösung erfasst und ausgewertet. Zur Grundwasserüberwachung im Hinblick auf Sickerwasserzutritte aus der Deponie wurde ein auf Warnwerten basierendes Kontrollprogramm entwickelt (PLUM & KREJCI, 1997; KREJCI, 1992).

5.3 Grundwasserfließverhältnisse im Hauptaquifer (Aquifer II)

Für den Hauptaquifer (Aquifer II) existieren Grundwassergleichenpläne für mehrere Stichtage (vgl. Abb. 9), die übereinstimmend einen Hauptabstrom Richtung Südwesten zeigen. Unmittelbar nördlich der SAD zeichnet sich eine Grundwasserscheide ab, so dass für den Hauptaquifer nur von einem relativ kleinen Einzugsgebiet ausgegangen wird. Der hydraulische Gradient im Hauptaquifer ist mit 40-70 ‰ vergleichsweise hoch.

Nach den Ergebnissen der Markierungsversuche ist auch ein untergeordneter Grundwasserabstrom im Hauptaquifer nach SO zum Sulzbach (Schlossbergquelle) anzunehmen (s.u.).

Die Grundwasserfließrichtung in größerer Entfernung zur SAD ist mangels Grundwassermessstellen zwischen der Deponie und den Vorflutern nicht bekannt; der Abstrom kann sowohl zur Schefflenz als auch zur Jagst bei Neudenuau ausgerichtet sein.

5.4 Hydraulische Wechselwirkung zwischen Aquifer II und III

Der Aquifer III ist im gesamten Untersuchungsgebiet stark gespannt. Die Potenzialabnahme in südwestliche Richtung ist gleichgerichtet mit der im Aquifer II.

Östlich der Deponie liegt das Potenzial im Aquifer III um mehrere Meter tiefer als im Aquifer II (vgl. Abb. 19). Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der Rückstandstone und des großen Potenzialunterschieds wird davon ausgegangen, dass die beiden Aquifere II und III östlich der SAD hydraulisch weitgehend voneinander getrennt sind.

Südlich der SAD bei der GWM D4 wird im Aquifer III im Vergleich zum Aquifer II ein ca. 1,5 m höheres Potenzial angetroffen. Weiter westlich (bei GWM D6) gleichen sich die Potenziale an und kehren sich sogar um, d.h. Aquifer II hat ein höheres Potenzial als Aquifer III. Die Angleichung der Potenziale weist darauf hin, dass im westlichen Teil der Deponie hydraulische Verbindungen zwischen Aquifer III und II bestehen und es zu einem Wasseraustausch durch aufsteigende Grundwasserkomponenten kommen kann (s.u.).

5.5 Pumpversuche im Hauptaquifer (Aquifer II)

In allen Kontrollmessstellen der SAD wurden meist mehrtägige Pumpversuche durchgeführt (Stufen- und Aquifertests), um die Messstellen auf Ihre Eignung zur Grundwasserüberwachung und im Bedarfsfall als Abwehrbrunnen zu prüfen. Die Auswertung der Pumpversuche lieferte auch wichtige Informationen zur hydraulischen Charakteristik des Aquifers und zu den Aquiferparametern. Transmissivität und Speicherkoeffizient lassen sich aufgrund der komplexen hydraulischen Randbedingungen der Versuche nur näherungsweise bestimmen.

Zur Beschreibung der Aquifercharakteristik werden die Pumpversuche in den GWM B11/II, B18 und B2/II des engeren Grundwassermessnetzes beispielhaft beschrieben. Die halblogarithmisch dargestellten Absenkungen und z.T. Wiederanstiege der abgepumpten

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

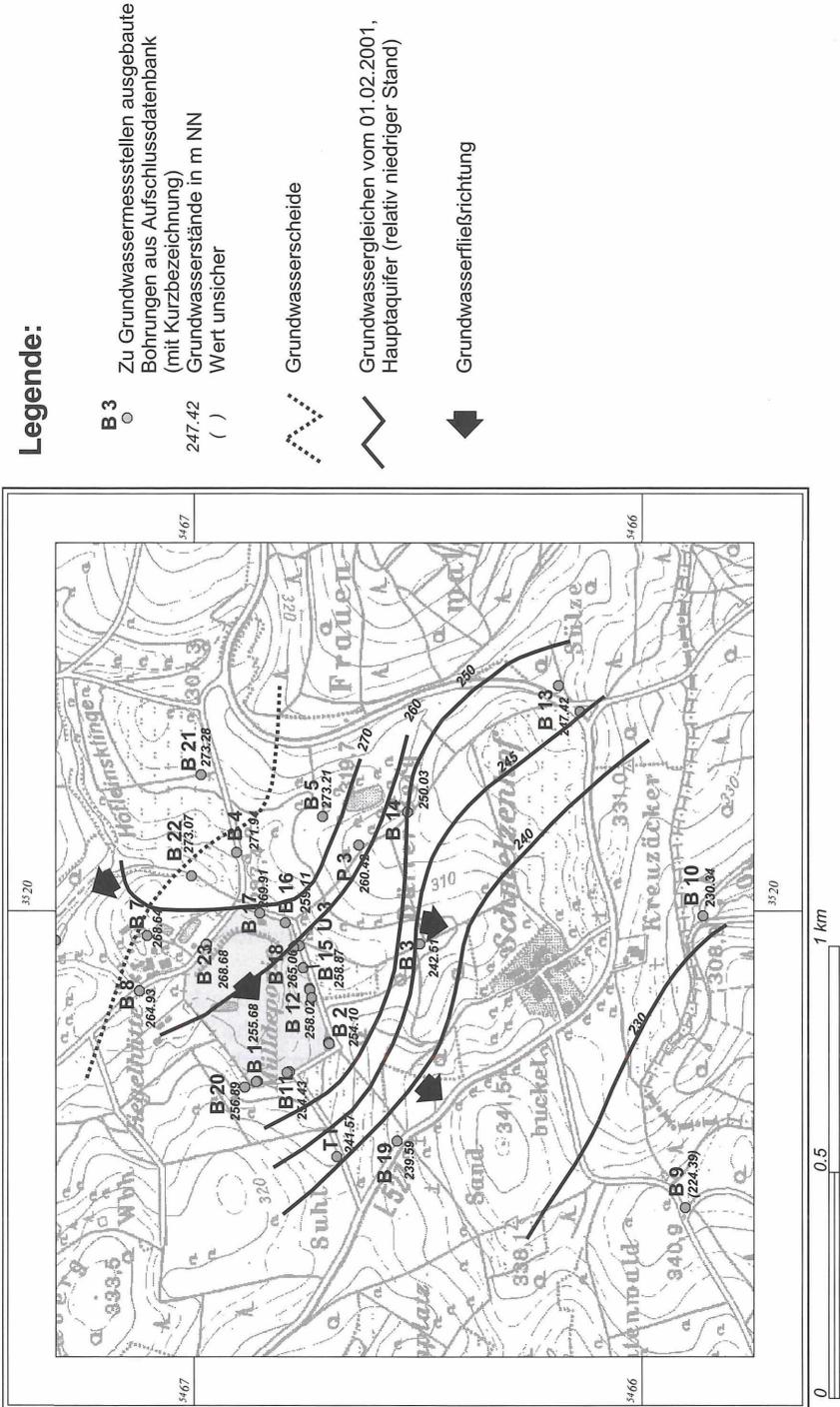


Abb. 9: Grundwassergleichenplan für den 01.02.2001.

Brunnen und der beobachteten Grundwassermessstellen sind in den Abb. 10 bis 12 dargestellt. Die wichtigsten Daten zu den Pumpversuchen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Die mit Förderraten von 0,1 bis 3 l/s durchgeführten Pumpversuche führten alle zu großräumig feststellbaren Absenkungen (Abb. 13). In allen abgepumpten Brunnen wurde eine mehrere Stunden dauernde Brunnenspeicherung festgestellt.

Beim Pumpversuch in der GWM B11/II (April 1987, Abb. 10), die auf der Tiefscholle liegt, wird in der letzten Pumpphase ein quasi stationärer Zustand erreicht, was auf stützende Zuflüsse aus Klüften in der Umgebung zurückzuführen ist. Stützende Zuflüsse sind nach eintägiger Förderdauer auch in der Absenkkurve der GWM B 1/II zu erkennen. Die Absenkungen in den beiden weiteren Beobachtungsmessstellen B12/II und B2/II verlaufen bei halbtag. Darstellung vergleichsweise flach, was ebenfalls durch stützende Einflüsse bedingt wird.

Als Reaktion auf den Pumpversuch in der GWM B18 (August 1989, Abb. 11), die im Bereich der Flexurzone liegt und im Hauptaquifer verfiltert ist, wurde bei einer Entnahmerate von 0,1 l/s (zu Beginn kurzzeitig mit 0,5 l/s) eine Absenkung in mehreren Messstellen des engeren Messnetzes beobachtet. Die hohe Absenkung von 18 m im Förderbrunnen ist dadurch zu erklären, dass dieser nur einen geringen Grundwasseranschluss hat und praktisch wie eine Drainage mit quellartigen Zuläufen aus Klüften wirkt. Eindeutige Wasserspiegelreaktionen ergeben sich für die GWM U3, B15 und B12/II und sehr schwach für B16. Der Absenktrichter hat trotz der geringen Entnahme von 0,1 l/s eine Reichweite von deutlich über 100 m. Die im Vergleich mit den GWM B12/II und B15 geringe Absenkung in der GWM B16 weist auf Gebirgsinhomogenitäten und die Ausbildung eines asymmetrischen Absenktrichters hin.

Der Pumpversuch in der GWM B2/II (April 1987, Abb. 12), die am westlichen Rand der Flexurzone liegt, hat gezeigt, dass es sich um die ergiebigste GWM des engeren Messnetzes handelt. Die mehrtägige Entnahme von 2,8 l/s führte zu einer Absenkung des Wasserspiegels um 25,5 m. Der Absenkungsverlauf bleibt bis Ende der 3-tägigen Förderphase instationär. Die relativ hohe Entnahmerate konnte während des 3-tägigen Versuchs noch nicht durch seitliche Zuflüsse aus Klüften ausgeglichen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die für Kluft- und Karstaquifere oft zutreffende Modellvorstellungen von Leit- und Speicherschichten oder einem Zweiporositätssystem hier nicht zutrifft (vgl. SCHLOZ et al. 1994).

Neben hohen Brunnenspeichereffekten werden die Absenkungskurven mit zunehmender Pumpzeit durch stützende Einflüsse überlagert, die randliche Zuflüsse wider spiegeln und zu einem praktisch stationären Absenkungsverhalten in den Förderbrunnen führen. Die weitläufige Ausbildung von Absenktrichtern führt bei den GWM zunächst zu instationären Absenkungsphasen, die sich mit zunehmender Pumpzeit aufgrund randlicher Zuflüsse abschwächen. Aufgrund der gespannten Verhältnisse und der geringen Durchlässigkeit des Grundwasserleiters bilden sich bereits bei geringen Entnahmeraten relativ große Absenktrichter mit Reichweiten von ca. 100-300 m aus.

Die ermittelten Transmissivitäten liegen in allen Grundwassermessstellen in der Größenordnung von $0,00005 \text{ m}^2/\text{s}$ (Tab. 1). Das bedeutet, dass der Aquifer II entgegen den Vorstellungen von einem verkarsteten Muschelkalkaquifer nur eine geringe Durchlässigkeit hat. Dies dürfte auf der Verwitterung und somit Verlehmung des Oberen Muschelkalks als Folge der Zerüttung durch die schon lange abgeschlossene Subrosion beruhen.

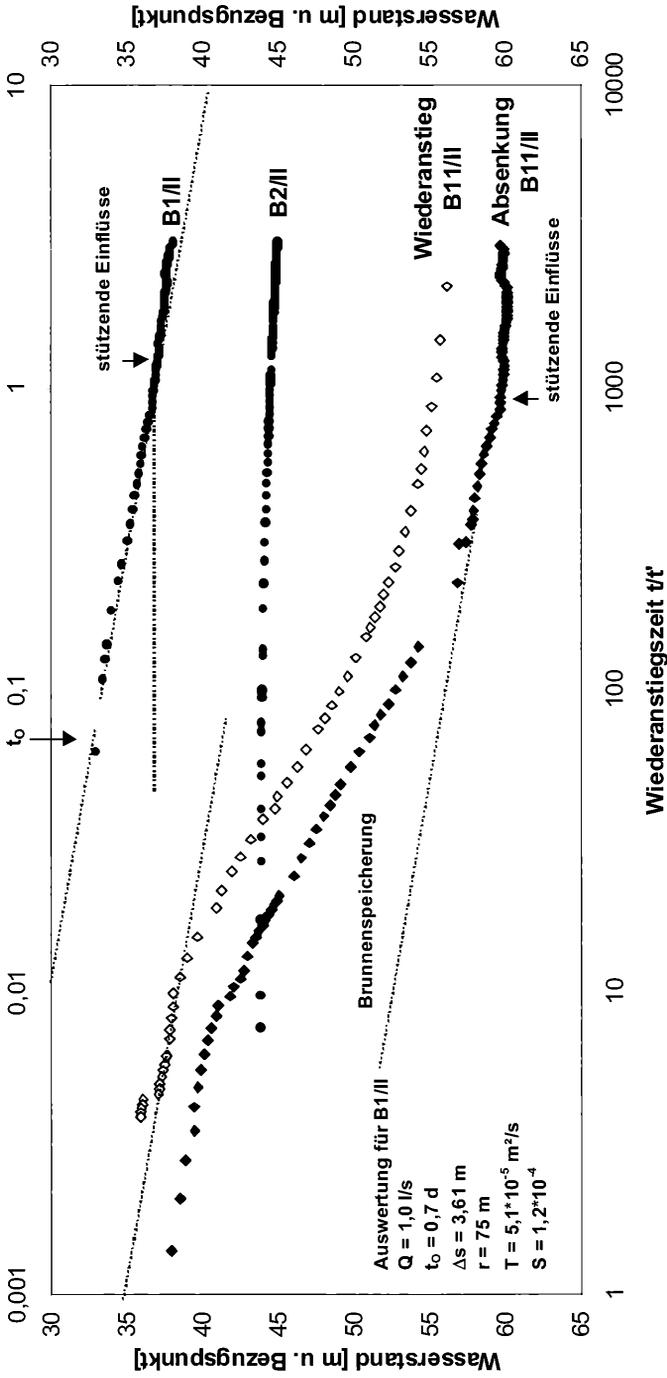


Abb. 10: Pumpversuch GWM B11/II.

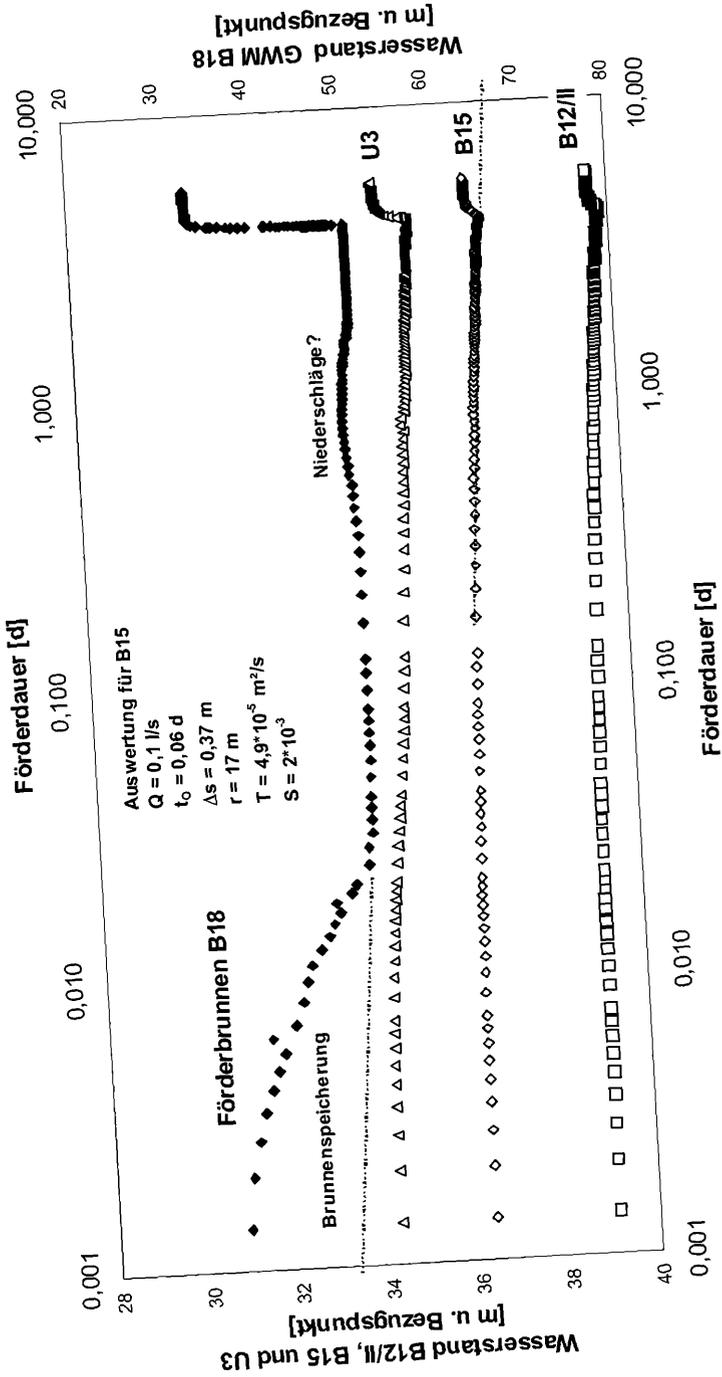


Abb. 11: Pumpversuch GWM B18.

Tab. 1 Wichtige Pumpversuchsdaten.

Abgepumpte GWM	Entnahmerate (l/s)	Pumpdauer (Tage)	Ruhewasserspiegel (m unter GOK)	Absenkung unter RWS (ca. m)	T-Wert ($\times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$)	Speicher-koeffizient
B11/II	1,0	3	34	25	5,1 (GWM B 1/II)	0,00012
B18	0,1	4	32	18	4,9 (GWM B 15)	0,002
B2/II	2,0/2,8	3	45,5	25,5	7-8 (GWM B2/II)	

Dieses Absenkungsverhalten spricht dafür, dass hier ein mengenmäßig begrenztes Grundwasservorkommen vorliegt, das nicht durch starke Randzuströme oder sonstige ergiebige Zuflüsse ergänzt wird.

Die Reichweiten aller seit 1987 durchgeführten Pumpversuche sind in Abbildung 13 dargestellt. Die intensive gegenseitige Beeinflussung der GWM zeigt, dass bei Dauerbetrieb in mehreren Brunnen der gesamte Grundwasserabstrom aus dem Bereich der SAD gefördert werden kann. Ein Abstrom von Grundwasser aus dem Deponiebereich kann damit erforderlichenfalls verhindert werden.

Dies wird durch eine Abschätzung des Grundwasserabstroms nach DARCY bestätigt. Unter der Annahme

- einer Abstrombreite von $B = 300 - 500 \text{ m}$,
- eines hydraulischen Gradienten von $i = 0,04$ bis $0,07$ und
- einer mittleren Transmissivität von $T = 0,00005 \text{ m}^2/\text{s}$

berechnet sich der Grundwasserabstrom (Q) nach der Gleichung von DARCY ($Q = T \times i \times B$) zu $0,6$ bis $1,75 \text{ l/s}$. Dies entspricht einer täglichen Abstromrate von ca. 52 bis $151 \text{ m}^3/\text{Tag}$.

5.6 Markierungsversuche

Zur Erkundung der Grundwasserfließverhältnisse wurden 1985 (MV-Nr. 455 und 456) und 2001 (MV-Nr. 1185 und 1186) jeweils kombinierte Markierungsversuche mit 2 Fluoreszenztracern durchgeführt.

Die Eingaben im Jahr 1985 erfolgten über die GWM B12/II (5 kg Uranin, 1 m^3 Nachspülung) und B1/II (10 kg Eosin, 1 m^3 Nachspülung) direkt in den Aquifer II. Beim Versuch im Jahr 2001 wurden über die Grundwassermessstellen B23/II und B23/I gleichzeitig 5 kg Sulforhodamin-B (SRB) in den Aquifer II (Nachspülung $0,2 \text{ m}^3$) und 5 kg Uranin in den Aquifer I (Nachspülung $0,6 \text{ m}^3$) eingegeben.

Nachgewiesen wurden nur die Fluoreszenztracere Uranin und Eosin. SRB scheint an der tonigen Aquifermatrix vollständig absorbiert worden zu sein.

Hauptaustritte der Markierungsstoffe bei den Markierungsversuchen im Jahr 1985 waren die jeweils nächst gelegenen GWM B11/II und B2/II (vgl. Abb. 14). Der Markierungsstoffdurchgang war zeitlich stark in die Länge gezogen und wurde über die Dauer von 1,5 Jahren beobachtet. Die maximale Abstandsgeschwindigkeit zwischen den GWM B12 und B2 beträgt $0,96 \text{ m/d}$ (Mindestwert, da die Beobachtung erst im August begonnen wurde) und zwischen B1/II und B11/II $4,8 \text{ m/d}$.

Die GWM B11/II mit dem Hauptaustritt für Eosin liegt südlich der Eingabemessstelle B1/II und somit nicht in der erwarteten Grundwasserfließrichtung. Dies zeigt, dass herzy-

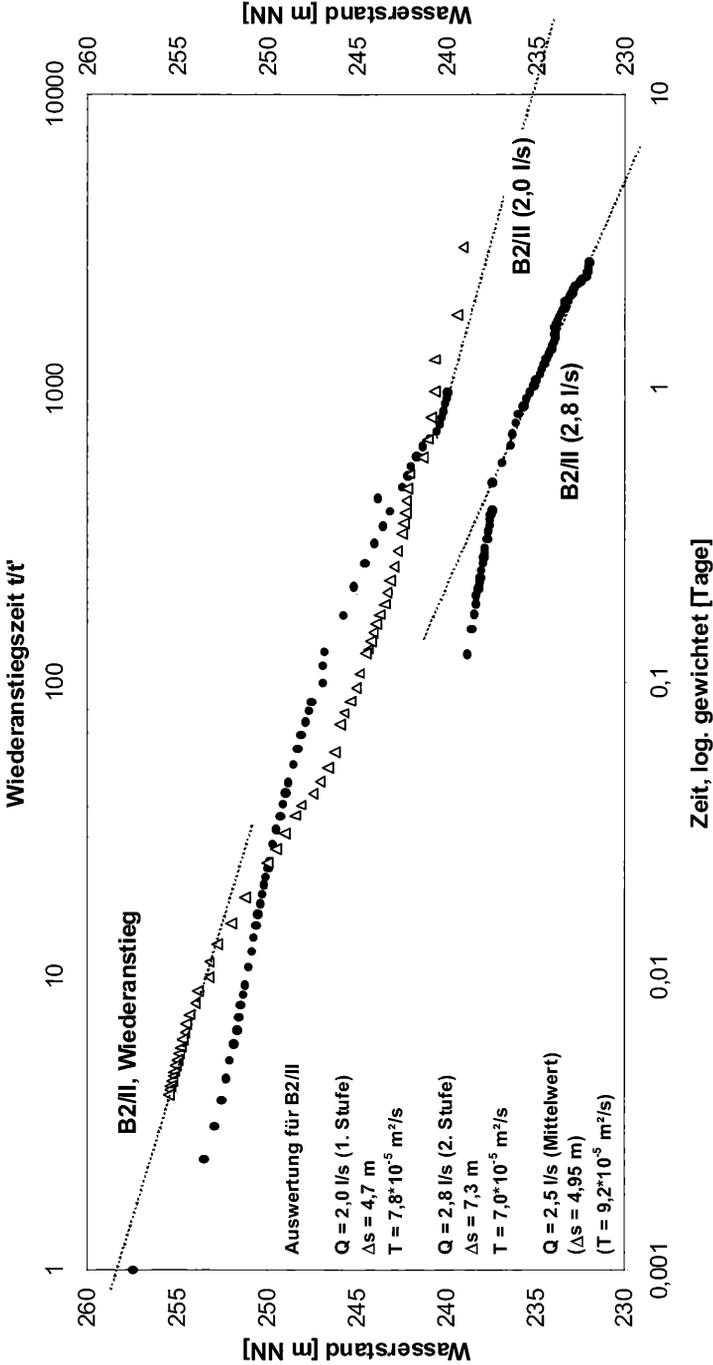
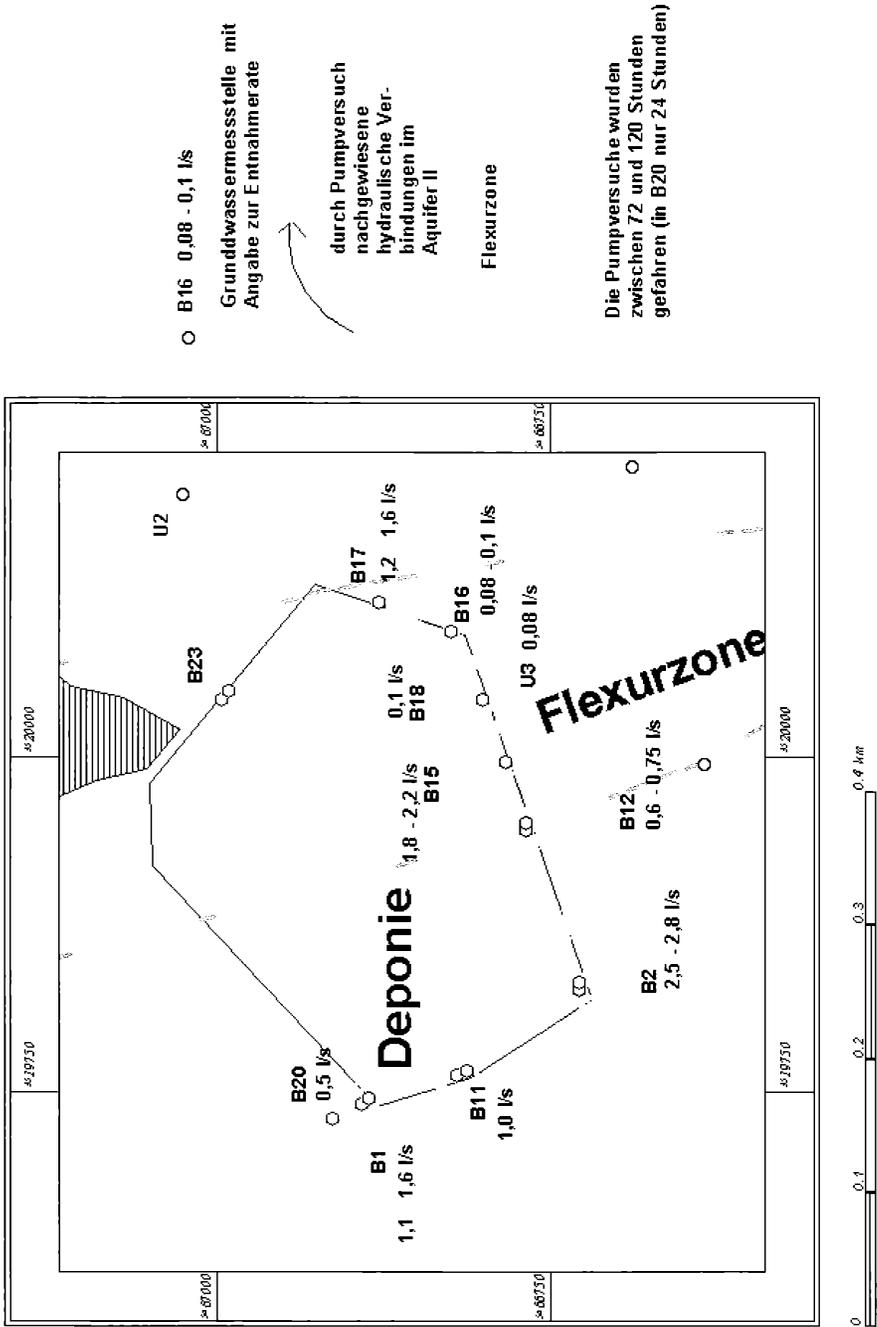


Abb. 12: Pumpversuch GWM B2/II.

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)



○ B16 0,08 - 0,1 l/s
Grundwassermessstelle mit Angabe zur Entnahmerate

durch Pumpversuch nachgewiesene hydraulische Verbindungen im Aquifer II

Flexurzone

Die Pumpversuche wurden zwischen 72 und 120 Stunden gefahren (in B20 nur 24 Stunden)

Abb. 13: Wechselseitige Beeinflussung der Grundwassermessstellen während der Pumpversuche.

nisch streichende Klüfte auch einen Grundwasserabstrom orthogonal zur Hauptgrundwasserfließrichtung ermöglichen und zwischen den GWM B1/II und B11/II bevorzugte Wegsamkeiten bestehen. Die GWM B2/II liegt dagegen in der erwarteten Hauptabstromrichtung der Eingabemesstelle B12/II.

Die Durchgangskurven der Tracer spiegeln nicht die oft zu beobachtende Gauss-Verteilung wider sondern zeigen ausgeprägte Konzentrationsschwankungen, die mit dem Wasserstand korrelierten (Abb. 14). Vor allem die Grundwasserhochstände zu Jahresbeginn 1986 und im Herbst 1987 führten zu stark abnehmenden Tracerkonzentrationen.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der Markierungsversuche 1985 waren Nebenaustritte in einigen Messstellen, die z.T. in großer Entfernung von bis zu 3,5 km zu den Eingabestellen liegen (Abb. 16). So wurden die eingegebenen Markierungsmittel z.B. sehr schnell in den GWM B9 und TIV nachgewiesen. Hier kam es jedoch nur zu vereinzelt Markierungsmittelnachweisen mit niedrigen Konzentrationen. Diese Nachweise stehen nicht im Zusammenhang mit einem länger dauernden Markierungsmitteldurchgang. Dies kann ein Effekt des Nachspülens mit größeren Wassermengen in der Eingabestelle sein. Hierbei wurden Fließwege entlang herzynisch verlaufender Klüfte aktiviert, die jedoch für den Hauptgrundwasserdurchsatz keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Bei den Voruntersuchungen zu den Tracerversuchen im Jahr 2001 wurden in den beiden damaligen Eingabe-Messstellen 12/II und B1/II sowie in GWM B11/II (alle genannten GWM wurden seither etwa wöchentlich für Probenahmen abgepumpt) noch Reste der 1985 eingegebenen Markierungsstoffe nachgewiesen (Abb. 15). Die rosa Farbe des Eosins war sogar noch mit bloßem Auge zu erkennen. Ursächlich dafür dürften eine Adsorption der Fluoreszenztracer an tonigem Sedimentbestandteilen und ein insgesamt geringer Grundwasserdurchfluss im Hauptaquifer sein.

Anlass für die erneuten Markierungsversuche im Jahr 2001 waren eine Überprüfung der Grundwasserfließrichtungen im näheren Umfeld der Deponie sowie der Funktionsfähigkeit des engeren Messstellennetzes.

Das in die GWM B23/I in ein schwebendes Grundwasservorkommen eingegebene Uranin konnte erstmals nach 287 Tagen in der GWM B 1/II nachgewiesen werden (vgl. Abb. 15). Dort stieg die Uraninkonzentration über ca. 1,5 Jahre bis auf $0,67 \text{ mg/m}^3$ an und fällt seither ab (Stand der Analysen: Februar 2004). Die unmittelbar benachbarte GWM B20 hat mit noch größerer Verzögerung und geringeren Uraninkonzentrationen reagiert. Geringe Uraninkonzentrationen wurden auch in den GWM B15, B12/II und TIV nachgewiesen. Bei der GWM TIV kann es sich allerdings auch noch um Markierungsstoff-Spuren aus dem Versuch im Jahr 1985 handeln.

Für die Ausbreitung des Uranins aus der GWM B23/I ist zu berücksichtigen, dass der Markierungsstoff sich zunächst in der ungesättigten Zone ausbreitete und danach in den grundwassererfüllten Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters (Aquifer II) gelangte. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen, die auch für einen unkontrollierten Eintrag von Deponiesickerwasser aus dem Drainagesystem gelten würden, betragen die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten für die Messstellen im engeren Messnetz zwischen ca. $0,5 \text{ m/d}$ (B20, B12/II, B15) und $1,1 \text{ m/d}$ (B1/II).

Die GWM B11/II, die 1985 Hauptaustritt für die Eosin-Eingabe in der GWM B1/II war, hat wider Erwarten nicht auf den Markierungsversuch 2001 reagiert.

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

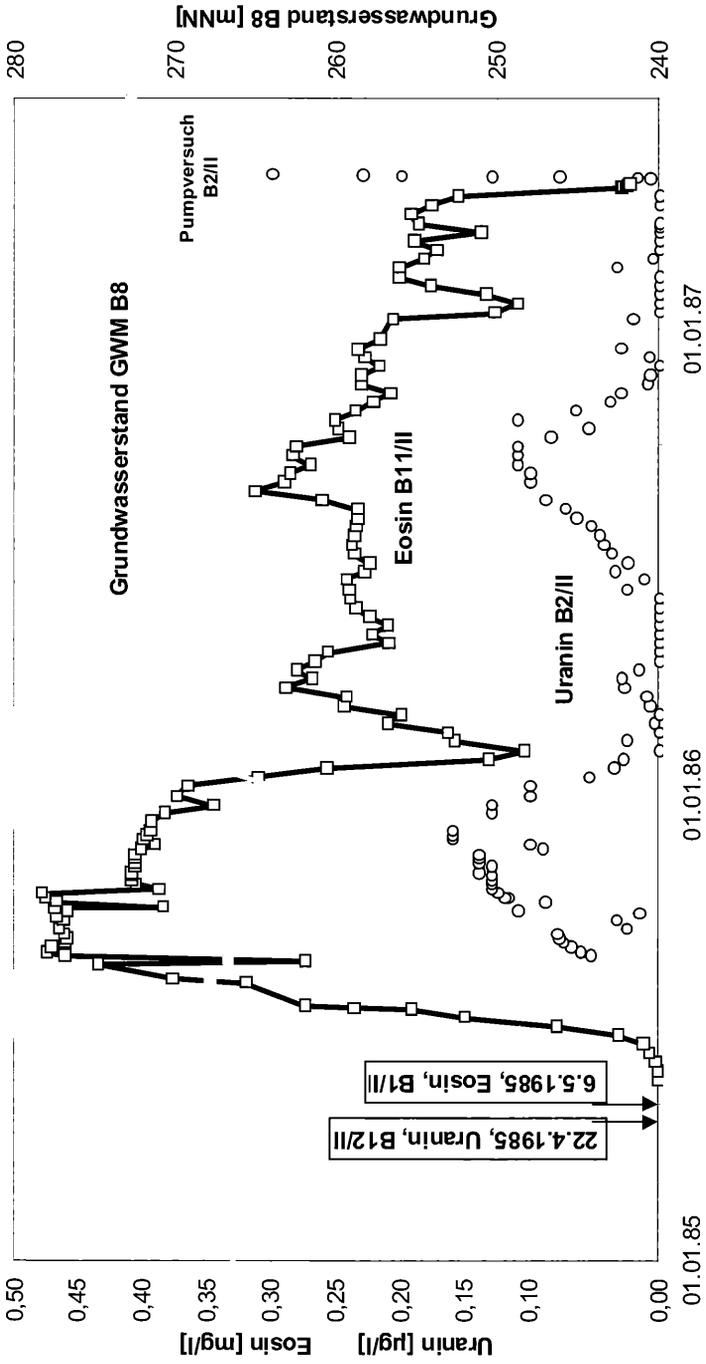


Abb. 14: Tracer-Durchgangskurven der Markierungsversuche 1985.

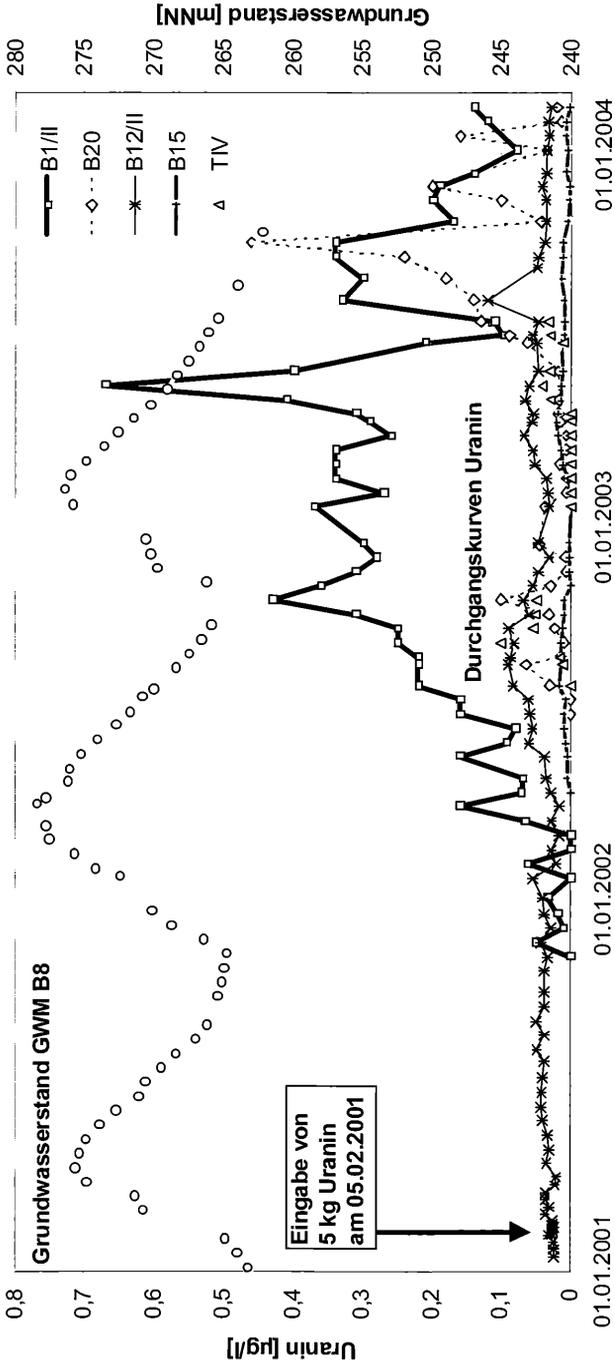


Abb. 15: Uranin-Durchgangskurven, Markierungsversuch 2001.

Aufgrund der komplexen hydrogeologischen Randbedingungen ist eine weitergehende Auswertung der Markierungsversuche mit eindeutiger Bestimmung der hydraulischen Parameter nicht möglich (SCHWEIZER et al. 1985, SCHULZ 1992, SCHLOZ et al. 1994). Eine überschlägige Abschätzung der Aquiferkennwerte wurde dennoch durch Auswertung der Summenkurve des Tracerversuchs im Jahr 2001 vorgenommen (SCHLOZ et al. 1994, vgl. Abb. 17).

$$x = 325 \text{ m (Abstand GWM B23/I zu GWM B1/II)}$$

$$v_{\max} = 1,2 \text{ m/d (Abstandsgeschwindigkeit für den ersten Tracernachweis)}$$

$$v_{t0,5} = 0,43 \text{ m/d (mediane Abstandsgeschwindigkeit)}$$

$$D_L = 0,176 \text{ m}^2/\text{h bzw. } 4,2 \text{ m}^2/\text{d (longitudinale Dispersion)}$$

$$\alpha_L = 9,8 \text{ m (longitudinale Dispersivität)}$$

Die anhand der Summenkurve berechnete longitudinale Dispersion sowie die Dispersivität sind trotz des über längere Zeit aus dem Aquifer I in den Aquifer II gelangten Markierungsstoffs vergleichsweise gering. Dies spricht für eine dominierende Ausbreitung der Tracer entlang eines Feinkluftsystems. Auch das Verhältnis von maximaler zu medianer Abstandsgeschwindigkeit von 2,8 weist auf einen mit Porengrundwasserleitern vergleichbaren Stofftransport hin. Ein Vergleich von Dispersionskoeffizient und mittlerer Abstandsgeschwindigkeit mit Literaturdaten weist auf ähnliche hydraulische Eigenschaften wie die von Sanden und Kiesen hin (vgl. SCHULZ 1992).

Um die Wiederfindungsraten der Tracer überschlägig bestimmen zu können, wird der mit Tracer markierte Grundwasserabstrom mit ca. 25 m³/d abgeschätzt. Dies entspricht etwa 20 % des gesamten Grundwasserabstroms im Bereich der SAD (Annahme: 130 m³/d, s.u.). Die Wiederfindungsraten für die Tracereingaben in die GWM B12/II und B23/I waren mit <1% sehr niedrig (Tab. 2). Das in GWM B1/II eingegebene Eosin wurde zu einem sehr hohen Anteil von ca. 40 % in der GWM B11/II wieder gefunden.

Tab. 2 Wiederfindungsraten der Tracer.

Eingabe (Jahr)	Hauptnachweis (Entfernung zur Eingabestelle)	angenommene mittlere Tracerkonzentration mg/m ³	Dauer des Durchgangs (Annahme) Tage	Fracht g	Fracht % der Eingabe
B12/II (1985)	B2/II (125 m)	0,15	500	2,0	0,04
B1/II (1985)	B11/II (77 m)	300	500	3750	38
B23/I (2001)	B1/II (323 m)	0,30	600	4,5	0,10

Die Hauptausbreitungsrichtungen der Tracer stimmen mit der Grundwasserfließrichtung überein (West bis Südwest). Daneben wurde untergeordnet auch Markierungsmittel über Klufzonen erhöhter Durchlässigkeit verstärkt in südliche und südöstliche Richtung transportiert.

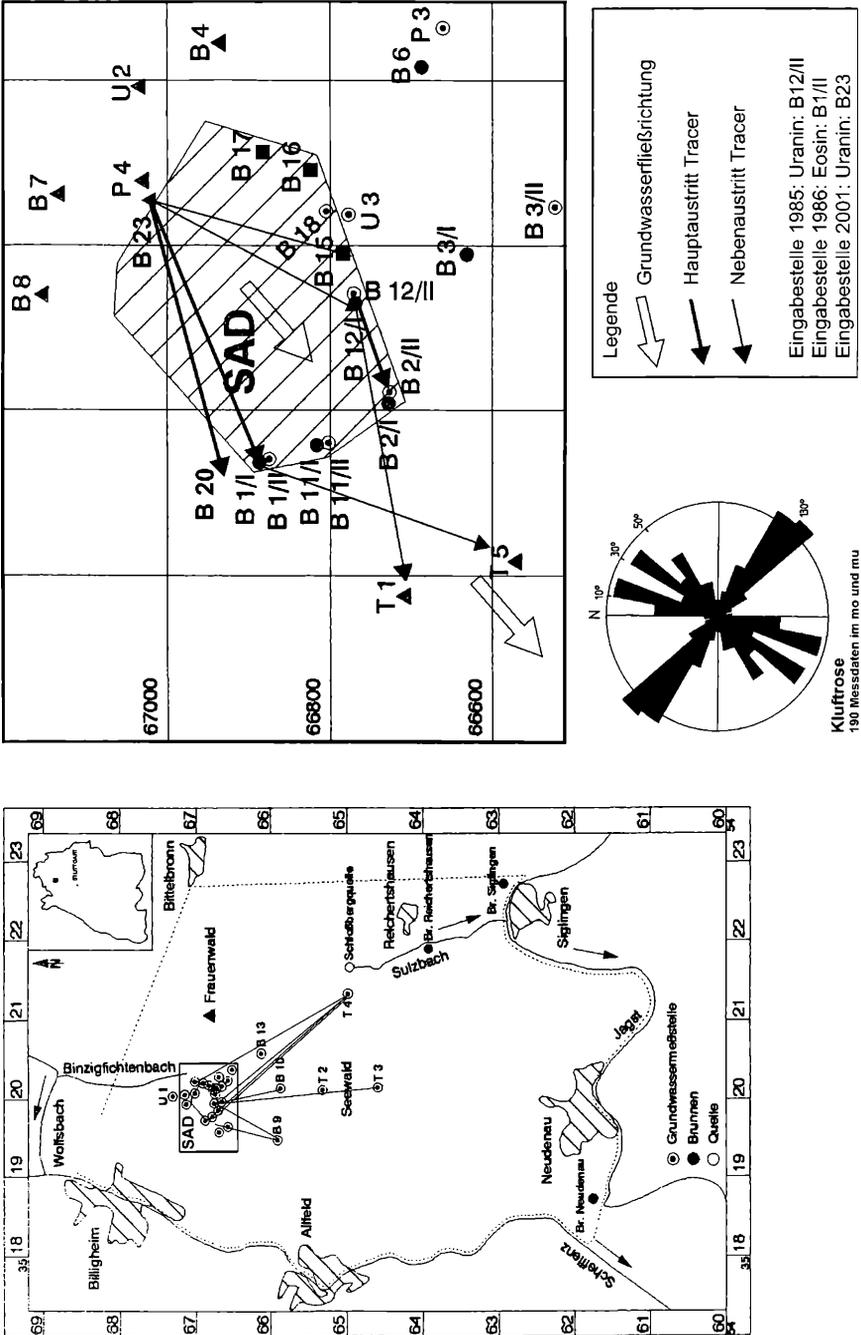


Abb. 16: Lageplan zur Ausbreitung der Tracer (aus KREJCI, 1994, leicht verändert).

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

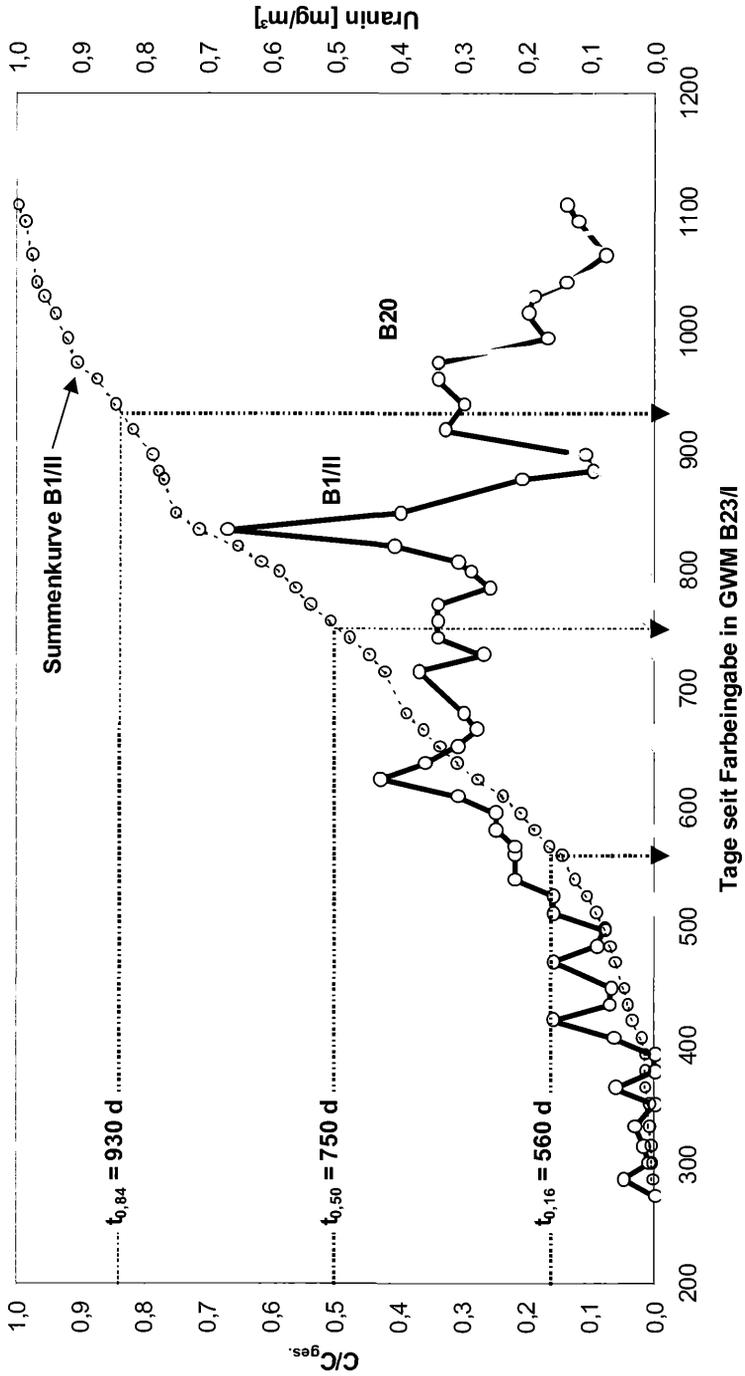


Abb. 17: Durchgangs- und Summenkurve zum Markierungsversuch 2001.

Anhand der Ergebnisse der Markierungsversuche lässt sich zusammenfassen, dass Markierungsmittel in geringen Konzentrationen mit Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 1000 m/d in große Entfernungen transportiert wurden. Hierfür sind karstartige Strukturen notwendig. Diese spielen hinsichtlich der mengenmäßigen Tracerausbreitung jedoch keine Rolle. Die Hauptausbreitung der Tracer erfolgte mit geringer Geschwindigkeit im Feinkluftnetz (0,5-1,0 m/d) und bedingte über mehrere Jahre anhaltende Durchgangskurven.

Die Ausbreitung der Markierungsmittel erfolgte insgesamt sehr inhomogen. So haben die nur ca. 30 m voneinander entfernt gelegenen GWM B1/II und B20 mit ca. 252 Tagen Zeitversatz auf die Markierung im Jahr 2001 reagiert (vgl. Abb. 15).

6. Hydrochemie und Isotopenhydrologie

Die Ergebnisse der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen wurden intensiv ausgewertet und sind bei KREJCI (1992, 1994), HYDROISOTOP (2000) und LGRB (2004) dokumentiert.

Sowohl im Aquifer I als auch im Aquifer II werden in den meisten GWM unauffällige Erdalkali-Hydrogenkarbonat-Grundwässer angetroffen. Die Gehalte an Nitrat, Sulfat und Chlorid liegen mit ca. 10-40 mg/l noch in einem unauffälligen Bereich.

In einigen GWM am westlichen Deponierand (B11/II, B2/II) treten im Aquifer II stark erhöhte Sulfatgehalte auf (KREJCI 1994), wobei die Konzentrationen großen zeitlichen Variationen unterliegen können (vgl. Abb. 18). Weiter im Abstrom der SAD gehen die Sulfatkonzentrationen wieder zurück, liegen aber mit Werten zwischen ca. 40 und 100 mg/l Sulfat deutlich über den Werten im Zustrom der SAD.

Da der Anstieg der Sulfatgehalte auf Gipslösung im Mittleren Muschelkalk hinweist, wurden zur näheren Erkundung der Rückstandstone die neuen tiefen GWM D4 und D6 abgeteuft und Auswertungen der Kontrolldaten durchgeführt.

In den beiden neuen Bohrungen wurde das Salinar als Rückstandstone mit weitgehend isolierter Einlagerung von Gipsbrocken und -schollen angetroffen (vgl. Abb. 4). Die Auswertung der isotopenhydrologischen Daten im Zusammenhang mit den hydrochemischen Daten erbrachte Hinweise darauf, dass dem Grundwasser im Hauptaquifer am westlichen Deponierand eine zusätzliche Grundwasserkomponente zufließt, die durch niedrige oder fehlende Tritiumgehalte und hohe Sulfatgehalte geprägt ist (HYDROISOTOP 2000). Demnach handelt es sich hier um Anteile eines alten, vor den Atombombenversuchen der 1950- und 1960-er Jahre infiltrierten Grundwassers, das nach langsamer Durchsickerung des Mittleren Muschelkalks den Unteren Muschelkalk erreicht hat und in diesem abströmt.

Aufgrund der entlang der Flexurzone bestehenden erhöhten Gebirgsdurchlässigkeiten und des Nachweises eines höheren Potentials im Aquifer III als im Aquifer II (s.o.) am Westrand der SAD ist daher ein Aufstieg von Grundwasser aus dem Aquifer III in den Aquifer II möglich.

Als Arbeitsmodell wurde daher zusammengefasst, dass der Aquifer II am Westrand der Deponie über tief reichende Klüfte der Flexurzone einen geringen Zuflussanteil an aufsteigendem, stark sulfathaltigem tiefem Grundwasser aus dem Aquifer III erhält. Die Zuflussrate wurde zu ca. 0,15 l/s abgeschätzt, was etwa 10 % des Gesamtabstroms im Hauptaquifer entspricht (LGRB 2004).

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

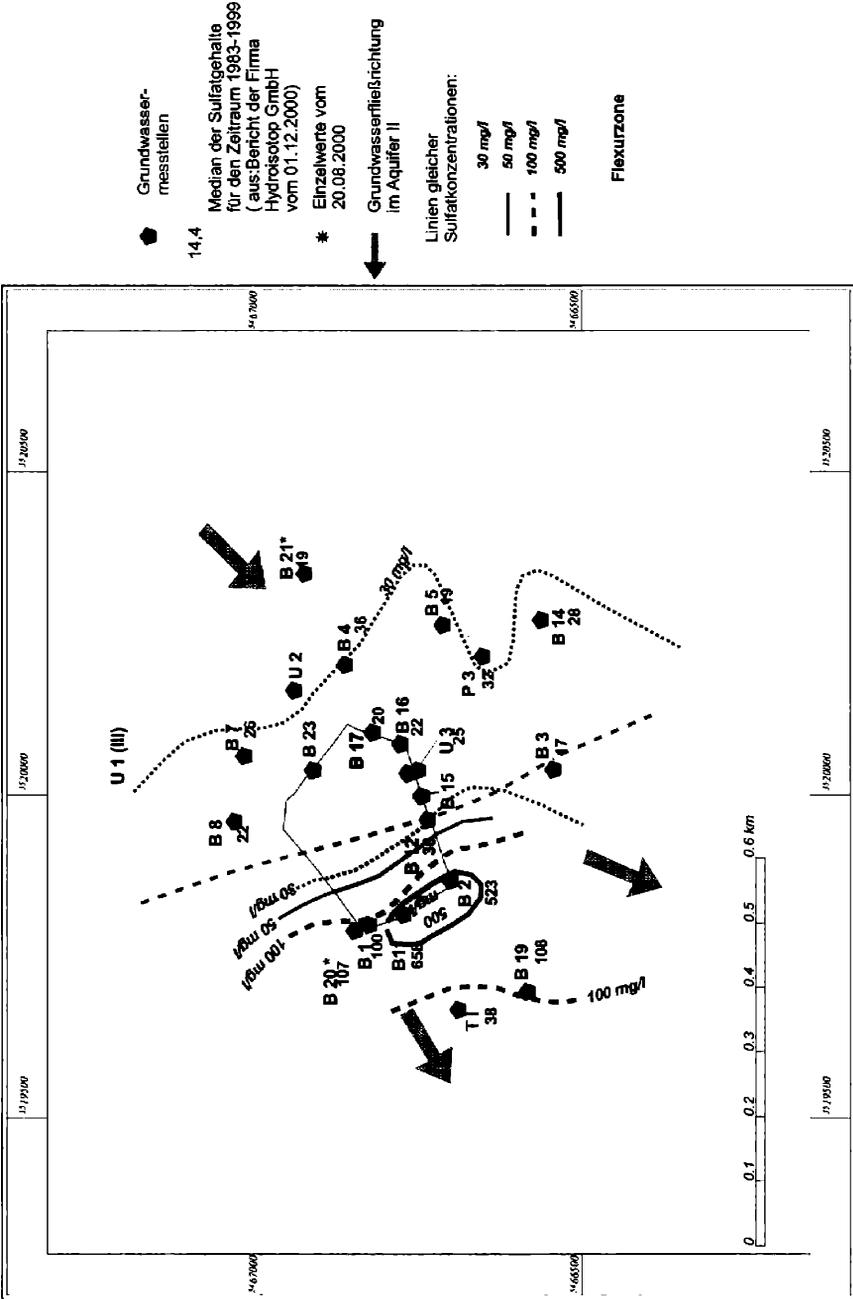


Abb. 18: Lageplan zur Ausbreitung der Tracer.

7. Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus 30 Jahren geologischer Erkundung und der 20-jährigen regelmäßigen Grundwasserkontrolluntersuchungen für die Sonderabfalldeponie Billigheim erlauben eine außergewöhnlich detaillierte Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse im Muschelkalk.

Neue reflexionsseismische Untersuchungen zeigen, dass die Deponie über einer Flexurzone mit einem Schichtversatz von etwa 30 m liegt, die das gesamte Gebirge betrifft. Die Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks unter der Deponie wurde bereits in geologischen Zeiträumen nahezu vollständig ausgelaugt, wodurch im darüber liegenden Gebirge weitere weniger tiefe Störungen angelegt wurden. In die Residualtone eingebettet treten noch isolierte Gipsbrocken und kleine Gipsschollen auf. Der aktive Gipshang mit ursprünglicher Gipsmächtigkeit von ca. 45 m liegt etwa 500 m südlich der Deponie beim Schmelzenhof, wo die Oberkante des Mittleren Muschelkalks in einer Tiefe von knapp 100 m ansteht.

Innerhalb des Muschelkalks konnten drei Grundwasserstockwerke unterschieden werden. Der Aquifer I (Oberer Muschelkalk oberhalb der Haßmersheimer Schichten) führt ganzjährig nur im Bereich der GWM 12 sowie temporär nach Niederschlägen Grundwasser. Er enthält in einigen Bereichen lokale oberflächennahe schwebende Grundwasservorkommen. Den Hauptgrundwasserleiter (Aquifer II) bildet der Obere Muschelkalk unter den Haßmersheim-Schichten zusammen mit der Oberen Dolomitformation des Mittleren Muschelkalks. Der Untere Muschelkalk unterhalb des ausgelaugten Salinars bildet den nur gering ergebnisreichen Aquifer III. Die Aquifere I und II sind großflächig hydraulisch eng miteinander verbunden. Wechselwirkungen zwischen den Aquiferen II und III sind nur lokal möglich und sind nur mit einem geringen Grundwasseraustausch verbunden.

Der hydrogeologische Bau ist zusammenfassend in Abbildung 19 anhand eines W-O-verlaufenden Profilschnitts dargestellt.

Die Hauptfließrichtung des Grundwassers im Hauptaquifer ist nach Grundwasserstandsmessungen etwa nach Südwesten gerichtet. Markierungsversuche zeigten jedoch, dass entgegen der mit den Wasserstandsmessungen festgestellten Potenzialverteilungen auch relativ geringe Grundwasserabflüsse nach Süden bis Südsüdosten erfolgen können. Hierfür verantwortlich ist das im Flexurbereich ausgebildete System orthogonal aufeinanderstehender Klufzonen, die Grundwasserabflüsse auch in andere Richtungen ermöglichen.

Im Aquifer I erfolgt kein eigenständiger Grundwasserabstrom, da er vom Aquifer II drainiert wird. Das Grundwasser im Aquifer II steht etwa 30 bis 40 m unter Gelände an. Das Grundwasser im Aquifer III weist hohe Sulfatgehalte auf und fließt in die gleiche Richtung wie im Aquifer II (vgl. Abb. 19).

Durch zahlreiche Pumpversuche wurde nachgewiesen, dass es sich beim Aquifer II (Hauptaquifer) um einen relativ gering durchlässigen Klufgrundwasserleiter mit einer mittleren Transmissivität von $T = 0,00005 \text{ m}^2/\text{s}$ handelt. Die geringe Durchlässigkeit ist die Ursache für die sehr hohen natürlichen periodischen Schwankungen des Grundwasserspiegels zwischen 10 und 20 m. Der Grundwasserhaushalt im Hauptaquifer konnte im Bereich der Deponie mit knapp 2 l/s bilanziert werden. Die Pumpversuche haben gezeigt, dass zunächst eine mehrstündige Phase der Brunnenspeicherung zu beobachten ist, die für eine

Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk-Karst des Baulandes (Neckar-Odenwald-Kreis)

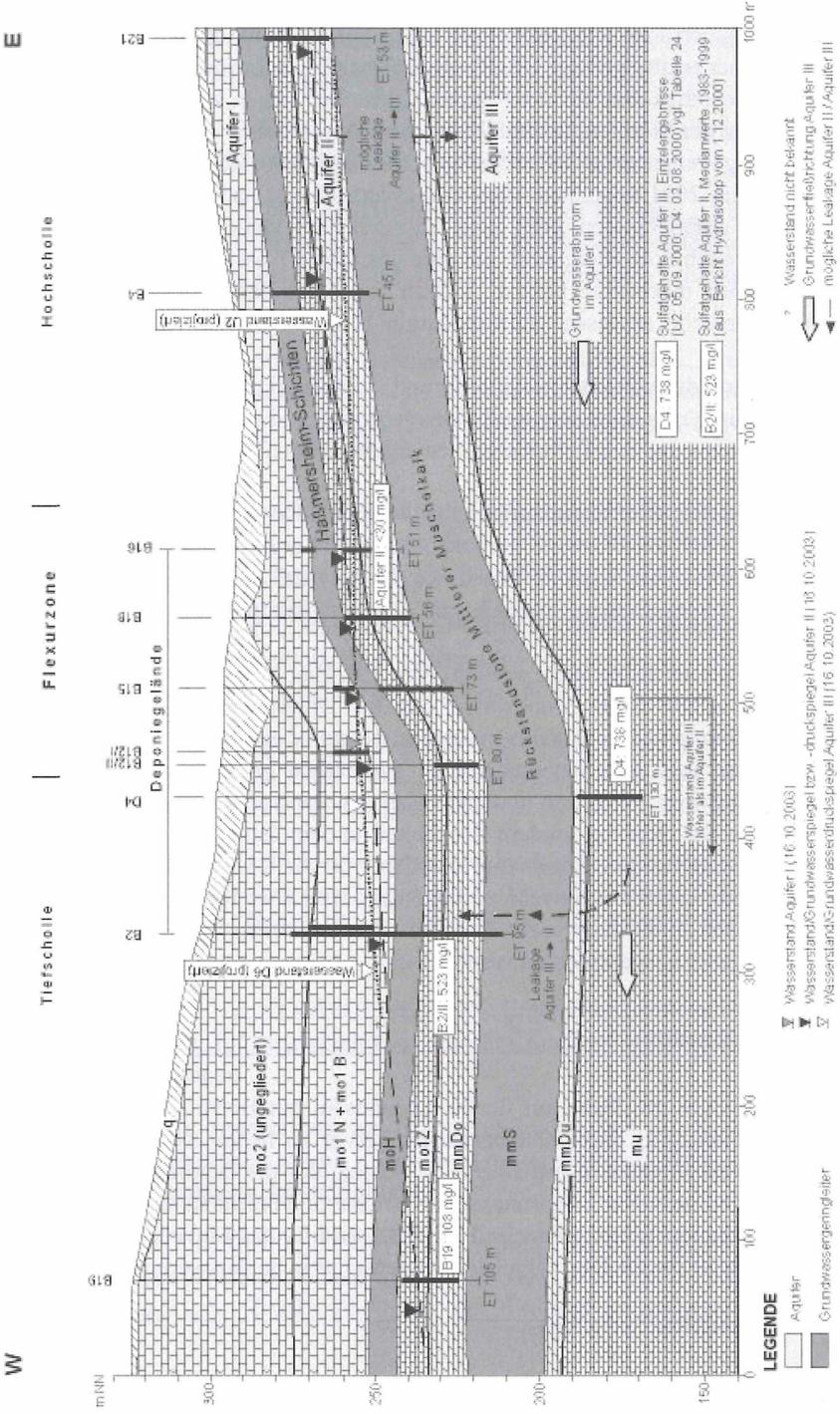


Abb. 19: Geologisches Arbeitsmodell Billigheim (Stand April 2004)

nähere Pumpversuchsauswertung zu berücksichtigen ist. Zukünftige Pumpversuche in Muschelkalk-Messstellen sollten Pumpzeiten von wenigstens einem Tag aufweisen.

Markierungsversuche erbrachten trotz intensiver Klüftung und Zerrüttung des Oberen Muschelkalks nur relativ geringe Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten. Die maximalen Abstandsgeschwindigkeiten für die Hauptaustrittsstellen liegen zwischen ca. 1 und 5 m/d. Die Ausbreitung der Markierungsmittel erfolgt im wesentlichen auf dem Feinkluftnetz. Für Nebenaustritte gelten niedrigere Abstandsgeschwindigkeiten. Der Markierungsmitteldurchgang des Anfang 2001 begonnenen Markierungsversuchs ist nach über 2 Jahren Beobachtungszeit nicht abgeschlossen. Dies zeigt, dass bei Färbversuchen im Muschelkalk lange Beobachtungszeiten notwendig sind, um eine gesicherte Aussage über das Fließverhalten des Grundwassers machen zu können. Uranin und Eosin haben sich als geeignet für die Markierungsversuche erwiesen. Sulforhodamin B wurde vermutlich an den Tonsteinen adsorbiert.

Der Klüftgrundwasserleiter weist aufgrund seiner starken Zerrüttung ähnliche Eigenschaften wie ein gering durchlässiger Lockergesteinsgrundwasserleiter auf. Aus den Markierungsversuchen- und den Pumpversuchen ergeben sich allerdings Hinweise auf größere Inhomogenitäten.

Im Hauptaquifer wird charakteristisches Muschelkalk-Grundwasser angetroffen, dessen Sulfatgehalt sich am Westrand der Deponie von 30 mg/l im Zustrom auf ca. 100 mg/l im Abstrom erhöht. Als Ursache hierfür konnte aus der Auswertung der vorliegenden umfangreichen hydraulischen, hydrochemischen und isotopehydrologischen Daten ein gering ergebiger Aufstieg von Wasser aus dem Aquifer III in den Aquifer II am westlichen Rande der Flexurzone ausgemacht werden (Abb. 19). Hier steigen etwa 0,15 l/s stark sulfathaltiges, tritiumarmes/-freies Grundwasser aus dem Unteren Muschelkalk durch die Sali-narfolge des Mittleren Muschelkalks in den Hauptaquifer auf. Da der Aquifer III aufgrund seiner Tiefenlage und dem Schichtfallen ein wesentlich größeres Einzugsgebiet als der Hauptaquifer aufweist, wird nach heutigem Kenntnisstand angenommen, dass die Gipslösung nicht unter der Deponie sondern flächenhaft in dem östlich anschließenden Einzugsgebiet erfolgt. Standfestigkeitsprobleme sind daher für die SAD nicht zu erwarten.

Die Auswertung der mittlerweile vorliegenden, weit über 10.000 Kontrollanalysen des Grundwassers seit 1983 zeigt, dass ein Sickerwassereinfluss von der Deponie auf das Grundwasser bisher ausgeschlossen werden kann.

Dank und Widmung

Die Autoren blicken mit Dank auf für die gemeinsam mit Herrn Dr. Schloz verbrachten Berufsjahre zurück. Für diese Zeit besonders hervor zu heben ist der immer mögliche intensive fachliche Austausch mit Herrn Dr. Schloz, der die bearbeiteten Projekte durch seinen breiten geologischen Erfahrungsschatz belebte und befruchtete.

Dem Land Baden-Württemberg und der HIM wird für das Einverständnis gedankt, die vorhandenen Daten für die hier vorgelegte wissenschaftliche Auswertung zu verwenden.

Eingang des Manuskripts: 31.07.2004

Angeführte Schriften

- HAGDORN, H. , SIMON, T. (1985): Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes – Jan Thorbecke Verlag, 186 S., Sigmaringen
- HYDROISOTOP (2000): Datenauswertung Grundwassermessnetz Sonderabfalldeponie (SAD) Billigheim (Abschlussbericht) – unveröff. Bericht
- KREJCI, D. (1992 a): Bericht über die Datenauswertung des Projekts „Grundwasserüberwachung der SAD Billigheim“, Teil I, Teil II –Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg, zahlreiche Abb. und Tab., 70 S., Fellbach-Schmieden (unveröff. interner Bericht)
- KREJCI, D. (1992 b): Bericht über die Datenauswertung des Projekts „Grundwasserüberwachung der SAD Billigheim“, Teil III – Sonderabfallentsorgung Baden-Württemberg, zahlreiche Abb. und Tab., 115 S., Fellbach-Schmieden (unveröff. interner Bericht)
- KREJCI, D. (1994): Grundwasserchemismus im Umfeld der Sonderabfalldeponie Billigheim und Strategie zur Erkennung eines Deponiesickerwassereinflusses – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, C17, 121 S., 135 Abb., 26 Tab., Tübingen
- LGRB, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2000): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50000, Blatt Heilbronn und Umgebung – Erl. Heilbronn u. Umgebung, 68 Abb., 6 Tab., 11 Beil., Freiburg im Breisgau
- LGRB (2004): Abschließende geologische und hydrogeologische Beurteilung des Standortes der SAD Billigheim unter Berücksichtigung der bisherigen Kontrolluntersuchungen, 20 Abb., 24 Tab., 25 Anlagen, unveröff. Bericht, 102 S., Freiburg
- PLUM, H. & KREJCI, D. (1997): Auswertung hydrochemischer Daten im Rahmen der Grundwasserüberwachung von Deponien, Erfahrungen bei der SAD Billigheim – JH. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 36, S.: 263 –304, 13 Abb., 1 Tab., Freiburg
- SCHLOZ, W., STOBBER, I. & STRAYLE, G. (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen. Informationen Geologisches Landesamt Baden-Württemberg 6, Freiburg im Breisgau
- SCHULZ, H.D. (1992): Auswertung von Markierungsversuchen. In: KÄSS W., Geohydraulische Markierungstechnik Lehrbuch der Hydrologie, Band 9, S.: 324-362; Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart
- SCHWEIZER, R., STOBBER, I. & STRAYLE, G. (1985): Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse von Tracerversuchen im Grundwasser. Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 11, S.: 93-193, 10 Abb., 5 Tab., Freiburg im Breisgau

SIMON, T. (1999): Die Geschichte des Muschelkalkkarst-Aquifersystems im nördlichen Baden-Württemberg – Geol. Jb., C 66; S.: 47 –74, Hannover

SIMON, T. (2000): Zum Alter des Muschelkalkkarsts im nördlichen Baden-Württemberg – Laichinger Höhlenfreund, 35 (1), S.: 17 – 26, Laichingen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [95](#)

Autor(en)/Author(s): Bauer Michael

Artikel/Article: [Hydrogeologische Langzeituntersuchungen im Muschelkalk- Karst des Baulandes \(Neckar-Odenwald-Kreis\) 81-114](#)