

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

Bernhard Grimm

Stichwörter

Niederterrassenschotter, Grundwasserkomponente, Grundwasserbilanz, Grundwassergleichplan, Rheinuferfiltrat, Rheinwasserstände, Rheinkraftwerk Säckingen, Isotopenhydrologie, Elektrische Leitfähigkeit, Pumpversuch, Geohydraulik, Landkreis Waldshut, Stadt Bad Säckingen, TK 25: 8413 Bad Säckingen

Zusammenfassung

Die im Einstaubereich des Rheinkraftwerkes Säckingen befindlichen hochdurchlässigen Niederterrassenschotter des Hochrheins sind der Grundwasserleiter des Wassergewinnungsgebietes „Großfeld“ der Trinkwasserversorgung der Stadt Bad Säckingen. Die hydrogeologische Situation in den Niederterrassenschottern wird von drei Grundwasserkomponenten - wie isotopenhydrologische und hydrochemische Untersuchungen, Messungen der elektrischen Leitfähigkeit, der Wasserstände und Pumpversuchsauswertungen ergaben - bestimmt: Rheinwasserinfiltration infolge des Rheinaufstaus, der Grundwasserzustrom vom Schwarzwaldrand und die Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Bereich der Niederterrasse.

Da das Rheinwasser durch geringe Gehalte der stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium deutlich markiert ist, konnte anhand der isotopenhydrologischen Untersuchungsergebnisse nachgewiesen werden, dass der überwiegende Anteil des Grundwassers im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ aus Rheinuferfiltrat besteht bzw. hohe Rheinuferfiltratanteile enthält.

Anschrift des Verf.:

Dr. Bernhard Grimm

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

Rheinwasserstandsschwankungen machen sich, bedingt durch die hohe Durchlässigkeit der Schotter, innerhalb weniger Stunden durch Druckübertragung bei den Wasserständen in fast allen Tiefbrunnen und Grundwassermessstellen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Rhein bemerkbar. Bei der Auswertung der Pumpversuche ist die starke Überlagerung der pumpbedingten Absenkungen bzw. Wiederanstiege durch den Rheinwasserstandsgang, vor allem bei größeren Entfernungen zu den Pumpbrunnen, problematisch. Diese Zusammenhänge zwischen pendelnden Grundwasserständen mit der Rheinstauhaltung müssen bei der Pumpversuchsauswertung erkannt und berücksichtigt werden.

Hydrogeological situation in the ground water area „Großfeld“ of the town Bad Säckingen

Key words

high permeable gravel aquifer, recharge components, chemical hydrology, isotop hydrology, rhine water level, hydroelectric power station, electrical conductivity, groundwater balance, rhine water infiltration , Bad Säckingen

Abstract

The wells for drinking water purposes in the so called “Großfeld” area of the town Bad Säckingen are situated in the gravel aquifer of the valley of the river Rhine. The hydraulic situation in this area is influenced by the river Rhine, which is retained by the dam of the nearby hydroelectric power station. Groundwater is composed of three recharge components (i) infiltrating Rhine water in the upstream area of the dam, (ii) recharge by local precipitation and (iii) influx into the gravel aquifer from the crystalline basement rocks of the Black Forest in the north, indicated by hydrochemical and isotopic investigations, pumping tests as well as by measurements of groundwater and rhine water levels and measurements of electrical conductivity.

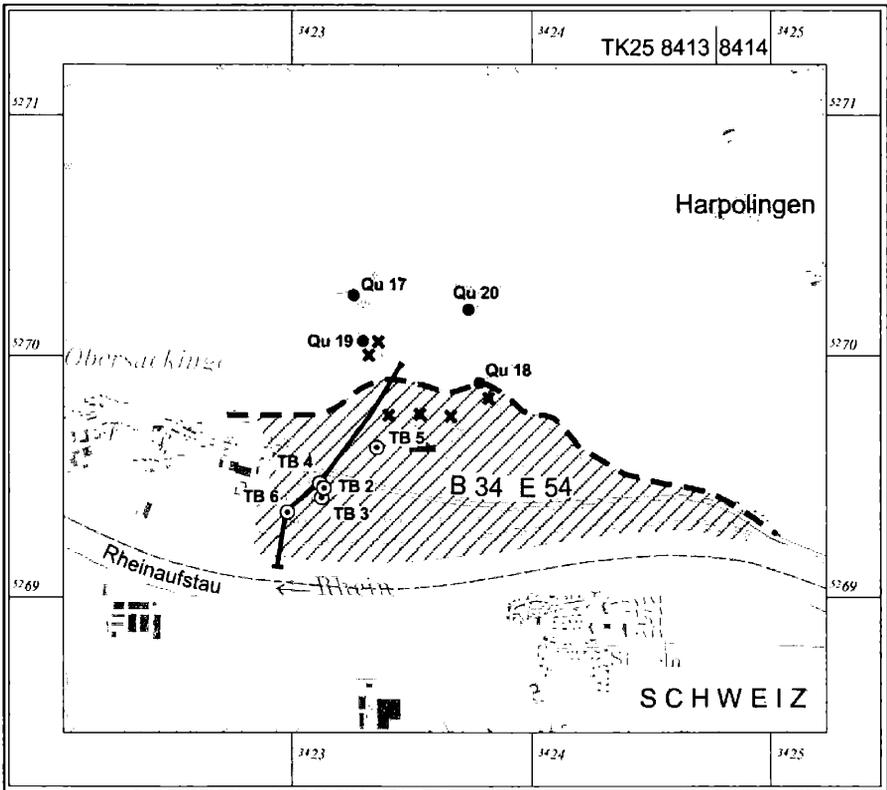
The Rhine river water is clearly marked by its depletion in the stable isotopes oxygen-18 and deuterium. The isotopic investigations demonstrate that the river Rhine infiltrates in the “Großfeld” area, showing the same isotopic signature. Infiltration of rhine water is the most important part of groundwater recharge.

Water level fluctuations in the river Rhine influence ground water level changes in most piezometers and wells in a significant way, depending on the distance to the river Rhine. This is due to transmission of hydraulic pressure within the highly permeable gravel aquifer. During pumpingtests the superposition of pumping related groundwater drawdown (and recovery) with fluctuations of the river Rhine was huge. So the interpretation of pumping tests was more difficult than expected, especially in observation wells far from the production well.

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

1. Einleitung

Das Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld mit sechs Tiefbrunnen befindet sich östlich des Bad Säckinger Stadtteiles Obersäckingen. Es wird umgrenzt im Süden vom Rhein, im Norden vom Kristallin des Südschwarzwaldes, im Osten von der Verengung des Rheintals bei Rothaus, wo das Kristallingestein nahe an den Rhein reicht (Abb. 1). Westlich des Gewinnungsgebietes bildet das Rheinkraftwerk Bad Säckingen, bedingt durch den Rhein- und Grundwasseraufstau, eine Begrenzung.



- | | | | |
|-------|------------------------|------|-----------------------------|
| Qu 20 | Quelle mit LGRB-Nummer | --- | Schwarzwald-Gebirgsrand |
| TB 1 | Tiefbrunnen mit Nr. | — — | hydrogeologischer Schnitt |
| X | Versickerungsstelle | //// | Grundwassergewinnungsgebiet |

Abb. 1: Lage des Grundwassergewinnungsgebietes Großfeld der Stadt Bad Säckingen.

Die Trinkwasserversorgung der 17 000 Einwohner zählenden Stadt Bad Säckingen mit allen Stadtteilen und für die Kurgäste stützt sich auf dieses Grundwasservorkommen. Der Tiefbrunnen 1 (Baujahr 1907) ist seit längerem außer Betrieb. Die Hauptlast der Wasserversorgung tragen die Tiefbrunnen 2 (Baujahr 1961) und Tiefbrunnen 3 (Baujahr 1951). Die Tiefbrunnen 4 (1980) und 5 (1989) sind noch nicht in Förderung. Im Jahr 2000 wurde der rheinnah gelegene Tiefbrunnen 6 gebaut. Die Stadtwerke Bad Säckingen planen eine Fördermenge von jeweils 25 l/s aus den Tiefbrunnen 2 bis 6 (insgesamt etwa 125 l/s).

Tab. 1 Daten der Tiefbrunnen 1 bis 6 der Wasserversorgung der Stadt Bad Säckingen.

Name/Baujahr	TB 1/1907	TB 2/1961	TB 3/1951	TB 4/1980	TB 5/1989	TB 6/2000
LGRB-Archiv-Nr.	BO 8413/291	BO 8413/292	BO 8413/110	BO 8413/55	BO 8413/414	BO 8413/430
GW-Nummer		16/124-2	19/124-9			
Rechtswert	3423130,00	3423131,82	3423122,38	3423114,83	3423351,27	3422978,75
Hochwert	5269485,00	5269448,86	5269410,48	5269469,55	5269617,49	5269349,80
GOK, m NN	299,50	297,87	296,13	298,63	298,79	294,38
Bohrteufe m u. GOK	22,4	23,0	22,4	27,5	23,0	24,5
Ausbauteufe m u. GOK	22,4	22,5	22,2	27,4	23,0	24,5
Bohrdurchmesser mm	1000	1500	1500	2500/2000	1700/1500	1700/1500
Ausbau-durchmes- ser mm	900	800	1 000	1 000	800	800
Filterstrecke m u. GOK	14,6-22,4	12,5-22,5	13,7-22,2	14,9-20,9 24,4-26,4	13,0-21,0	13,5-22,5
Quartärbasis m u. GOK	> 22,4	> 23	21,6	26,9	21,5	23,1
Geologie der Quartärbasis	nicht erreicht	nicht erreicht	roS*	roS	roS	roS
Flurabstand m u. GOK	12	10	9	11	10	7
Aquifermächtig- keit, m	> 10	> 13	12,6	15,9	11,5	16,1
genehmigte Fördermenge, l/s	außer Betrieb	50 (06.11.1961)	25 (01.09.1950)			
geplante Förder- menge, l/s	außer Betrieb	25	25	25	25	25

roS* - Oberrotliegend-Sedimente

Die detaillierten hydrogeologischen Untersuchungen im Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld begannen Anfang der 1980er Jahre nach dem Bau des Tiefbrunnen 4. Der Anlass war die Entscheidung der Stadt Bad Säckingen, die geplante Grundwassererschließung im Gebiet Säckingen-West (Gewann Allmendgrütt) wegen verschiedener anthropogener Gefährdungen des Grundwassers (Altablagerungen, Gewerbegebiete, Bundesbahn, Soleleitung) einzustellen und sich auf das Wassergewinnungsgebiet Großfeld östlich der Stadt zu konzentrieren. Seit 1984 wurden in mehreren Untersuchungsintervallen Grundwassermessstellen gebaut, insgesamt 27 bis zum Jahr 1999. Das hydrogeologische Untersuchungsprogramm in den Jahren 1985/86 umfasste einen Pumpversuch im Tiefbrunnen 4, eine hydrochemische Stichtagsbeprobung und ein Grundwasserströmungsmodell (Gutachten GLA 1988).

Das Wassergewinnungsgebiet rückte Ende der 1990er Jahre ins öffentliche Interesse, als der Bau eines archäologischen Erlebnisparks in einer alten Kiesgrube (Armira-Gelände, östlich Tiefbrunnen 5) im Zustrombereich der Trinkwasserbrunnen geplant war. Das Vorhaben wurde wegen der hohen Gefährdung des Grundwassers Ende 2000 aufgegeben.

Die hydrogeologischen Untersuchungen, die Kollege Dr. O. Wendt konzipierte, sowie die Modellberechnungen durch das Geotechnische Institut, Weil am Rhein, konzentrierten sich auf das Gefährdungspotential der die engere Schutzzone (Zone II) des Wasserschutzgebietes der Tiefbrunnen in voller Breite querenden Bundesstraße B 34. Geoelektrische und refraktionsseismische Messungen führte die Firma Terra Tec, Heitersheim, im Jahr 1997 durch. Eine Neukalibrierung des Grundwassermodells hat das Geotechnische Institut im Zusammenhang mit der Wasserschutzgebietsabgrenzung im Mai 2003 (Gutachten LGRB 2003) durchgeführt.

2. Hydrogeologische Verhältnisse

Geologisch liegt das Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld an der Stelle, wo sich das Abtauchen der Murgtalgneis-Anatexite des Schwarzwald-Kristallins nach Süden unter das Deckgebirge aus permotriassischen Sedimenten verflacht. Grundlage der allgemeinen geologischen Verhältnisse bilden die Vorläufige Geologische Karte Blatt 8314 Bad Säckingen (GLA 1995), die NAGRA-Karte 1984 und die Diplomarbeit von SAHINOGLU 1985. Hydrogeologische Informationen enthält der INTERREG II-Bericht (Landratsamt Waldshut 2001). Auf diesem Festgesteinssockel lagern die grundwasserführenden gut durchlässigen Niederterrassenschotter des Hochrheines in einer Mächtigkeit von etwa 20 bis 30 m. Alte kiesgefüllte Rheinrinnen im Festgestein wie zwischen Bad Säckingen und Rheinfelden (JÄCKLI & WYSSLING 1972) wurden im Untersuchungsbereich nicht kartiert. Der präquartäre Untergrund ist vermutlich durch Tektonik gestört. So ist erklärbar, dass Schluff- und Feinsandstein des Oberrotliegenden neben Murgtal-Gneisanatexit, manchmal mit einer geringmächtigen Oberrotliegend-Auflage, im präquartären Untergrund angetroffen werden (Abb. 2). In Richtung Schwarzwald keilen die Kiese aus (Beispiele Grundwassermessstellen P 7, P 11). Die hydrogeologische Situation ist aus dem hydrogeologischen Schnitt in Abb. 2 und der Quartärbasiskarte in Abb. 3 zu ersehen. Am Gebirgsrand befinden sich Hangschutt und Schwemmsedimente, ältere eiszeitliche Schotter sowie Ablagerungen von Lösslehm.

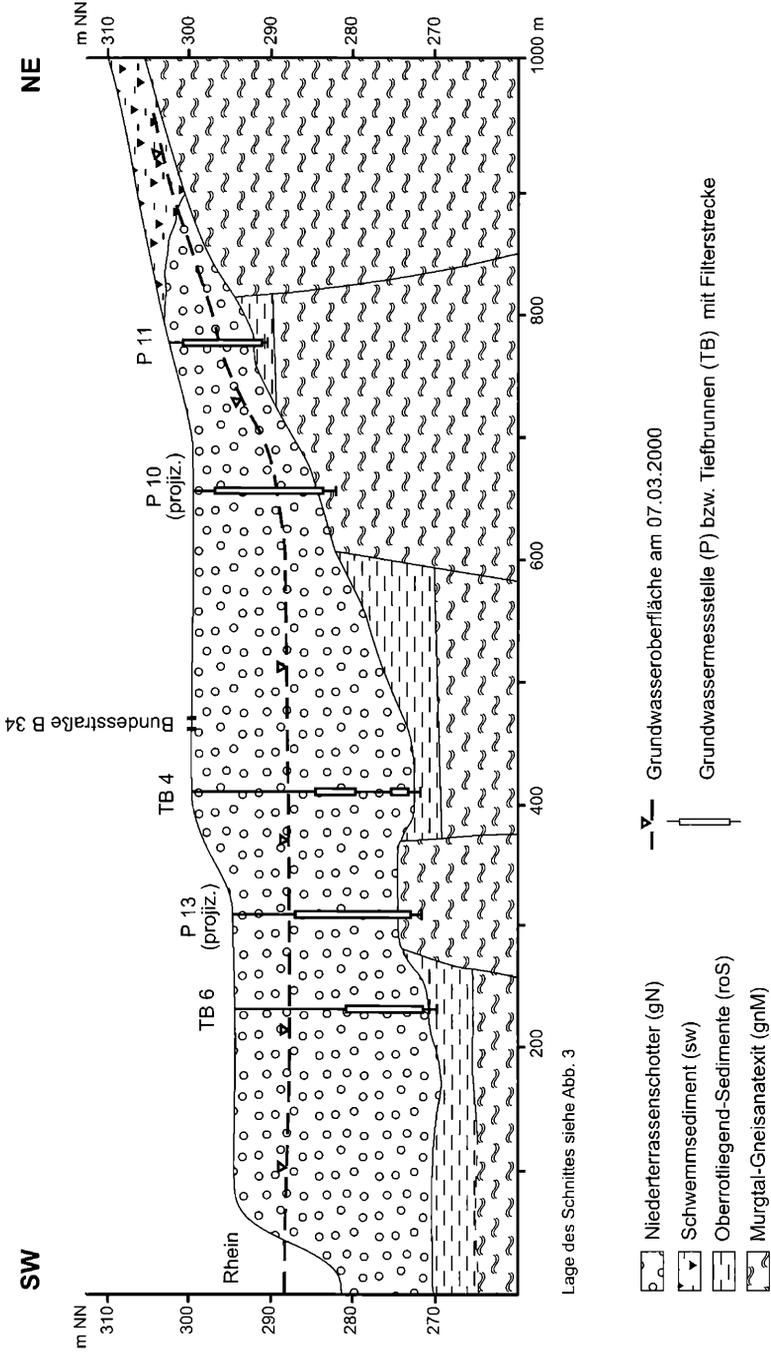


Abb. 2: Hydrogeologischer Schnitt durch das Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld.

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

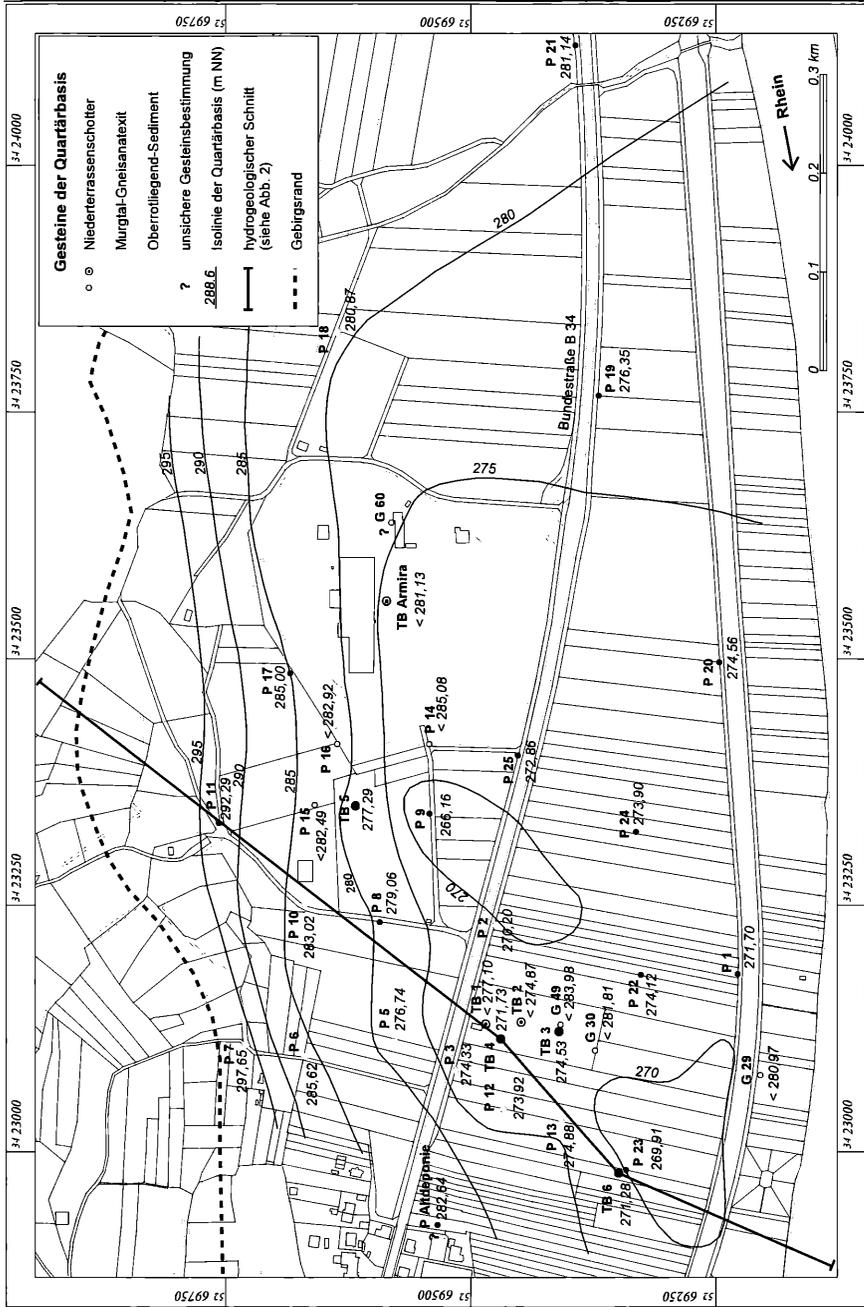


Abb. 3: Quartärbasiskarte des Grundwassergewinnungsgebietes Großfeld.

Der Grundwasserflurabstand beträgt in einem zum Rhein parallelen, 100 bis 200 m breiten Streifen etwa 7 bis 9 m (Beispiele: TB 6, GWM P 1, P 22, P 24), in der Mitte der Niederterrasse etwa 9 bis 12 m (Beispiele TB 2 bis 5, GWM P 3, P 4, P 25). Die grundwassererfüllte Mächtigkeit in den Schottern liegt in der Größenordnung von 12 bis 16 m. Im Innern des Grundwassergewinnungsgebietes verläuft die Grundwasserfließrichtung etwa parallel zum Rhein. Das Gefälle beträgt durchschnittlich etwa $i_0=0,001$ bis 0,0015 (Abb. 4). In Richtung Rhein und Gebirgsrand biegen die Grundwassergleichen um. Ursache ist der Zustrom von Rheinuferfiltrat und am Gebirgsrand der Zustrom von Grundwasser aus dem kristallinen Schwarzwald (Leitfähigkeitsmessungen, siehe Abschnitt 4).

3. Grundwasserkomponenten

Die hydrogeologische Situation (Grundwasserfließrichtung, Beschaffenheit des Grundwassers, Grundwasserstände) in den Niederterrassenschottern wird von drei Komponenten bestimmt. Diese sind die Rheinwasserinfiltration von Süden und Osten infolge des Rheinaufstaus, der Grundwasserzustrom vom Schwarzwaldrand im Norden und die Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Bereich der Niederterrasse.

3.1 Rheinuferfiltrat

Die Tiefbrunnen liegen im Einstaubereich des im Jahr 1966 in Betrieb genommenen Rheinkraftwerks Säckingen. Sie erhalten aufgrund des Potentialgefälles zwischen Rhein- und Grundwasser einen Zustrom von Rheinuferfiltrat (hydrogeologischer Schnitt: Abb. 2, Grundwassergleichenplan: Abb. 4). Da die Rheinwasserkomponente beim Tiefbrunnen 6 und bei der 320 m vom Rhein entfernten Grundwassermessstelle P 25 (an der B 34) nach isotopenhydrologischen Messungen etwa 100 Prozent beträgt (Abb. 7, vgl. Abschnitt 6), wird davon ausgegangen, dass der Rheinuferfiltratanteil im Grundwasserleiter vor allem in Rheinnähe überwiegt.

Die Bewirtschaftungshöhe des Rheinwasserspiegels pendelt täglich um etwa 0,2 bis etwa 0,5 m. Die maximale Schwankung der Rheinwasserhöhe durch die Stauhaltung beträgt 0,75 m (Abb. 5). Die maximale Rheinstauhöhe beim Oberwasserpegel des Rheinkraftwerks Säckingen liegt bei 289,28 m NN und die minimale bei 288,53 m NN, der mittlere Rheinwasserstand liegt bei 288,83 m NN. Rheinwasserstandsschwankungen machen sich innerhalb weniger Stunden durch Druckübertragung bei den Wasserständen in allen Tiefbrunnen und Grundwassermessstellen in Abhängigkeit von der Entfernung bemerkbar. Auch bei den meisten relativ rheinfernen Messstellen im Norden der Niederterrasse reagieren die Grundwasserstände deutlich auf die Änderungen der Rheinwasserstände (Beispiele: TB 5, GWM P 8, P 16, P 17, G 60 Armira). Darauf wird in Abschnitt 7 weiter eingegangen. Die bereits am Anstieg zum Schwarzwald gelegenen Grundwassermessstellen P 7 und P 11 reagieren nicht auf Wasserstandsschwankungen des Rheins.

3.2 Grundwasserzustrom aus dem kristallinen Grundgebirge

Die zweite Grundwasserkomponente tritt aus dem Schwarzwaldkristallin (Gneisanatexit) bzw. über den Hangschutt oder die Schwemmsedimente in die Niederterrassenschotter über. Dies belegen die Versickerungsstellen kleiner Bäche am Gebirgsrand (Abb. 1) und

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

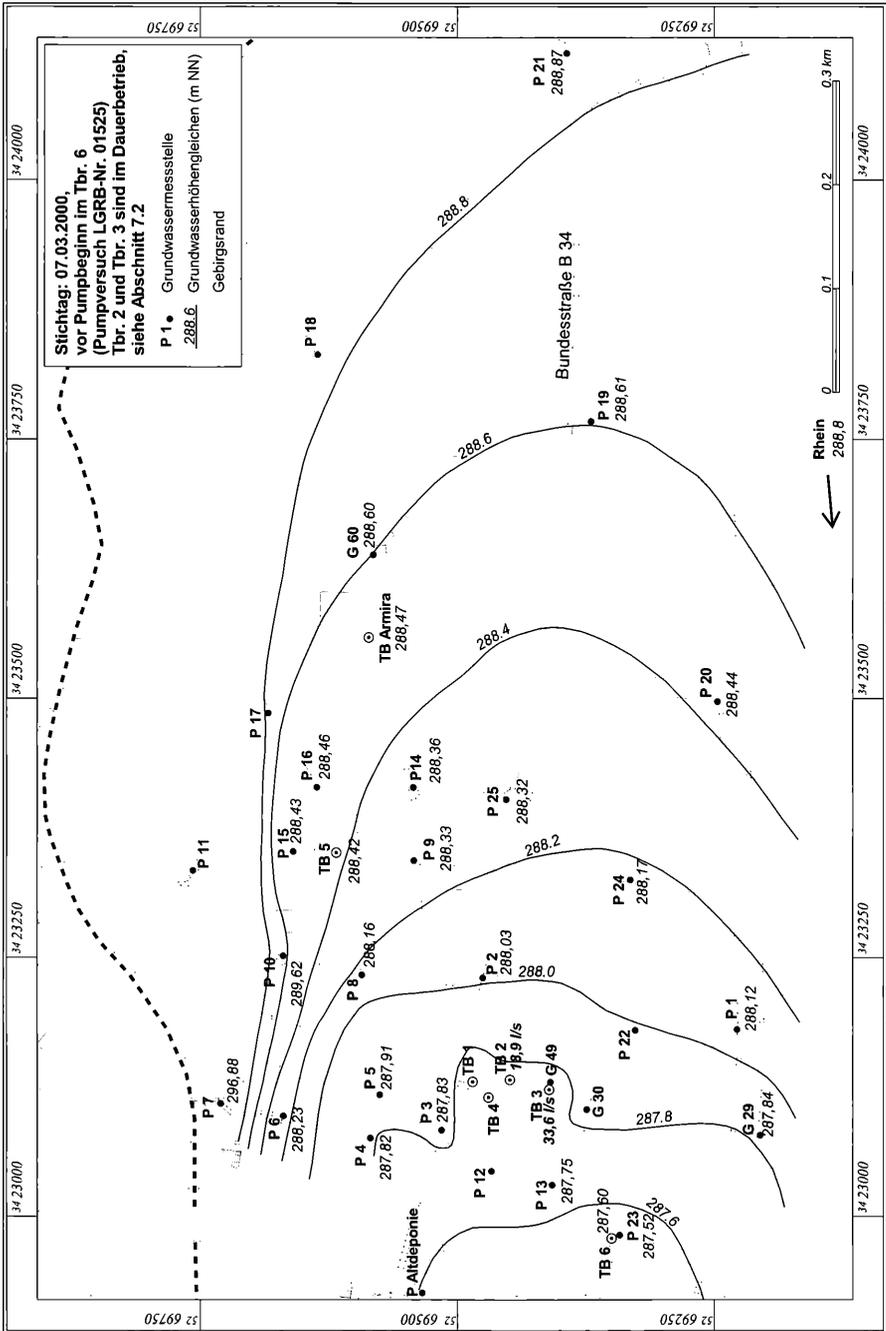


Abb. 4: Grundwasserleichenplan im Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld.

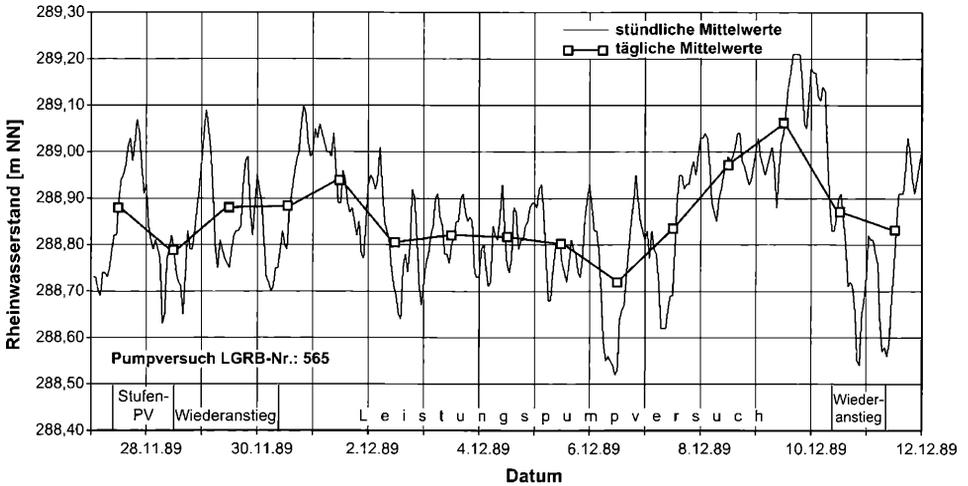


Abb. 5: Ganglinien der Rheinwasserstände während des Pumpversuches im Tiefbrunnen 5, stündliche und tägliche Mittelwerte des Oberwasserpegels des Rheinkraftwerks Säckingen.

die geringere Mineralisation des Grundwassers in den Schottern unmittelbar am Gebirgsrand. Mehrere, kleinere, manchmal versickernde Quellen entspringen im Bereich des Gebirgsrandes (LGRB-Nr.: QU 8413/17 bis 20).

3.3 Lokale Grundwasserneubildung

Die dritte Grundwasserkomponente besteht aus dem in den Niederterrassenschottern aus Niederschlag neugebildeten Grundwasser. Dieses von den kalkalpinen Schottern deutlich aufgehärtete und höher mineralisierte Grundwasser tritt hauptsächlich in einem etwa 200 m breiten zentralen Streifen auf (vgl. Leitfähigkeitsisolinienplan: Abb. 6).

4. Elektrische Leitfähigkeit

Drei Messkampagnen wurden durchgeführt, um Informationen zur Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Grundwasser, im Rheinwasser und bei den Oberflächengewässern vom Schwarzwald zu gewinnen. Die Messung am 02.04.2002 an einigen von den Stadtwerken Bad Säckingen ausgewählten Grundwassermessstellen oblag dem Untersuchungsinstitut Heppeler, Lörrach. Das LGRB führte vom 17.06. bis 19.06.2002 eine zweite Messreihe durch, wobei das Messnetz verdichtet wurde. Am 30.10.2002 wurde eine dritte Messreihe vom LGRB durchgeführt (Abb. 6).

Niedere Werte unter $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ zeigen die aus dem Grundgebirge kommenden Wässer im Norden: Krebsbach, Heimbach. Die Grundwassermessstellen P 7 und P 10 haben mittlere Werte, die überleiten zu den höheren Werten von mehr als $450 \mu\text{S}/\text{cm}$ im zentral gelegenen Bereich, wo das Wasser wegen der längeren Verweildauer in den kalkalpinen Schottern und infolge der örtlichen Grundwasserneubildung durch Aufhärtung eine höhere Leitfähigkeit hat.

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

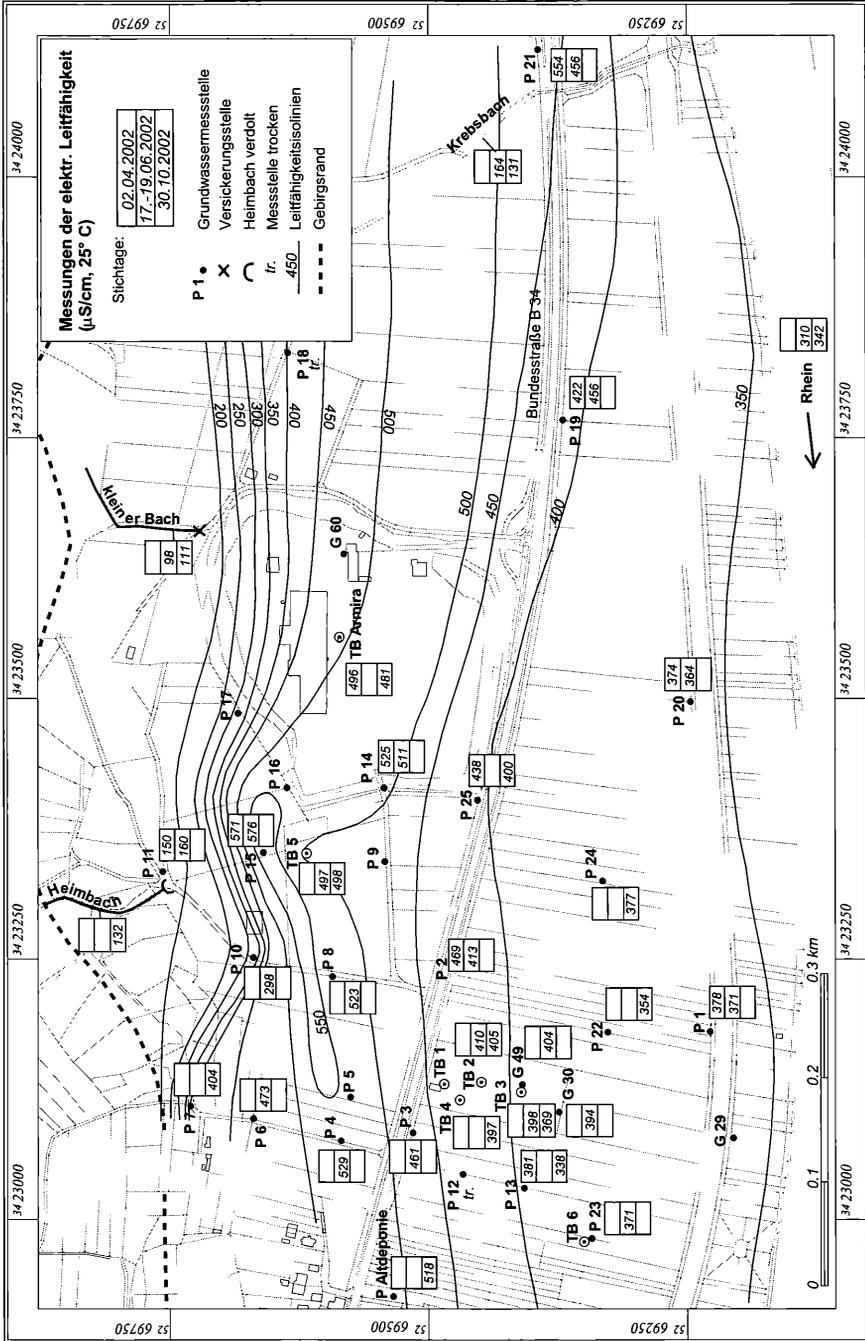


Abb. 6: Leitfähigkeitsisolinienplan, Grund- und Oberflächenwässer.

Südlich schließt sich eine Übergangszone mit Werten zwischen etwa 400 und 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei den TB 2 und 4, GWM P 2, P 19, P 25 an, die an das stark Rheinwasser beeinflusste Grundwasser in Ufernähe mit Werten von etwa 350 bis 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ überleitet (TB 6, P 1, P 20, P 22, P 23, P 24).

Diese Anordnung der Leitfähigkeitszonen hat zuerst Kollege Dr. H. PRIER erkannt (Gutachten GLA1988). Durch weitere in der Zwischenzeit gebaute Grundwassermessstellen ist die Leitfähigkeitsverteilung detaillierter belegt.

5. Chemische Beschaffenheit

Die chemisch-physikalische Stichtagsbeprobung im Jahr 1985 durch das Labor des GLA bestätigt die mit den Leitfähigkeitsmessungen aus Jahr 2002 dargestellte hydrochemische Verteilung in drei Zonen (Abschnitt 4) mit geringen Werten am Grundgebirgsrand im Norden, höheren Werten in einem zentral gelegenen Streifen und dem niederkonzentrierten, rheinbeeinflussten Grundwasser im Süden auch für die Parameter Gesamthärte, Chlorid und Nitrat. Die Chlorid- bzw. Nitrat-Konzentrationen (in Klammern) betragen am Grundgebirgsrand etwa <8 mg/l bzw. (<15 mg/l), im zentralen Streifen 6-15 mg/l bzw. (13 bis 25 mg/l) und in Richtung Rhein <13 mg/l bzw. (<18 mg/l). Das Rheinwasser enthält 7,8 mg/l Chlorid und 7,9 mg/l Nitrat. Es wird vermerkt, dass die Nitrat-Konzentrationen bei der Messung im Jahr 1985 allgemein höher sind als die aktuellen Werte in den Tiefbrunnen und Grundwassermessstellen.

Das geförderte Grundwasser aus den Tiefbrunnen 2, 3, 4 und 6 ist mit 280 bis 330 mg/l gelösten Feststoffen, im Tiefbrunnen 5 mit rund 400 mg/l gelösten Feststoffen, relativ gering mineralisiert (Analysen aus dem Jahr 2000, Untersuchungsinstitut Heppeler, Lörrach). Das Grundwasser ist überwiegend als hydrogenkarbonatisches, erdalkalisches Süßwasser charakterisiert. Die Karbonathärte liegt im Bereich von 7,8 bis 9,7 $^{\circ}\text{dH}$, Tiefbrunnen 5 bei 11,9 $^{\circ}\text{dH}$, die Gesamthärte von 9,2 bis 11,2 $^{\circ}\text{dH}$, Tiefbrunnen 5 bei 13,6 $^{\circ}\text{dH}$ (nach KLUT-OLS-ZEWSKI: mittelhart, Tiefbrunnen 5: ziemlich hart). Das geförderte Wasser ist sauerstoffhaltig, bei Werten mit 2,8 bis 6,8 mg/l O_2 besteht jedoch nur eine geringe bzw. teilweise Sättigung. Die Nitratgehalte sind mit 5,4 bis 8,9 mg/l, im Tiefbrunnen 5 bei 12,6 mg/l nieder, ebenso wie die Chloridgehalte von 5,4 bis 8,7 mg/l, im Tiefbrunnen 5 bei 9,0 mg/l.

6. Isotopenhydrologie

Die Firma Hydroisotop hat das Grundwasser in der neben dem Tiefbrunnen 6 gelegenen Grundwassermessstelle P 23, im Tiefbrunnen 4 (getrennt in den beiden Filterstrecken, oben: 14,9 20,9 m u. GOK, unten: 24,4 m 26,4 m u. GOK) sowie in ausgewählten Grundwassermessstellen, ferner das Heimbachwasser aus dem Schwarzwald und das Rheinwasser beprobt.

Das Sauerstoff-18/Deuterium-Diagramm (Abb. 7) zeigt, dass das Rheinwasser durch die sehr geringen Gehalte der stabilen Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium deutlich markiert ist. Das Heimbachwasser stellt mit hohen Sauerstoff-18 und Deuterium-Werten das lokal aus Niederschlag gebildete Wasser dar. Die in der Nähe des Gebirgsrandes gelegenen Grundwassermessstellen P 6, P 10 und P 11 zeigen in den Sauerstoff-18 und Deuterium-Gehal-

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

ten zu etwa 70 bis 80 Prozent den Einfluss des Randzustroms vom Schwarzwald. Etwa 30 Prozent des Grundwassers bestehen aus Rheinuferfiltrat. In den beiden Filterbereichen des Tiefbrunnens 4 ist der Rheinuferfiltratanteil gleich und beträgt etwa 70 Prozent. Die Isotopengehalte in den Grundwassermessstellen P 23 (beim Tiefbrunnen 6) und P 25 (an der B 34) entsprechen etwa denen des Rheinwassers.

Tab. 2 Ergebnisse der isotopehydrologischen Untersuchung von Grund- und Oberflächengewässern auf Tritium (^3H), Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$) sowie Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (LF, Stichtag: 14.06.2000), Quelle: Bericht Hydroisotop.

Beprobungsstelle	TB 4 oben	TB 4 unten	GWM P 6	GWM P 10	GWM P 11	GWM P 23	GWM P 25	Rhein	Heimbach (bei P 11)
LGRB-Archiv-Nummer	BO 8413/55	BO 8413/55	BO 8413/63	BO 8413/59	BO 8413/58	BO 8413/261	BO 8413/263		
LF ($\mu\text{S}/\text{cm}, 25^\circ\text{C}$)	431	432	476	294	158	361	396	302	167
^3H (TU)	23,6 $\pm 1,4$	24,0 $\pm 1,3$			16,2 $\pm 1,0$			18,2 $\pm 1,0$	16,0 $\pm 1,2$
$\delta^2\text{H}$ (‰)	-76,1	-76,3	-65,6	-65,5	-66,1	-81,1	-79,0	-79,9	-61,2
$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-10,48	-10,46	-9,26	-9,56	-9,39	-11,20	-11,09	-11,00	-8,79

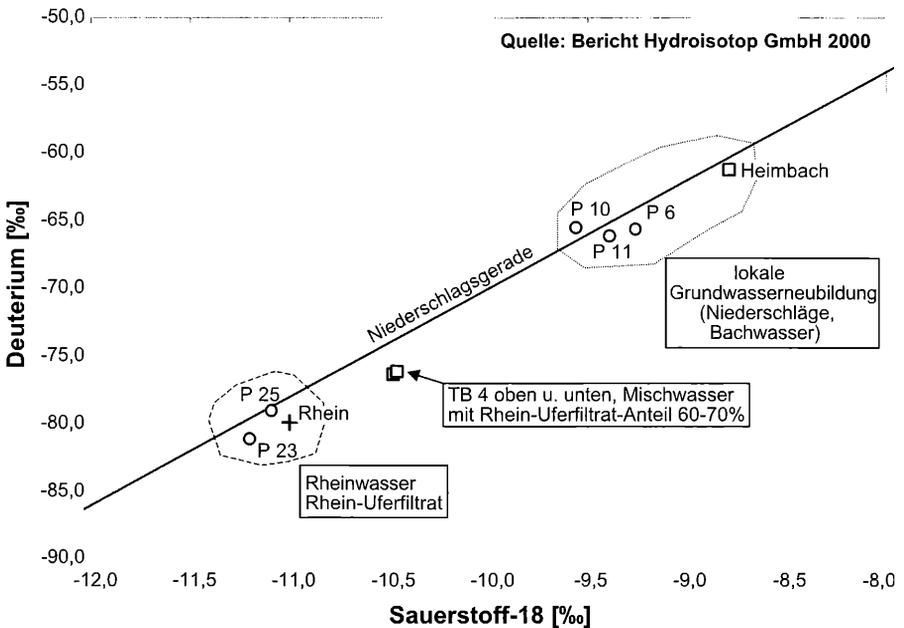


Abb. 7: Sauerstoff-18/Deuterium-Diagramm, Grund- und Oberflächenwässer.

Die Tritium-Gehalte des Rheinwassers und des Rheinuferfiltrat führenden Tiefbrunnenwassers 4 sind mit Werten zwischen 18,2 und 24,0 Tritium-Einheiten (TU) deutlich höher als der mittlere Tritiumgehalt der Niederschlagswässer von etwa 12 TU. Vermutlich sind Emissionen im Oberlauf des Rheins für die erhöhten Tritiumwerte im Rheinwasser verantwortlich.

7. Geohydraulische Ergebnisse

Zur Ermittlung der Durchlässigkeiten, der Grundwasserergiebigkeiten und zur Beurteilung der hydraulischen Eigenschaften wurden mehrere Pumpversuche durchgeführt und ausgewertet.

7.1 Pumpversuch im Tiefbrunnen 5 (LGRB-Nr. 565)

Der nach dem Brunnenausbau im Tiefbrunnen 5 gefahrene Pumpversuch fällt in den sehr trockenen Herbst 1989. Vom 6. November, bereits drei Wochen vor Pumpbeginn, bis zum 12. Dezember 1989 am Ende des Pumpversuches fielen bei der Station des Deutschen Wetterdienstes Bad Säckingen nur 6 mm Niederschlag.

Tab. 3 Betriebsplan des Pumpversuches im Tiefbrunnen 5 (27.11. bis 10.12.1989, LGRB-Nr. 565).

	Datum	Dauer (Std:Min)	Wasserstand (m u. GOK)	Absenkung (m u. RWSP)
Ruhewasserspiegel	27.11.1989, 9:00		10,76	0,00
Stufenpumpversuch				
42 l/s	27.11., 9:00 - 15:00	6:00	11,93	1,17
62 l/s	27.11., 15:00 - 21:00	6:00	12,80	2,04
80 l/s	27.11., 21:00 - 28.11., 11:00	14:00	15,55	4,79
Wiederanstieg	28.11., 11:00 - 30.11., 9:00	46:00	10,83	0,07
Leistungspumpversuch				
61 l/s	30.11., 9:00 - 10.12., 9:00	240:00	13,19	2,43
Wiederanstieg	10.12., 9:00 - 11.12., 9:00	12:00	11,07	0,31

Während des gesamten Pumpversuches und während des Wiederanstiegs waren der Tiefbrunnen 2 mit 30 l/s und der Tiefbrunnen 3 mit 25 l/s auf Dauer zugeschaltet. Die maximale Absenkung im Tiefbrunnen 5 während des Leistungspumpversuches war am 07.12.1989, 23:00 Uhr mit 13,29 m unter Gelände (2,53 m unter Ruhewasserspiegel, RWSP) erreicht.

Die Auswertung und Interpretation dieses Pumpversuches setzen voraus, dass zum einen der Trend der Schwankungen der Rheinwasserstände und andererseits die trockenen Witterungsverhältnisse berücksichtigt werden. Im ersten Abschnitt des Leistungspumpversuches vom 01. bis 06.12.1989 senkte sich im Schnitt der Rheinwasserspiegel. Danach stieg dieser bis fast zum Ende des Leistungspumpversuches stark an (Abb. 5). Da die Rheinwasserstände einen maßgeblichen Einfluss auf die Grundwasserstände haben, reagierten entsprechend die Wasserstände im Tiefbrunnen 5 und in den Grundwassermessstellen (Abb. 8).

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

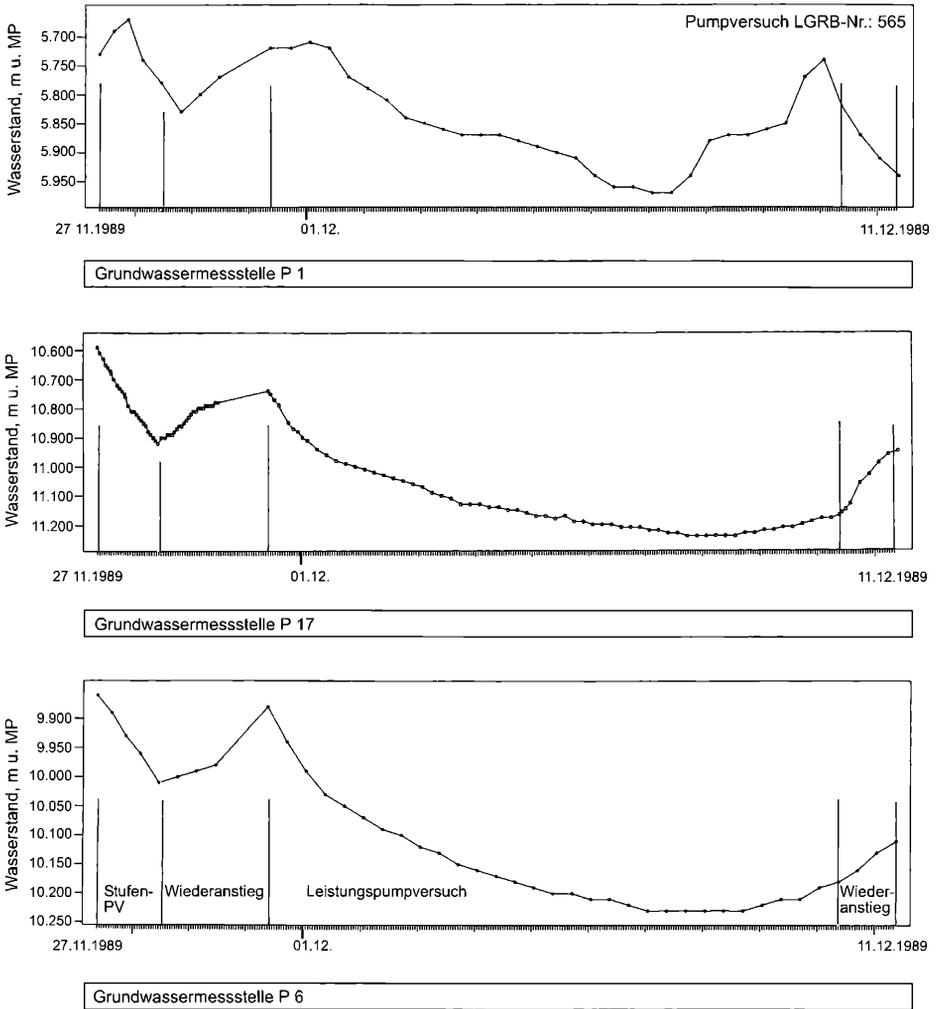


Abb. 8: Pumpversuch Tiefbrunnen 5, Ganglinien der Grundwasserstände in den Grundwasser-messstellen P 6, P 17 und P 1.

Der Grundwasseranstieg in der zweiten Hälfte des Leistungspumpversuches hängt mit dem Anstieg des Rheinwassers durch das Rheinkraftwerk Säckingen zusammen (Abb. 5 und 8). Dieser Zusammenhang der pendelnden Grundwasserstände mit der Rheinwasserstauhaltung muss bei der Pumpversuchsauswertung berücksichtigt werden. Der Anstieg der Grundwasserstände in der zweiten Hälfte des Leistungspumpversuches kann bei fast allen GWM nachgewiesen werden, auch bei den relativ fern vom Rhein gelegenen Messstellen P 6, P 17 (Abb. 8) sowie G 60.

Nach den (zu früh abgeschlossenen) Wiederanstiegsmessungen lag der Grundwasserspiegel im Tiefbrunnen 5 und in den Grundwassermessstellen noch 20 bis 30 cm unter dem des Ruhewasserspiegels. Da der mittlere Rheinwasserstand zu Beginn und gegen Ende des Pumpversuches etwa gleich war, die Witterung im Spätherbst 1989 kalt und trocken war, wird von einem witterungsbedingten fallenden Trend des Grundwasserstands ausgegangen. Es ergibt sich deshalb, dass in der ersten Phase des Leistungspumpversuches die Grundwasserstände durch zwei sich überlagernde Trends der Grundwasserabsenkung bedingt sind, einmal vom fallenden Rheinwasserstand und andererseits vom allgemeinen Grundwasserabfall. Da für die halblogarithmische zeitliche Auswertung der Absenkung nach COOPER & JACOB (1946) nur die erste Phase des Leistungspumpversuches bis zum 06.12.1989 verwendet werden kann, müssen beide Trends berücksichtigt werden (Abb. 9). Die hohe Transmissivität von $T = 0,059 \text{ m}^2/\text{s}$ bestätigt die hohe Durchlässigkeit der Niederterrassenschotter.

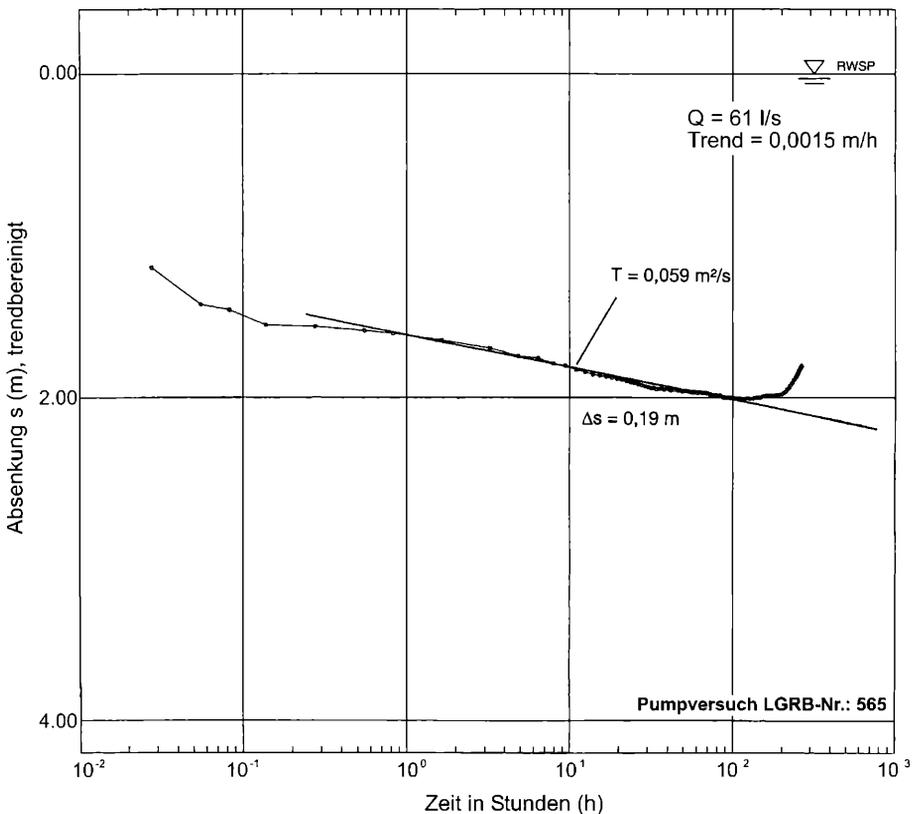


Abb. 9: Pumpversuch Tiefbrunnen 5, halblogarithmische zeitliche Darstellung der Absenkung im Tiefbrunnen 5.

7.2 Pumpversuch im Tiefbrunnen 6 (LGRB-Nr. 01525)

Mit dem Pumpversuch LGRB-Nr. 01525 wurde der fertig gestellte Tiefbrunnen 6 getestet. Die Messung der Wasserstandsdaten erfolgte mit Datenloggern.

Tab. 4 Betriebsplan des Pumpversuchs Nr. 01525 im Tiefbrunnen 6 (08.-19.03.2000, LGRB-Nr. 01525).

	Datum	Dauer in Std.:Min	Wasserstand m u. GOK	Absenkung m u. RWSP
Ruhewasserspiegel	08.03.2000, 8:01		6,50	0,00
Stufenpumpversuch etwa 30 l/s	08.03., 8:01 - 20:01	12:00	6,88	0,38
etwa 45 l/s	08.03.,20:01 - 09.03.,8:01	12:00	7,07	0,57
etwa 60 l/s	09.03., 8:01 - 20:02	12:01	7,41	0,91
etwa 75 l/s	09.03.,20:02 - 10.03., 8:02	12:00	7,59	1,09
etwa 90 l/s	10.03., 8:02 10.03., 20:01	11:59	7,84	1,34
Wiederanstieg	10.03., 20:01 13.03.,10:01	62:00	6,50	0,00
Leistungs- pumpversuch etwa 61 l/s	13.03., 10:01 15.03., 22:02	60:01	7,42	0,92
Wiederanstieg	15.03., 22:02 - 19.03., 13:55	87:53	6,54	0,04

Während des gesamten Pumpversuches waren der Tiefbrunnen 2 mit 18,9 l/s und der Tiefbrunnen 3 mit 33,6 l/s zugeschaltet.

Durch die hochauflösende digitale Datenaufzeichnung sind beim 470 m vom Rhein entfernten Tiefbrunnen 5 die Einzelschwankungen der Rheinwasserstände an den Peaks während der beiden Wiederanstiege deutlich erkennbar. In der Wasserstandsbewegung der rheinnah gelegenen Messstelle GWM P 1 dominieren zwar die Ausschläge der Rheinstände, aber auch die Reaktion auf den Pumpversuch ist noch erkennbar (Abb. 10).

Bei der Auswertung des Pumpversuches mit instationären Verfahren (halblogarithmische zeitliche Auswertung der Absenkungen nach COOPER & JACOB 1946, Abb. 11, Wiederanstiege nach THEIS 1935) ist die starke Überlagerung der pumpversuchsbedingten Absenkungen bzw. Wiederanstiege durch den Wasserstandsgang des Rheins, vor allem bei größeren Abständen zum Pumpbrunnen problematisch. Diese Wechselwirkungen treten besonders bei hoch durchlässigen Kiesen auf, da hier die pumpbedingten Absenkbeträge gering sind. Die Überlagerungen sind manchmal so stark, dass eine Auswertung nicht möglich ist. Nur im Tiefbrunnen oder in benachbarten Grundwassermessstellen (Beispiel: GWM P 23) sind die pumpbedingten Absenkungsbeträge ausreichend groß, damit Auswertungen gewährleistet sind (Abb. 11). Doch auch hier ist der Rheinwassereinfluss, vor allem im späten Pumpabschnitt, relativ stark. Die Transmissivität wurde zu $T = 0,0086 \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt.

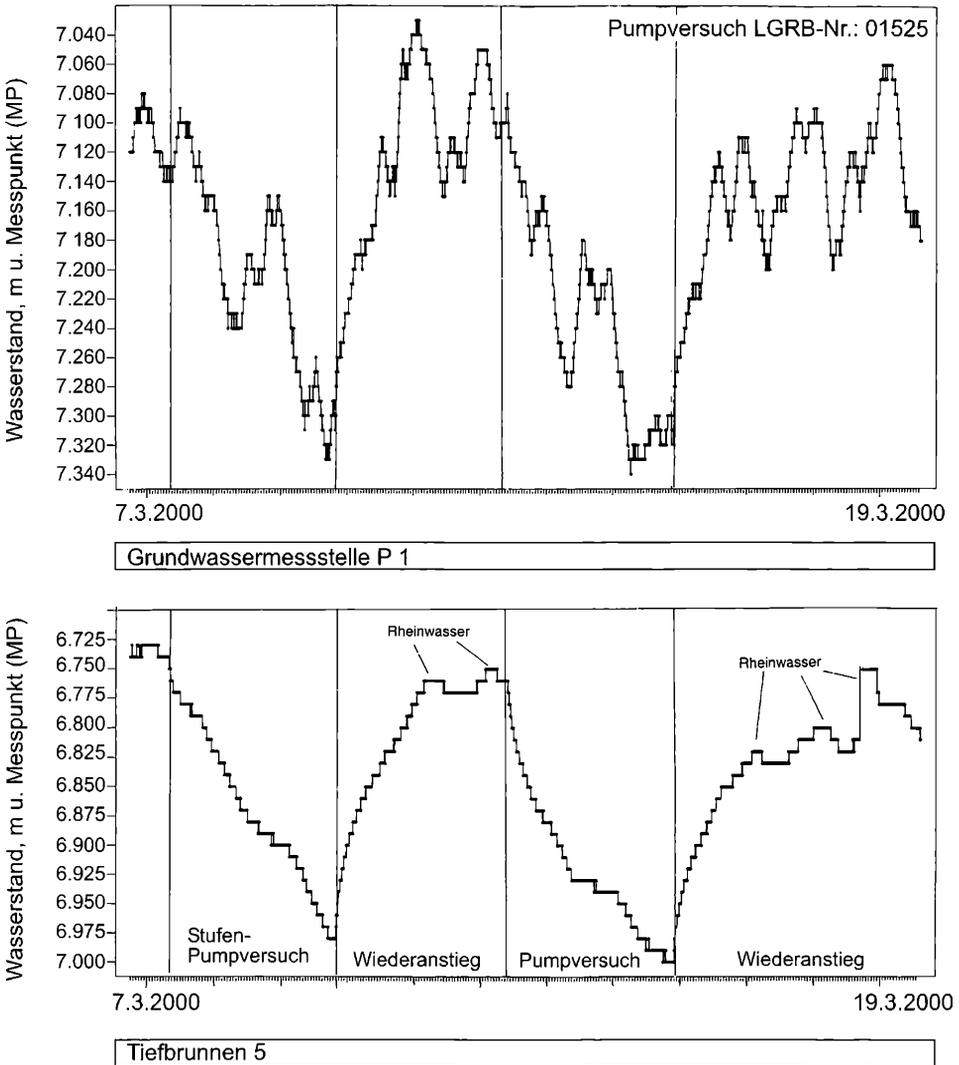


Abb. 10: Pumpversuch Tiefbrunnen 6, Ganglinien der Grundwasserstände in der Grundwassermessstelle P 1 und im Tiefbrunnen 5.

7.3 Pumpversuch in den Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6 (LGRB-Nr. 1574)

Der ebenfalls mit Datenloggern registrierte Pumpversuch in den Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6 vom 27.08. bis 20.10.2000 (Pumpversuch-LGRB-Nr. 1574) diente hauptsächlich der Ermittlung der Grundwasserergiebigkeit. Die Tiefbrunnen wurden nacheinander zugeschaltet, Tiefbrunnen 6 mit 65 l/s, Tiefbrunnen 5 mit 35 l/s, Tiefbrunnen 3 mit 49 l/s und Tiefbrunnen 2 mit 33 l/s (Abb. 13). Die wichtigsten Ergebnisse sind:

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

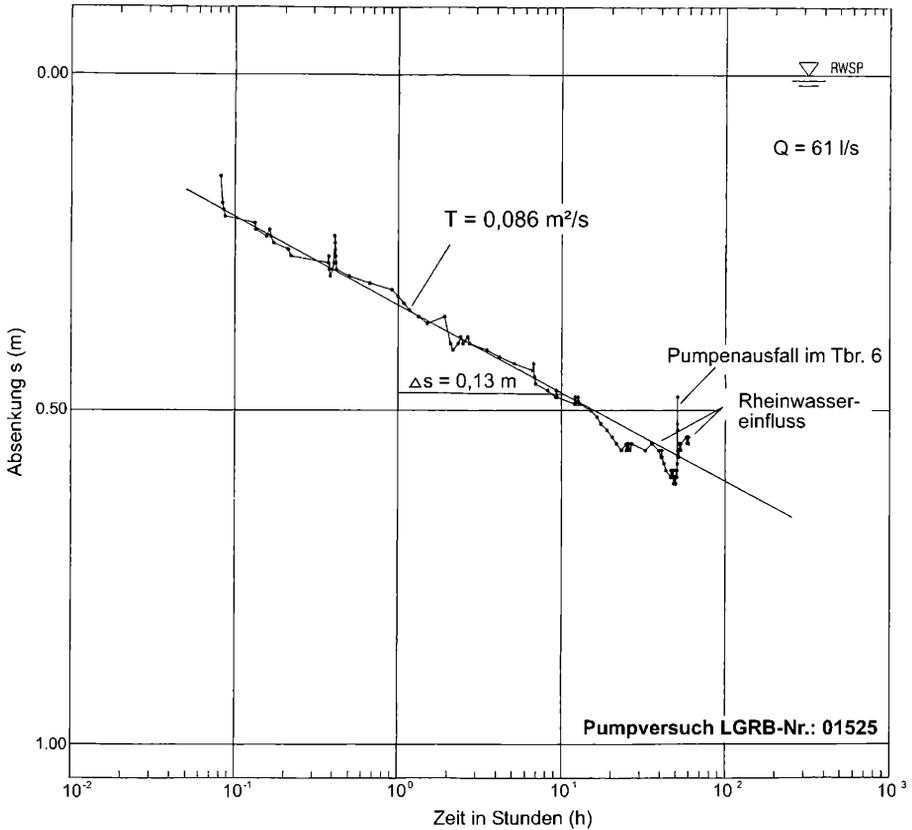


Abb. 11: Pumpversuch Tiefbrunnen 6, halblogarithmische zeitliche Darstellung der Absenkung in Grundwassermessstelle P 23.

Die Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6 waren vom 05.10. bis 11.10.2000 gemeinsam in Betrieb. Die Gesamtfördermenge von 182 l/s ist in quantitativer Hinsicht bei insgesamt vertretbaren Absenkungsbeträgen gewinnbar (siehe Absenkungstrichter: Abb. 12). Die Wasserstände in allen Einzelbrunnen reagieren gegenseitig auf die Inbetriebnahme jeweils anderer Tiefbrunnen. Alle gemessenen Grundwassermessstellen und Tiefbrunnen lassen - mit Ausnahme der am Gebirgsrand gelegenen Messstelle P 11 - Reaktionen auf die Schwankungen der Rheinwasserstände und auf den Pumpbetrieb in den Tiefbrunnen erkennen (Grundwasserganglinien: Abb. 13). Je größer die Entfernung der Messstelle vom Rhein ist, desto geringer machen sich die Schwankungen des Rheinwasserstandes im Grundwasser bemerkbar, bei der 80 m vom Rhein entfernten Messstelle P 1 mit etwa 15 cm , bei 105 m Entfernung (GWM P 20) 7 cm , bei 210 m Entfernung (GWM P 19) 5 cm und bei 320 m Entfernung (GWM P 25) 3 cm .

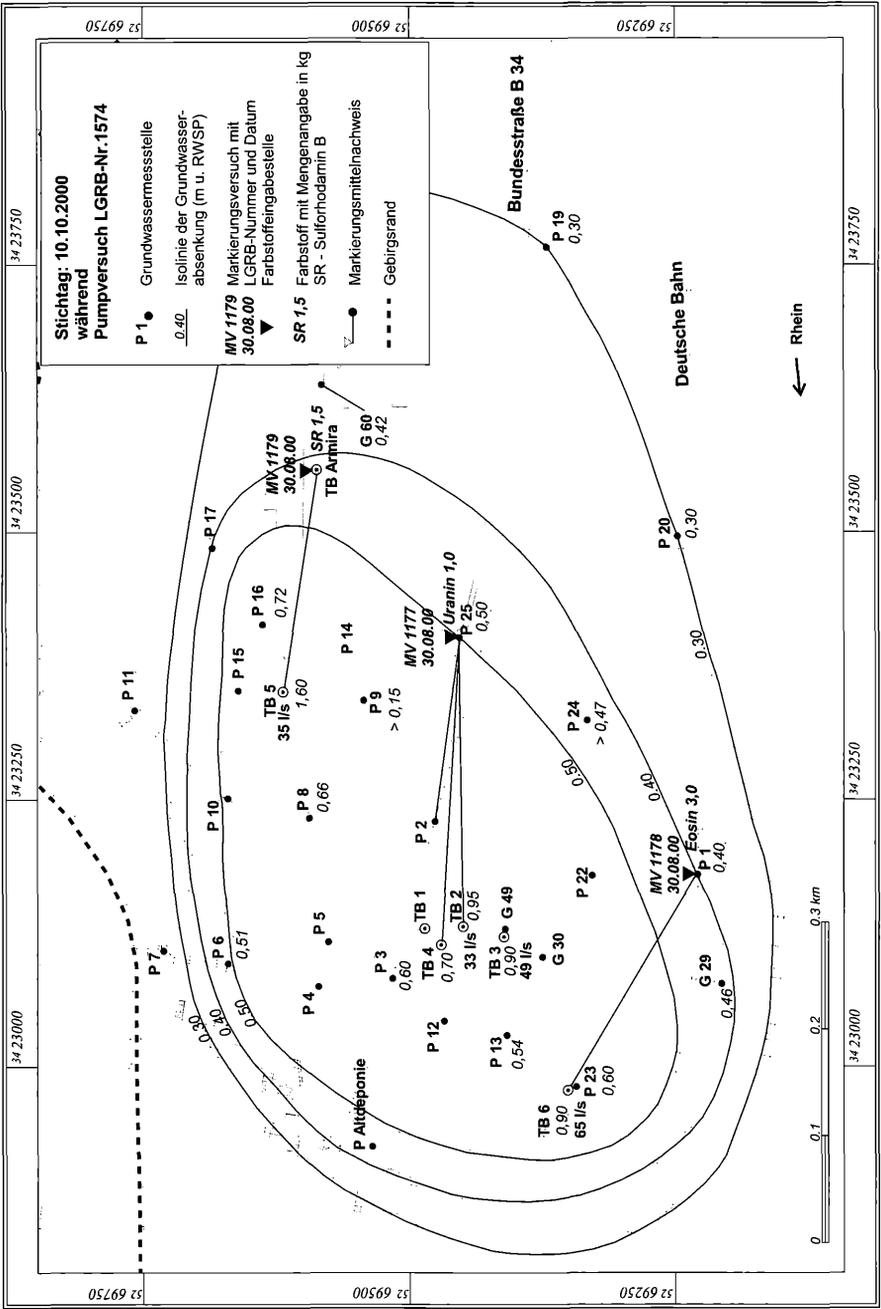


Abb. 12: Pumpversuch Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6, Absenkungstrichter und Markierungsversuche.

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

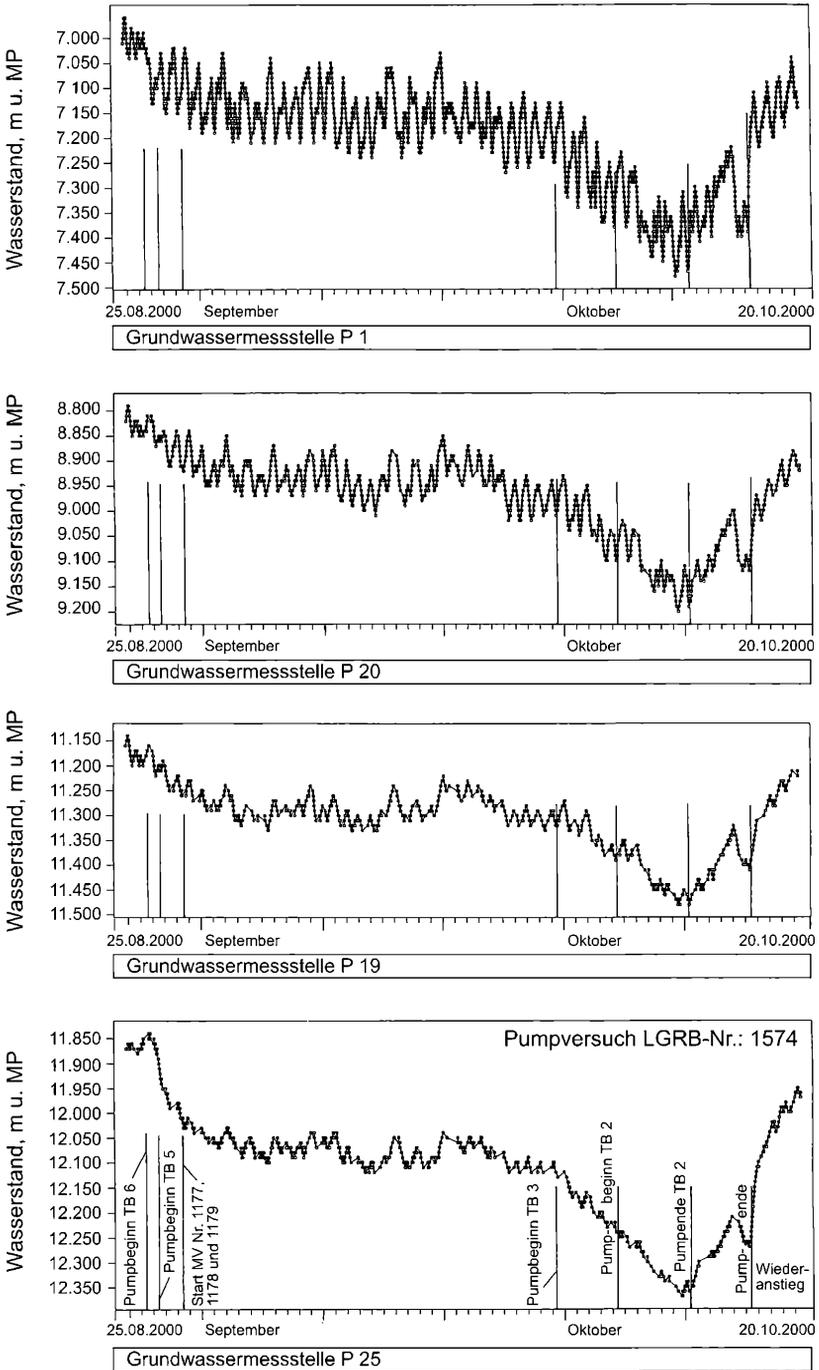


Abb. 13: Pumpversuch Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6, Ganglinien der Grundwasserstände in den Grundwassermessstellen P 25, P 19, P 20 und P1.

Die hydraulischen Parameter in den Tiefbrunnen 1 - 6 sind auf Grund der Ergebnisse aller Pumpversuche in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tab. 5 Zusammenstellung ausgewählter hydraulischer Parameter, Tiefbrunnen 2 bis 6.

	Tiefbrunnen 2-4	Tiefbrunnen 5	Tiefbrunnen 6
Transmissivität T (m ² /s)	0,08	0,06	0,07
Aquifermächtigkeit H (m)	14	11,5	16,1
Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert (m/s)	0,0057	0,0052	0,0043
natürliches Grundwassergefälle i_0 (-)	0,0015	0,0015	0,0015
mittlere Abstandsgeschwindigkeit u_0 (m/d)	6,2	5,6	4,6
durchflusswirksames Porenvolumen, p geschätzt	0,12	0,12	0,12

8. Grundwasserbilanz

Der mittlere Jahresniederschlag in Bad Säckingen beträgt im Zeitraum 1961–90 1105 mm, die mittlere Jahrestemperatur 9,5 °C (Deutscher Wetterdienst, 355 m NN). Bei der auf der Höhe des Schwarzwaldes nächst gelegenen Station Jungholz-Kühmoos (Gemeinde Rickenbach) liegt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge bei 1303 mm (728 m NN, Zeitraum 1951-80). Nach ARMBRUSTER (2002) liegt der korrigierte Jahresniederschlag (Zeitraum 1961-90) im Bereich der Niederterrassenschotter bei 1330 mm, im Grundgebirgsanteil des nördlich angrenzenden Einzugsgebietes bei 1350 mm. Die mittlere Grundwasserneubildung beträgt in den Niederterrassenschottern 648 mm/a (49 % des Niederschlags bzw. 20,5 l/s km²), im Grundgebirge etwa 250 mm/a (19 % des Niederschlags bzw. 7,9 l/s km²).

Mit der Modellrechnung vom 13.05.2003 hat das Geotechnische Institut (GIW) die Grundwasserbilanzwerte im Grundwassermodellgebiet von der Engstelle des Rheintalaquifers beim Rothaus (im Osten) bis zum Unterwasser des Rheinkraftwerkes Säckingen (im Westen) für verschiedene Szenarien ermittelt (Tab. 6): Vor Beginn des Pumpversuches im Tiefbrunnen 6 (Pumpversuch LGRB-Nr. 01525), unter der Annahme der geplanten Entnahme von jeweils 25 l/s aus den Tiefbrunnen 2, 3, 4, 5 und 6 (insgesamt 125 l/s), bei Stillstand der Pumpen und während des Pumpversuches in den Tiefbrunnen 2, 3, 5 und 6 (Pumpversuch LGRB-Nr. 1574, insgesamt 182 l/s).

Insgesamt ist, wie auch alle Untersuchungen zeigen, der Rheinuferfiltratanteil bei der Grundwasserbilanz dominierend. Die Rheinwasserinfiltration steigt mit der Förderung aus den Tiefbrunnen deutlich an, bleibt dann aber insgesamt ziemlich konstant, da auch der mit dem Grundwasser korrespondierende Rheinwasserstand durch die Stauhaltung beim Kraftwerk Säckingen relativ konstant gehalten wird.

Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet „Großfeld“ der Stadt Bad Säckingen

Tab. 6 Grundwasserbilanz im Grundwassergewinnungsgebiet „Großfeld“

Stichtag	07.03.2000	07.03.2000	07.03.2000	10.10. 2000
Szenarien des Pumpbetriebes in den Tiefbrunnen	vor Beginn Pumpversuch LGRB-Nr. 01525 (nur TB 2 + 3 in Betrieb)	fiktiv: geplante Entnahmen von jeweils 25 l/s aus TB 2 bis 6	keine Grundwasserentnahme	TB 2, 3, 5, 6 (Pumpversuch LGRB-Nr. 1574, vgl. Abschnitt 7.3)
Grundwasserzustrom von Norden aus dem Schwarzwald, l/s	+ 61,0	+ 61,0	+ 61,0	+ 61,0
Rheinwasserinfiltration oberstromig des Kraftwerks, l/s	+ 283,8	+ 330,6	+ 250,4	+ 366,0
Grundwasserabfluss in den Rhein unterstromig des Kraftwerks, l/s	- 4,4	- 4,4	- 4,4	- 4,4
Grundwasserneubildung aus Niederschlag in den Niederterrassenschottern, l/s	+ 20,0	+ 20,0	+ 20,0	+ 20,0
Grundwasserentnahme aus den Tiefbrunnen, l/s	- 52,5 (TB 2 und 3)	- 125,0 (TB 2 bis 6)	0,0	-182,0 (TB 2 bis 6)
Grundwasserabfluss im Drainagekanal, l/s	- 307,9	- 282,2	- 327,0	- 260,6

9. Besondere Gefährdungen der Tiefbrunnen der Stadt Bad Säckingen

Das größte Gefährdungspotential für die Tiefbrunnen der Stadt Bad Säckingen ist die Bundesstraße B 34, die die Engere Schutzzone in voller Breite quert. Bei einem Schadensfall auf der B 34 sind zunächst die Tiefbrunnen 2 bis 4 unmittelbar betroffen (vgl. Markierungsversuch LGRB-Nr. 1177, Abb. 12). Bei den Tiefbrunnen 5 und 6 ist ebenfalls relativ kurzfristig mit Verunreinigungen der Brunnenwässer zu rechnen. Die am wenigsten gefährdete Lage in Bezug auf einen Schadensfall entlang der B 34 hat der Tiefbrunnen 6, da dieser überwiegend Rheinuferfiltrat bezieht.

Da der Kiesgrundwasserleiter, aus dem die Tiefbrunnen der Stadt Bad Säckingen fördern, maßgeblich von infiltrierendem Rheinwasser gespeist wird, müssen bei einem Schadensfall im Rhein Vorkehrungen getroffen werden. Der rheinnah in der Infiltrationszone mit geringer Mineralisierung des Grundwassers gelegene Tiefbrunnen 6 ist sehr gefährdet (siehe Markierungsversuch LGRB-Nr. 1178, Abb. 12). Der am weitesten vom Rhein entfernte Tiefbrunnen 5 kann zunächst weiter betrieben werden, doch auch dorthin muss mit einem Transport von Rheinwasser grundsätzlich gerechnet werden.

Die unterirdischen Fließverbindungen zwischen dem alten Kiesabbau im Armira-Gelände und dem Tiefbrunnen 5 ist mit einem Markierungsversuch (LGRB-Nr. 1179, Abb. 12) nachgewiesen. Dieses Gefährdungspotential ist bei eventuellen Folgenutzungen des Armira-Geländes zu beachten.

Danksagung

Den Stadtwerken Bad Säckingen, vor allem Herrn P. Neddermann, wird für die konstruktive Zusammenarbeit gedankt. Frau Prof. Dr. I. Stober und Herr Dr. V. Schweizer haben mich bei der Auswertung der Pumpversuche beraten. Gedankt sei den Kollegen Dr. M. Bauer, Dr. W. Engesser und Dr. G. Wirsing für fachlichen Rat. Herr Dr. W. Schloz brachte in die Diskussionen seine hydrogeologische Erfahrungen ein. Die Herren O. Nübling und E. Sutter vom Labor des LGRB haben die elektrischen Leitfähigkeitsmessungen in zwei Geländeeinsätzen sachkundig durchgeführt. Das Rheinkraftwerk Säckingen hat durch Herrn V. Mergner die Daten der Rheinwasserstände übermittelt. Frau G. Fischer sei für das Anfertigen der Abbildungen gedankt.

Eingang des Manuskripts: 04.08.2004

Angeführte Schriften

- ARMBRUSTER, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. Dissertation. Freiburger Schriften zur Hydrologie, 17, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br.
- COOPER, H. H. & JACOB, C. E. (1946): A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. – Trans. amer. geophys. Union, 24 (4): 526-534; Washington D. C.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Vorläufige Geol. Kt. Baden-Württemberg 1:25 000, Blatt 8413 Bad Säckingen mit Beiheft – 30 S., Freiburg i. Br.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, GLA (1994): Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen.– Informationen 6: 1–114, 65 Abb., 11 Tab; Freiburg i. Br. – [Bearb.: G. STRAYLE, I. STÖBER, & W. SCHLOZ]
- (1991): Hydrogeologische Kriterien für die Abgrenzung von Wasserschutzgebieten in Baden-Württemberg. – Informationen 2: 5-21, 7 Abb.; (Kurzzitat: Hydrogeologische Kriterien Baden-Württemberg); Freiburg i. Br. – [Bearb.: E. VILLINGER]
- (1988): Hydrogeologisches Gutachten über die Ergebnisse der hydrogeologischen Untersuchungen im Bereich des Wassergewinnungsgebietes Obersäckingen (Tiefbrunnen 2 bis 4), Stadt Bad Säckingen vom 29.02.1988 (Az.: 4763-14/88 WT, Bearb.: H. PRIER & J. WENDEBOURG) -16 Seiten, 15 Anlagen, Freiburg i. Br. -[unveröff.]
- GEOTECHNISCHES INSTITUT (2003): Kurzbericht über die Neukalibrierung des Grundwassermodells für das Wassergewinnungsgebiet Obersäckingen, Stadtwerke Bad Säckingen, [Bearb.: R. BRUKER] – 6 S., 12 Anl., GIW-Nr.: 20033258, Weil am Rhein, 13.05.2003. – [unveröff. Bericht]

- HYDROISOTOP GMBH (2000): Bad Säckingen, hydrochemische und isotopehydrologische Untersuchungen, GWM P 26, Tiefbrunnen 4, Bericht: 11 Seiten, 6 Anlagen, 2 Tabellen, Schweitenkirchen, 28.07.2000 – [unveröff. Bericht].
- JÄCKLI, H. & WYSSLING, L. (1972): Die Grundwasserverhältnisse im Aargauischen Rheintal zwischen Wallbach und Rheinfeldern. – Wasser- und Energiewirtschaft, 64/4: 227-229, 1 Abb., 2 Taf.; Baden/Schweiz.
- KLUT-OLSZEWSKI (1945): Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle, seine Beurteilung und seine Aufbereitung. – 9. Aufl., 281 S., Berlin (Springer).
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG, LGRB (2004): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg. Verzeichnis Geologischer Einheiten. – Aktual. Ausg. Jan. 2004, Internet-Publ.: <http://www.lgrb.uni-freiburg.de>; Freiburg i. Br. (L-Amt Geol. Rohst. Bergb. Baden-Württ.). – [Bearb.: E. VILLINGER]
- (2003): Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Tiefbrunnen 2 bis 6 ‚Großfeld‘ der Stadt Bad Säckingen.– Gutachten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau vom 25.08.2003 (Az.: 8932/02 4976, Bearb.: B. GRIMM) – 27 S., 14 Tab., 37 Anl.; Freiburg i. Br. – [unveröff.]
- LANDRATSAMT WALDSHUT (2001): Erkundung der Grundwasserleiter und der Böden im Hochrheintal zwischen Schaffhausen und Basel.– Abschlussbericht zum INTERREG II-Projekt.– 27 Abb., 16 Tab., 29 Karten; Waldshut-Tiengen.
- METZ, R. & REIN, G. (1958): Erläuterungen zur Geologisch-petrographischen Übersichtskarte des Südschwarzwaldes 1 : 50 000, Moritz Schauenburg Verlag, Lahr.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland, Zeitraum 1961-1990 (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). 431 S., 101 Tab., 311 Diagramme, 1 Kt.; Offenbach am Main.
- NAGRA (1984): Erläuterungen zur Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100 000.– [Bearb.: W.H. MÜLLER, M. HUBER, A. ISLER & P. KLEBOTH], 234 S., 80 Abb., 3 Tab., 5 Beilagen, 1 Karte; Technischer Bericht 84-25, Baden/Schweiz.
- SAHINOGLU, I. (1985): Geologische Neukartierung im Südwestlichen Schwarzwald (Hotzenwald) bei Bad Säckingen.– Dipl. Arb. Univ. Hamburg, 133 S., 47 Abb., 2 Taf., 5 Anl.; Hamburg. [unveröff.]
- TERRA TEC (1997): Grundwassergewinnungsgebiet Großfeld Bad Säckingen-Obersäckingen, Bericht zu den geophysikalischen Untersuchungen vom Juli bis Oktober 1997, Bericht Nr.: 970923, 5 Seiten, 8 Anlagen, Heitersheim, 11.11.1997. [unveröff.]

THEIS, C. V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.– Trans. amer. geophys. Union: 519-524; Washington D. C.

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): Grimm Bernhard

Artikel/Article: [Hydrogeologische Verhältnisse im Wassergewinnungsgebiet "Großfeld" der Stadt Bad Säckingen 129-154](#)