BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH

Anhang III

Grundwassermodell Südpfalz

-Modelldokumentation-

Projekt 4804
Dezember 2010

Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56 80
www.bgsumwelt.de • info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 4
2 Untersuchungsgebiet 5
2.1 Geologie/Hydrogeologie 5
2.2 Oberflächengewässer 7
2.3 Grundwasserentnahmen 8
3 Aufbau des Grundwassermodells 10
3.1 Hydrogeologische Schematisierung 10
3.2 Modellrandbedingungen und Diskretisierung 11
3.3 Flächenhafte Grundwasserneubildung 12
3.3.1 Mittlere jährliche Grundwasserneubildung nach dem Regressionsverfahren von Renger/Wessolek 12
3.3.2 Ermittlung der Grundwasserneubildung mit Hilfe der hydrologischen Modellierungs- und Simulationssoftware MIKE SHE 14
3.4 Oberflächengewässer 18
4 Modellkalibrierung 20
4.1 Entwicklung der Grundwasserstände 20
4.2 Stationäre Modellkalibrierung 22
4.3 Instationäre Modellkalibrierung 26
4.4 Modellbilanz 29

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Im Modell implementierte Grundwasserförderung aus Brunnen im Jahr 2003 [Mio. m³/a] 24

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prozesse des Bodenwasserhaushaltes 15
Abb. 2: Indirekte Ermittlung der Beregnungsmengen im Rahmen der Bodenfeuchtesimulation 17
Abb. 3: Jahresmengen der Grundwasserneubildung im Zeitraum 1998 bis 2007 18
Abb. 4: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 1299 (Bellheim) 20
Abb. 5: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 1231 (zwischen Bellheim und Herxheim) 21
Abb. 6: Grundwasserstandsganglinien der Messstellen 1303 I, 1303 II, 1303 III 22
Abb. 7: Vergleich zwischen gemessenen Grundwasserständen (blau) und berechneten Grundwasserständen (rot) im oberen Grundwasserleiter im Zeitraum 1998 bis 2007 28
Abb. 8: Vergleich zwischen gemessenen Grundwasserständen (blau) und berechneten Grundwasserständen (rot) im mittleren (1303 II) und unteren (1303 III) GWL im Zeitraum 1998 bis 2007 an der GWM 1303 29

Anlagenverzeichnis

Anlage AIII-1:	Lageplan Modellgebiet mit Brunnen	1 : 150.000
Anlage AIII-2:	Basis des unteren Grundwasserleiters und tektonische Übersicht	1 : 150.000
Anlage AIII-3:	Verbreitung der Trennhorizonte	1 : 150.000
Anlage AIII-4:	Aufbau der Grundwasserleiter	1 : 150.000
Anlage AIII-5:	Fließbild der Niedrigwasserabflüsse	o. M.
Anlage AIII-6:	Liste der episodisch trockenfallenden Gewässer und Fließgewässerabschnitte	o. M.
Anlage AIII-7:	FE-Netz und Modellrandbedingungen	1 : 150.000
Anlage AIII-8:	Hydrogeologischer Querschnitt	1 : 50.000
Anlage AIII-9:	3D-Modell	o. M.
Anlage AIII-10:	Mittlere Grundwasserneubildung	1 : 150.000
Anlage AIII-11:	Bodenhydraulische Einheiten	1 : 150.000
Anlage AIII-12:	Gemittelte Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1998-2007	1 : 150.000
Anlage AIII-13:	Berechnete Grundwassergleichen bei mittleren klimatischen Verhältnissen und Messwerte	1 : 150.000
Anlage AIII-14:	Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und Grundwasser unter den Rahmenbedingungen 2003	1 : 150.000
Anlage AIII-15:	Kalibrierte k_f-Werte im oberen Grundwasserleiter	1 : 150.000
Anlage AIII-16:	Modellbilanz	1 : 150.000

1 Einführung

Das Gebiet des nachfolgend dokumentierten Grundwassermodells Südpfalz liegt im nördlichen Oberrheingraben und reicht im Norden vom Raum Neustadt a.d.W. und Speyer bis im Süden an die französische Grenze. Im Osten bildet der Rhein die Modellgrenze. Im Westen stellt der Pfälzer Wald mit Haardtrand eine natürliche hydrogeologische Systemgrenze für die Porengrundwasserleiter im Oberrheingraben dar.

Die Grundwasserleiter im Oberrheingraben werden durch quartäre und pliozäne Kiese und Sande gebildet. Diese sind durch geringer durchlässige Schichten von Schluffen und Tonen in mehrere Grundwasserleiter untergliedert. Es werden von der Hydrogeologischen Kartierung Karlsruhe-Speyer bis zu 5 Grundwasserleiter ausgewiesen.

Das dreidimensionale Modell ist für die Bearbeitung von Fragestellungen zur regionalen Grundwasserbewirtschaftung konzipiert. Der Planungsraum wird wegen der günstigen geohydraulischen Eigenschaften des Lockergesteins verstärkt zur öffentlichen Wasserversorgung genutzt, die mit ihren Brunnen überwiegend die mittleren und unteren Grundwasserleiter erschließt. Oberflächennahes Grundwasser wird darüber hinaus in Teilbereichen intensiv zur landwirtschaftlichen Beregnung genutzt.

Das nachfolgend dokumentierte Grundwassermodell wurde mit dem Softwarepakte Spring® der Ingenieurgesellschaft delta h GmbH erstellt. Spring® ist ein modular aufgebautes Programmsystem zur Berechnung von Grundwasserströmungs- und Stofftransportvorgängen. Es beruht auf der Methode der Finiten Elemente (FE) und erlaubt sowohl stationäre als auch instationäre Berechnungen.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (Südpfalz) liegt im nördlichen Oberrheingraben zwischen Karlsruhe und Speyer. Im Westen grenzt es an den Haardtrand und im Osten an den Rhein. Es umfasst das Verbreitungsgebiet der quartären und pliozänen Kiese und Sande im Oberrheingraben. Die Ausdehnung des Untersuchungsgebiets beträgt in Nord-Süd-Richtung etwa 46 km und in West-Ost-Richtung ca. 24 km. Es umfasst damit eine Fläche von rund 1.000 km². Die Lage des Untersuchungsgebietes sowie die Brunnen zur Trinkwassergewinnung, zur Brauchwasserversorgung aus Industrie und Gewerbe und zur landwirtschaftlichen Beregnung sind in **Anlage AIII-1** dargestellt.

Von Ost nach West lässt sich das Untersuchungsgebiet morphologisch gesehen in die Rheinniederung im zentralen Graben, die Terrassenlandschaft der Rheinebene und die Vorbergzone (Haardtrand) gliedern. Am Rand der Rheinniederung, die insbesondere durch ein dicht verzweigtes Gewässernetz gekennzeichnet ist, bilden die Erosionsränder das bis zu 12 m hohe Hochgestade. Der Bereich westlich des Hochgestades wird durch die zum Rhein hin abfallenden lössbedeckten Riedelflächen und die ausgedehnten Schwemmfächer der zum Rhein fließenden Bäche geprägt. Weiter westlich bildet die Vorbergzone den Übergang von den Riedelflächen bzw. von den Terrassenbereichen zu dem steil aufsteigenden Pfälzerwald.

2.1 Geologie/Hydrogeologie

Im Untersuchungsgebiet gliedert sich der Oberrheingraben von West nach Ost in die tektonischen Einheiten der Vorbergzone mit Randscholle, der Zwischenscholle sowie der zentralen Grabenscholle (**Anlage AIII-2**). Der tiefere Untergrund wird weiterhin durch die tektonisch angelegten Strukturen des Büchelberger Horst, Rheinzaberner Horst und des Dierbacher Horst geprägt.

Die hydrogeologische Schematisierung wurde aus der Hydrogeologischen Kartierung (HGK) Karlsruhe-Speyer und im nördlichen Bereich aus der HGK Rhein-Neckar entwickelt. Der Übergangsbereich zwischen den beiden Kartierungen wurde mit dem Landesamt für Geologie und Bergbau abgestimmt.

Die Grundwasserleiter im Oberrheingraben werden durch quartäre und pliozäne Kiese und Sande gebildet. Diese sind durch geringer durchlässige Schichten von Schluffen und Tonen in mehrere Grundwasserleiter untergliedert. Hierbei sind großräumig 4 flächenhaft hydraulische wirksame Trennschichten und damit bis zu 5 Grundwasserleiter zu unterscheiden.

Daraus ergibt sich folgende hydrogeologische Gliederung:

- Oberer Grundwasserleiter (OGWL),
- Oberer Zwischenhorizont (OZH),
- Mittlerer Grundwasserleiter oben (MGWLo),
- Zwischenhorizont 3 (ZH3),
- Mittlerer Grundwasserleiter unten (MGWLu),

- Unterer Zwischenhorizont (UZH),
- Unterer Grundwasserleiter oben (UGWLo),
- Tieferer Zwischenhorizont (TZH),
- Unterer Grundwasserleiter unten (UGWLu),
- Festgestein.

Der Verlauf der Oberkante des Festgesteins als Aquiferbasis ist in Anlage AIII-2 dargestellt.

Die Verbreitung der unterschiedlichen Trennhorizonte innerhalb des Untersuchungsgebiets zeigt **Anlage AIII-3**. Der OZH ist im Bereich der Grabenscholle vorhanden und endet im Nordwesten an der Zwischenschollenverwerfung zur Randscholle und im Südwesten an der Büchelberger Horststruktur. Der OZH setzt sich aus einer Wechselfolge von Sand-, Schluff- und Tonlagen zusammen, welche insgesamt eine hydraulische Trennung bewirken. Seine Mächtigkeit variiert zwischen wenigen Metern im Süden und bis zu 30 m im Norden.

Der ZH3 besteht überwiegend aus Tonen und Schluffen. Seine Mächtigkeit schwankt zwischen wenigen Metern im Süden und 25 m in der Rheinniederung im Norden bei Speyer.

Der UZH ist nur im nördlichen bzw. nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes vorhanden. Seine Mächtigkeit beträgt wenige Meter im Süden und bis zu 20 m im Norden.

Der TZH ist bis auf die westliche Randscholle sowie den Bereich des Dierbacher Horsts im gesamten Untersuchungsgebiet vorhanden. In diesem Tiefenbereich befindet sich die Grenze Quartär – Pliozän. Die Mächtigkeit des TZH beträgt relativ einheitlich wenige Meter. Entlang der Störungen ist ein deutlicher Versatz des TZH zu erkennen, so dass es über die Schollengrenzen hinweg zu direkten hydraulischen Querverbindungen zwischen den darüber- und darunterliegenden Grundwasserleitern kommt.

In **Anlage AIII-4** ist die Anzahl der hydraulischen Trennhorizonte in den verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebietes dargestellt. Da zwischen 0 und 4 Trennhorizonte übereinander auftreten, treten auch 1 bis 5 Grundwasserleiter auf. Im Nordosten des Untersuchungsgebietes sind flächenhaft 5 Grundwasserleiter vorhanden.

Der OGWL wird im Verbreitungsgebiet des OZH durch die obere kiesig-sandige Abfolge, welche weitgehend aus sandigen Kiesen besteht, gebildet.

Der MGWL entspricht der mittleren sandig-kiesigen Abfolge und besteht überwiegend aus sandigem Kies, zum Teil Grobkies und kiesigem Sand. Westlich der Rheinniederung nehmen die Feinkornanteile zu. Im Nordosten wird der MGWL durch den UZH unterteilt.

Der UGWLo wird durch die untere sandig-schluffige Abfolge oben gebildet, welche überwiegend aus einer Wechselfolge von kalkhaltigen Sanden und Schluffen besteht.

Der UGWLu besteht aus der unteren sandig-schluffigen Abfolge unten und zählt zum Pliozän. Seine Basis entspricht ebenfalls der Basis des Pliozän. Darunter folgen Ton- und Mergelsteine des älteren Tertiär (Miozän und Oligozän), welche die Basis der Lockergesteine bilden.

2.2 Oberflächengewässer

Die Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und dem Grundwasser sind im Untersuchungsgebiet von entscheidender Bedeutung. Das Gewässernetz ist verhältnismäßig dicht. Die größeren Gewässerläufe kommen aus dem Pfälzerwald und fließen in östliche Richtung durch die Ebene zum Rhein bzw. in die Altrheinarme. Weitere kleine Bäche haben ihren Ursprung innerhalb des Rheintales. Die Bachläufe verlaufen im Bereich des Hochgestades meist in tief eingeschnittenen Rinnen. Ausnahmen bilden die Queich und der Hofgraben, an denen größere Absturzbauwerke vorhanden sind.

Da die Rheinwasserstände stark schwanken, kann die Differenz der Monatsmittelwerte zwischen Sommer und Winter über 3 m betragen. Der Rheinwasserstand hat entscheidenden Einfluss auf die Wasserspiegellagen der Gewässer im Bereich der Rheinniederung.

Um die Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser zu bewerten, wurde zusätzlich das Fließbild der Niedrigwasserabflüsse von 1973/74 herangezogen (Landesamt für Gewässerkunde, 1980). In diesen Jahren wurden in der Rheinebene ausgedehnte Niedrigwasserabflussmessungen durchgeführt, welche in **Anlage AIII-5** dargestellt sind. Zu den größeren Gewässern im Untersuchungsgebiet zählen der Speyerbach, die Queich, der Klingbach, Erlenbach und Otterbach. Die Niedrigwasserabflussmessungen wurden im Hinblick auf In- und Exfiltrationsstrecken hin detailliert betrachtet. Dabei werden Einleitungen aus Kläranlagen sowie sonstige oberirdische Zuflüsse außer Acht gelassen, da hierüber keine Informationen vorlagen.

Die Abflussmessungen zeigen, dass der Erlenbach im Westen Vorflutfunktion für das Grundwasser hatte, während er weiter im Osten in das Grundwasser infiltrierte. Im Bereich der Rheinniederung stellt der Erlenbach wiederum den Vorfluter für das Grundwasser dar. Das MNQ am Abflusspegel in Rheinzabern beträgt 0,23 m³/s (HG 1999).

An den Abflussmessungen im Klingbach, der das Hochgestade in einer tief eingeschnittenen Rinne durchfließt, zeigt sich, dass unter den damaligen Verhältnissen fast auf der gesamten Strecke ein Grundwasserzustrom in das Gewässer erfolgte. Lediglich im Bereich zwischen Rülzheim und Hördt trat in geringen Mengen eine Infiltration in das Grundwasser auf. Das MNQ beträgt am Pegel Herxheim 0,15 m³/s und am Pegel Hördt 0,26 m³/s (HG 1999), was ebenfalls auf einen Grundwasserzustrom hindeutet.

Der Spiegelbach erhält einen wesentlichen Teil seines Abflusses über das Ottersheimer Teilungswehr aus der Queich (etwa 2/5 des Queichabflusses). Unter dieser Annahme hat zum Zeitpunkt der Niedrigwasserabflussmessungen der Abfluss im Spiegelbach direkt unterhalb des Teilungswehrs ca. 0,3 m³/s betragen, so dass unter Berücksichtigung des Zustroms aus Brühlgraben und Altbach bis zur Mündung in den Altrhein weitere 0,3 m³/s aus dem Grundwasser dem Spiegelbach zugeflossen sind. Teilabflüsse des Spiegelbachs werden zur Bewässerung der Wiesen abgeleitet, z.B. über die Sollach.

Die Niedrigwasserabflussmessungen an der Queich zeigen bis zum Ottersheimer Teilungswehr eine geringfügige Zunahme des Abflusses, der möglicherweise durch einen Grundwasserzustrom in die Queich verursacht wird. Der Unterlauf der Queich ist durch ein angeschlossenes System von Be- und Entwässerungsgräben mit Staueinrichtungen gekennzeichnet.

Für den Speyerbach zeigen die Niedrigwasserabflussmessungen zwischen Neustadt und Hanhofen eine Zunahme des Abflusses an, so dass davon auszugehen ist, dass unter den damaligen Randbedingungen auf dieser Strecke ein Grundwasserzutritt in das Gewässer erfolgte.

Weiterhin wurde zur Bewertung der Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Fließgewässern die Liste der episodisch trockenfallenden Gewässer und Fließgewässerabschnitte in den Planungseinheiten nach WRRL der Regionalstelle Neustadt ausgewertet (siehe **Anlage AIII-6**). Einige der Gewässer im Untersuchungsgebiet wie z.B. der Hofgraben, Brühlgraben oder die Bienwaldgewässer fallen episodisch trocken.

Zur Einschätzung der derzeitigen Abflussverhältnisse wurde im April 2007 eine Begehung durchgeführt, um punktuell die Wasserführung in den verschiedenen Gewässer zu erfassen.

2.3 Grundwasserentnahmen

In der Südpfalz wird der Bedarf der Trink- und Brauchwasserversorgung sowie der Landwirtschaft ausschließlich aus dem Grundwasser gedeckt. Die Standorte der Trinkwasserbrunnen sowie der wichtigsten Brunnen aus Industrie und Gewerbe und der bekannten Beregnungsbrunnen sind in Anlage AIII-1 dargestellt. Für alle Trinkwasser- und privaten Brauchwasserbrunnen wurden von der SGD Süd Lagekoordinaten sowie Informationen zu Teufe, Filterstrecken und Entnahmen aus dem Zeitraum 1998 bis 2007 zur Verfügung gestellt.

Die Grundwasserentnahmen zur Trinkwasserversorgung erfolgen zum größten Teil aus dem mittleren und unteren Grundwasserleiter. Eine Ausnahme hiervon bilden die Flachbrunnen der Stadtwerke Speyer GmbH im Gewinnungsgebiet Süd (die Entnahme aus den Flachbrunnen in Speyer-Süd betrug bis 2005 noch ca. 2,3 Mio. m³, 2006 und 2007 wurden nur noch ca. 0,2 Mio. m³ entnommen, die restliche Entnahme erfolgt aus dem Gewinnungsgebiet Speyer-Nord sowie aus den Tiefbrunnen in Speyer-Süd) sowie der Verbandsgemeindewerke Hagenbach in Berg, die ausschließlich aus dem oberen Grundwasserleiter fördern. Bezogen auf das Jahr 2003 wurden ca. 10% der gesamten Trinkwasserentnahme aus dem oberen Grundwasserleiter gefördert, während 90% der Trinkwasserförderung aus den tieferen Grundwasserleitern (MGWL und UGWL) erfolgte.

Die Privatentnahmen konzentrieren sich auf den östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes und werden mit Ausnahme der Park&Bellheim AG in Bellheim ausschließlich aus dem oberen Grundwasserleiter gewonnen. Die beiden Brunnen der Park&Bellheim AG sind dagegen über 80 m tief, voll verfiltert und erschließen somit die oberen 4 Grundwasserleiter.

Die Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Beregnung finden dagegen überwiegend aus dem oberen und dem mittleren Grundwasserleiter statt. Während im östlichen Bereich des

Untersuchungsgebietes die Beregnungsentnahme fast ausschließlich aus dem oberen Grundwasserleiter erfolgt, findet im Westen des Untersuchungsgebietes hydrogeologisch bedingt die Beregnungsentnahme aus dem oberen und mittleren Grundwasserleiter statt. Nach den vorliegenden Daten beträgt die Entnahme aus dem oberen Grundwasserleiter insgesamt knapp 60%, während die Entnahme aus dem mittleren Grundwasser bei ca. 40% liegt. Eine Grundwasserentnahme aus dem unteren Grundwasserleiter findet nicht in nennenswertem Umfang statt.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass im Osten des Untersuchungsgebietes die Trinkwasserentnahme aus den tieferen Grundwasserleitern durch die Beregnungsentnahme weitgehend unbeeinflusst ist, während im Westen des Untersuchungsgebietes u.a. eine gemeinsame Nutzung des mittleren Grundwasserleiters erfolgt.

3 Aufbau des Grundwassermodells

Das Grundwassermodell wurde mit dem Softwarepaket SPRING ++ der Ingenieurgesellschaft delta h GmbH aufgebaut. SPRING ++ ist ein modular aufgebautes Programmsystem zur Berechnung von Grundwasserströmungs- und Stofftransportvorgängen. Es beruht auf der Methode der Finiten Elemente und erlaubt so eine sachgerechte Verfeinerung des Elementnetzes im Nahbereich der Brunnen. Für eine adäquate Bearbeitung der grundwasserhydraulischen Fragestellung ist wegen der komplexen hydrogeologischen Situation im Untersuchungsgebiet sowie der intensiven Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser und der bereichsweise geringen Flurabstände (feuchtsensible Flächen) der Aufbau eines dreidimensionalen Modells erforderlich. Auch die räumliche Zuströmung des Grundwassers in die Filterstrecken der Brunnen kann somit realistisch abbildet werden.

Das Untersuchungsgebiet reicht vom Rhein im Osten bis zum Haardtrand im Westen. Im Norden schließt es die Ortslagen Neustadt, Haßloch und Schifferstadt mit ein, während der südliche Modellrand entlang der Lauter auf der Linie Wissembourg-Lauterburg verläuft.

3.1 Hydrogeologische Schematisierung

Für das Grundwassermodell wird für die hydrogeologische Schematisierung die bereits skizzierte hydrogeologische Situation der HGK Karlsruhe-Speyer übernommen. Der nördliche Bereich wird in Anlehnung an die HGK Rhein-Neckar hydrogeologisch schematisiert (siehe Kapitel 2.1). Der Übergangsbereich zwischen den beiden Kartierungen wurde vom Landesamt für Geologie und Bergbau eigens für dieses Vorhaben neu bearbeitet und die gesamte hydrogeologische Schematisierung mit diesem abgestimmt.

Als Modellbasis wird die Oberkante des Festgesteins angesetzt (siehe Anlage AIII-2). Alle vier flächenhaft verbreiteten Trennhorizonte (OZH, ZH3, UZH, TZH) werden entsprechend den in der HGK dargestellten Höhenlagen und Mächtigkeiten in das Grundwassermodell übernommen. Den Trennhorizonten wird jeweils ein einheitlicher k_f-Wert im gesamten Modellgebiet zugewiesen.

Die hydrogeologische Schematisierung der HGK Karlsruhe-Speyer sowie der HGK Rhein-Neckar wurde für ein großräumiges Untersuchungsgebiet erstellt und ist daher insbesondere für großräumige Betrachtungen geeignet. Kleinräumige geologische Schichten und Differenzierungen können in diesem Maßstab nicht erfasst werden. So ist z.B. die oberflächennahe Deckschicht im Bereich Speyerdorf (Björnsen, 2007) dort nicht erfasst. Die Auswertung einiger Bohrprofile im Untersuchungsgebiet zeigte, dass in Detailbereichen die Lage des OZH nicht immer teufengerecht zu den Einzelbohrungen ist. Für die im Rahmen der Aufgabenstellung zu untersuchende großräumige Grundwasserströmung und Grundwasserbeeinflussung ist jedoch entscheidend, dass hydraulisch wirksame Trennschichten im Grundwasserkörper in der hydrogeologischen Schematisierung abgebildet werden wie sie die HGK ausweist. Im Raum Wörth ist der OZH, entgegen den Angaben der HGK, in keinem der entsprechenden Bohrprofile darge-

stellt. In diesem Bereich mit einer Ausdehnung von ca. 40 km², der sich vom südöstlichen Modellrand entlang des Rheins in etwa bis Neupotz erstreckt, wurde die Durchlässigkeit des OZH auf $8 \cdot 10^{-5}$ m/s erhöht. Somit werden die hydrogeologischen Gegebenheiten im Großraum Wörth und damit auch die Druckverhältnisse im oberen Grundwasserleiter realitätsnah im Modell erfasst.

Für die Brunnen der Trinkwasserversorgung VG Kandel, die Brunnen der VG Herxheim und des WVZW Impflinger Gruppe sind in hydrogeologischen Gutachten von HG (HG, 2000a und 2000b) Pumpversuche dargestellt und ausgewertet.

Die Geländeoberfläche im Modellgebiet wurde aus dem digitalen Höhenmodell der LUBW entwickelt.

3.2 Modellrandbedingungen und Diskretisierung

Die Modellstruktur resultiert primär aus der hydrogeologischen Schematisierung, dem Verlauf der Oberflächengewässer und der Lage der Brunnen. **Anlage AIII-7** zeigt den Verlauf der Modellgrenzen sowie die Modellrandbedingungen. Der westliche Modellrand entspricht dem Rand der Lockersedimente zum Pfälzerwald hin. Im Süden verläuft der Modellrand entlang der Lauter, die als Leakage-Randbedingung in das Grundwassermodell implementiert wird. Den östlichen Modellrand bildet der Rhein als Festpotentialrand. Zur Bestimmung der Rheinwasserstände wurden die Wasserstandsmessungen der beiden im Untersuchungsgebiet gelegenen Pegel Speyer und Maxau sowie der südlich bzw. nördlich außerhalb des Modellgebiets befindlichen Pegel Plittersdorf und Mannheim erhoben. Im Norden verläuft der Modellrand weitgehend entlang einer Stromlinie, bereichsweise wurde der Modellrand entlang einer Potentiallinie abgegrenzt. Hierzu wurden aus den Grundwassergleichenplänen verschiedener Jahre (1990, 2003) lagestabile Strom- und Potentiallinien ermittelt.

Anlage AIII-7 zeigt ebenfalls das Finite-Elemente-Netz. Das Netz umfasst ca. 37.000 Knoten und knapp 47.000 Elemente. Die Netzstruktur orientiert sich am Verlauf der im Modell implementierten Oberflächengewässer und an der Lage der erfassten Brunnen. Hierbei wurden die Trinkwasserbrunnen, Brunnen aus Gewerbe bzw. Industrie sowie die Beregnungsbrunnen berücksichtigt (siehe Anlage AIII-1). Die im Modell implementierten Entnahmeknoten entsprechen der tatsächlichen Lage der Brunnen. Das Netz wurde im Bereich der Brunnen logarithmisch verfeinert, um die dort auftretenden steilen hydraulischen Gradienten adäquat abbilden zu können.

In vertikaler Richtung ist das FE-Netz aus verschiedenen Elementschichten aufgebaut, welche entsprechend der hydrogeologischen Schematisierung der HGK Karlsruhe-Speyer angeordnet sind. Die verschiedenen Elementschichten entsprechen dabei Schichten einheitlicher geologischer Eigenschaften. Wo eine Schicht auskeilt, fallen im Modell die Knotenschichten für die Ober- und Unterkante dieser Schicht zusammen. Insgesamt ist das FE-Netz des Grundwassermodells vertikal aus 11 Knoten- und 10 Elementschichten aufgebaut. Die oberste Elementschicht entspricht in etwa der ungesättigten Zone. Die zweite Elementschicht beschreibt den

OGWL und die dritte Elementschicht den OZH. Die vierte Elementschicht entspricht dem MGWLo, die fünfte Elementschicht dem ZH3, die sechste Elementschicht dem MGWLu, die siebte Elementschicht dem UZH, die achte Elementschicht dem UGWLo, die neunte Elementschicht dem TZH und schließlich die zehnte Elementschicht dem UGWLu. **Anlage AIII-8** zeigt einen exemplarischen hydrogeologischen West-Ost-Querschnitt durch das Modellgebiet, der in etwa auf der Höhe von Landau verläuft. Nach Osten hin nimmt die Aquifermächtigkeit sowie die Anzahl der Trennschichten deutlich zu. In **Anlage AIII-9** ist das FE-Netz in einer 3D-Ansicht dargestellt.

3.3 Flächenhafte Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung als Zusickerung von Niederschlagswasser aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser ist ein sehr komplexer Prozess. Den stationären Modellrechnungen liegen nach dem Regressionsverfahren von Renger/Wessolek ermittelte Grundwasserneubildungsraten zu Grunde. Die Ermittlung der Grundwasserneubildung für die instationäre Modellkalibrierung erfolgte mit Hilfe der hydrologischen Modellierungs- und Simulationssoftware MIKE SHE.

3.3.1 Mittlere jährliche Grundwasserneubildung nach dem Regressionsverfahren von Renger/Wessolek

In zahlreichen Untersuchungen hat es sich gezeigt, dass die mittlere jährliche Grundwasserneubildung nach dem Regressionsverfahren von Renger/Wessolek hinreichend berechnet werden kann. Die verwendeten Regressionskoeffizienten wurden im Rahmen einer Untersuchung für den Umlandverband Frankfurt speziell an die klimatischen Bedingungen im Großraum Frankfurt (dem der Modellraum zugehört) angepasst (Wessolek 1992). Die gefundenen Koeffizienten sind auf die klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet übertragbar (HGK Rhein-Neckar 1999).

Folgende Gleichungen wurden verwendet:

Ackernutzung

$G_{neu} = (1{,}03 \times N_W + 0{,}86 \times N_S - 128{,}2 \times \log nFK\text{-}We - 0{,}05\ Haude - 92{,}9)$

Grünland

$G_{neu} = (1{,}024 \times N_W + 0{,}914 \times N_S - 118{,}3 \times \log nFK\text{-}We - 0{,}151\ Haude - 122{,}75)$

Wald

$G_{neu} = (0{,}907 \times N_W + 0{,}925 \times N_S - 129{,}8 \times \log nFK\text{-}We - 0{,}13\ Haude - 118{,}92)$

Siedlung

G_{neu} = *1/3 „Grünland“*

Offene Wasserflächen

$G_{neu} = N_W + N_S - ETP\ (Haude)$

G_{neu}:	mittlere Grundwasserneubildungsrate [mm/a]
$N_{W:}$	mittlerer Winterniederschlag (01.10.-31.3.) [mm]
$N_{S:}$	mittlerer Sommerniederschlag (01.04.-30.09.) [mm]
nFK-We:	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum[mm]
Haude:	potentielle Jahresverdunstung nach Haude [mm]

Als Daten des Niederschlags standen die Monatssummen des Niederschlags auf Rasterbasis (500 m x 500 m) von 1960 bis 1990 vom LUWG zur Verfügung. Die Niederschlagsdaten wurden entsprechend der in den Regressionsgleichungen benötigten Formeln aufbereitet. Das räumliche Verteilungsmuster der potentiellen Evapotranspiration wurden aus dem Hydrologischen Atlas Rheinland-Pfalz übernommen. Die Stützstellen zur Regionalisierung für die Verdunstungshöhe stammen von Klimastationen des DLR.

Die Klassifizierung der Bodennutzung basiert auf CORINE Land Cover 2000 (Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004). Mit Hilfe eines GIS wurden die Nutzungsklassen Acker, Grünland, Wald entsprechend der Regressionsansätze nach Renger/Wessolek sowie Siedlung und offene Wasserflächen abgeleitet.

Die Bodenklassifizierung erfolgte auf Basis der aktuellen digitalen Bodenflächendaten (1:50.000) des LGB. Der digitalen Bodenkarte sind Kennwerttabellen für die Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität beigefügt. Diese Bodenklassifizierung wurde GIS-gestützt mit den Nutzungsklassen verschnitten und daraus die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK-We) berechnet.

Als effektive Durchwurzelungstiefe wurde für einjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen 1,0 m, für Grünland 0,8 m und für Waldbestände 1,5 m angenommen. Bei geringen Flurabständen resultiert das pflanzenverfügbare Bodenwasser auch aus dem kapillaren Aufstieg aus dem

Grundwasser. Die mittleren Aufstiegsraten wurden unter Berücksichtigung des Bodentyps an die Angaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) angelehnt. Als Bezugsgrundwasserstand dienten die mittleren Grundwasserstände vom September 2003. Von Bedeutung ist der kapillare Aufstieg für das pflanzenverfügbare Bodenwasser unter den genannten Randbedingungen im Wesentlichen für Waldflächen.

Durch landwirtschaftliche Beregnung wird das Absinken der Bodenfeuchte in diesen Gebieten teilweise kompensiert. Der Bodenwasserspeicher ist vor Beginn der Wiederauffüllung in den Herbstmonaten stärker gefüllt und die Grundwasserneubildung setzt entsprechend früher ein. Diese Zusammenhänge wurden berücksichtigt, indem in den Beregnungsgebieten die Grundwasserneubildung pauschal um 20 mm erhöht wurde.

Die Grundwasserneubildung unter Siedlungsflächen wurde mit einem Drittel der Grundwasserneubildung unter Grünland abgeschätzt. Dieser pragmatische Ansatz scheint unter den klimatischen Bedingungen Südhessens zu einer ausreichenden Genauigkeit zu führen und wurde vielfach angewandt (z.B. Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried, RP Darmstadt 1999, HGK Rhein-Neckar-Raum 1999).

Die Grundwasserneubildung offener Wasserflächen wird mit der klimatischen Wasserbilanz approximiert.

Die für mittlere klimatische Verhältnisse ermittelte Grundwasserneubildung ist in **Anlage AIII-10** dargestellt und beträgt im gesamten Modellgebiet 192 Mio. m³/a. Bei einer Gesamtfläche von knapp 1055 km² ergibt sich eine mittlere Grundwasserneubildung von 185 mm/a.

3.3.2 Ermittlung der Grundwasserneubildung mit Hilfe der hydrologischen Modellierungs- und Simulationssoftware MIKE SHE

Die prozessbasierte Modellierung des Bodenwasserhaushalts zur Berechnung der Grundwasserneubildung für die instationäre Kalibrierung (Zeitraum 1998-2007) des Grundwassermodells erfolgte mit Hilfe der hydrologischen Modellierungs- und Simulationssoftware MIKE SHE.

Die horizontale Diskretisierung des das etwa 46 km x 24 km große Untersuchungsgebiet abbildenden numerischen Rechenmodells erfolgte in einem gleichmäßigen, quadratischen Raster mit einer Seitenlänge von 250 m. Es besteht aus über 18.000 Rasterzellen.

Die zeitliche Diskretisierung des Simulationszeitraumes von 1998 bis 2007 erfolgte in Zeitschritten mit einer maximalen Länge von 30 Minuten, wobei diese zu Zeitpunkten mit hohen hydraulischen Gradienten an der Geländeoberfläche (starker Niederschlag, anhaltende landwirtschaftliche Beregnung) von der Simulationssoftware dynamisch auf bis zu 1 Minute verkürzt wurden.

Die räumliche und zeitliche Auflösung des Modells stellen dabei einen Kompromiss dar zwischen einer möglichst feinen Diskretisierung sowohl des Modellgebietes als auch des Simulationszeitraumes und der damit verbundenen benötigten Simulationsdauer. Sie ermöglicht eine

hinreichend genaue räumliche und zeitliche Abbildung der betrachteten Strukturen und Prozesse bei einem gleichzeitig noch vertretbaren zeitlichen Rechenaufwand.

Abb. 1 skizziert in einer Übersicht die wichtigsten im Rahmen der Simulation berücksichtigten hydrologischen Prozesse. Neben dem Niederschlag und der potentiellen Verdunstung als Eingangsgrößen werden im Rahmen der Modellrechnungen sowohl alle den Bodenwasserhaushalt betreffenden relevanten Prozesse wie Interzeption, Transpiration, Evaporation, Pflanzenwachstum, Wurzelwasseraufnahme, Versickerung und kapillarer Aufstieg ebenso simuliert, wie die künstliche Beregnung landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Die meteorologischen Daten stammen von den DLR-Stationen Schifferstadt, Lustadt, Herxheimweyher und Neustadt.

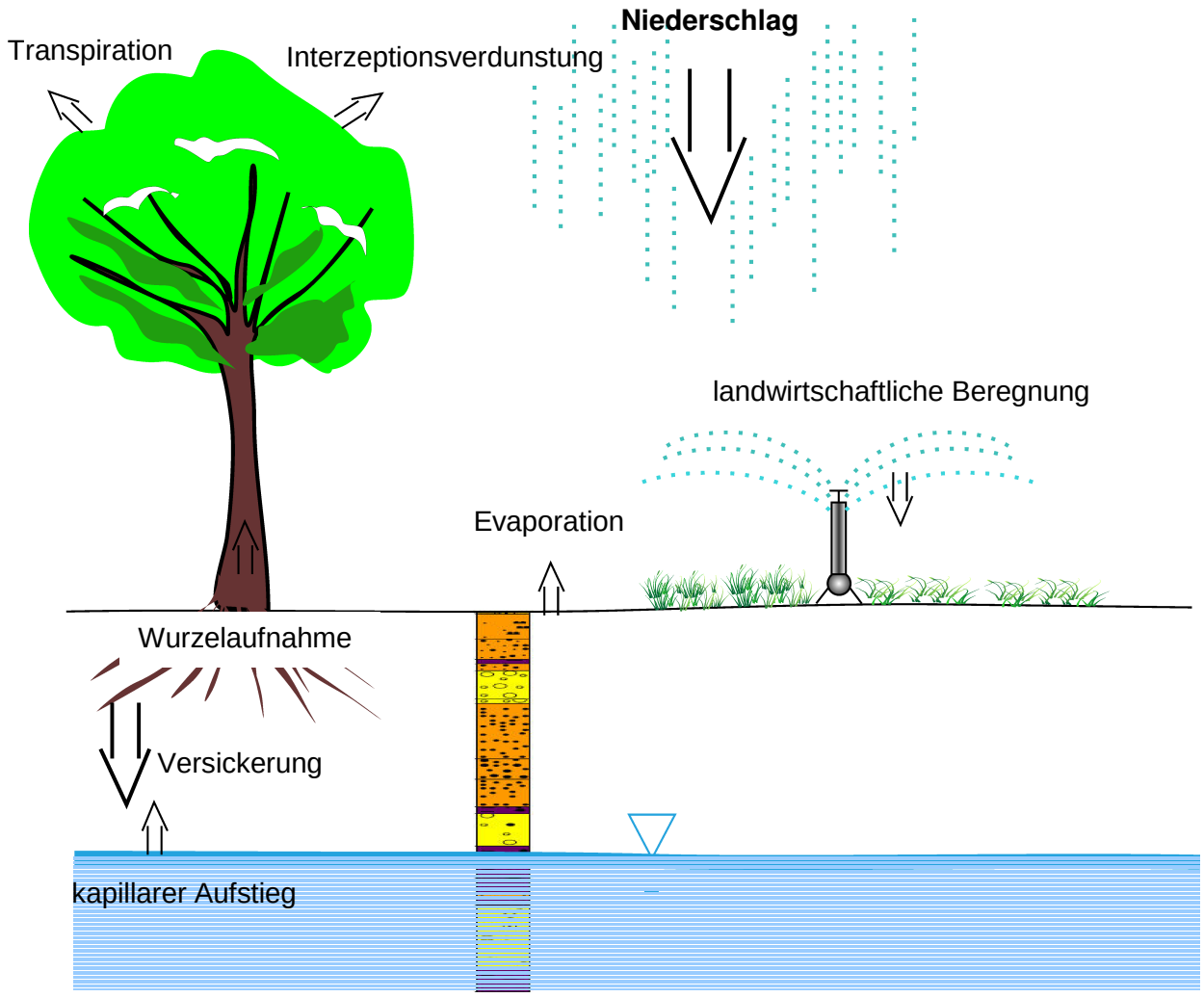


Abb. 1: Prozesse des Bodenwasserhaushaltes

Der Niederschlag im Untersuchungsgebiet wurde über den gesamten Simulationszeitraum auf Tageswertbasis berücksichtigt. Die Modellierung erfolgte über eine Regionalisierung stationsbezogener Niederschlagszeitreihen in einer räumlichen Auflösung von 500 m und einer anschließenden GIS-Verschneidung auf das 250 m-Modellraster.

Die Ermittlung der potentiellen Verdunstung (Grasreferenzverdunstung) erfolgte nach ATV-DVWK-M 504 mit der Methode von Penman-Monteith auf Tageswertbasis. Die Modellierung erfolgte wie auch für den Niederschlag über eine Regionalisierung stationsbezogener Zeitreihen in einem 500m-Raster mit anschließender GIS-Verschneidung auf das Modellraster.

Für die Beurteilung des Wasserhaushaltes des Bodens sind die Speicher- und Durchlässigkeitseigenschaften (bodenhydraulische Eigenschaften) mitentscheidend. Als Arbeitsgrundlage standen die digitalen Bodenflächendaten 1:50.000 des LUWG zur Verfügung.

Zunächst wurden den einzelnen Bodenarten in den typisierten Bodeneinheiten ihre bodenhydraulischen Kennwerte aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) zugewiesen. In einer Clusteranalyse mit den Kriterien Schichtmächtigkeit, Speichervermögen und Durchlässigkeit wurden insgesamt 10 Bodenprofilklassen identifiziert, die sich aus insgesamt 12 Bodenarten zusammensetzen und sich in ihrem vertikalen Aufbau voneinander unterscheiden **(Anlage AIII-11)**. Die vertikale Diskretisierung dieser Bodenprofile erfolgte in Schichten mit einer über die Tiefe ansteigenden Mächtigkeit von 1 cm an der Geländeoberfläche bis zu 2 m in der vom Grundwasser gesättigten Bodenzone.

Die Beschreibung der Bodenwasserbewegung innerhalb der ungesättigten Zone erfolgte über die Richards-Gleichung unter der im Rahmen der Bodenklassifizierung modellierten Beziehung zwischen der Bodenfeuchte und der hieraus resultierenden ungesättigten hydraulischen Durchlässigkeit.

Die Parametrisierung der ungesättigten hydraulischen Bodeneigenschaften (Retentionskurve, ungesättigte hydraulische Durchlässigkeit) erfolgte getrennt für jede Bodenart über die Methode von Mualem und van-Genuchten, wobei Hystereseeffekte von der Simulationssoftware nicht berücksichtigt werden.

Die Landnutzung im Modellgebiet wurde auf Grundlage einer multitemporalen Satellitenbildauswertung für das Jahr 2009 bestimmt (BGS Umwelt 2010).

In den Bodennutzungen wurden jeweils 26 Nutzungsklassen berücksichtigt. Für jede vegetative Nutzungsklasse wurde das Pflanzenwachstum anhand der saisonalen Entwicklung des Blattflächenindex, der Wurzeltiefe und des k_c-Faktors (pflanzenspezifische Korrektur der Grasreferenzverdunstung) modelliert.

Die Ermittlung der tatsächlichen Verdunstung erfolgte anhand der Methode von Kristensen & Jensen. Anhand der potentiellen Verdunstung wurden zur Laufzeit die Interzeption, Interzeptionsverdunstung, Transpiration, Evaporation und die Bodenfeuchte in der Wurzelzone unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Entwicklung der jeweiligen kulturspezifischen Daten (Blatt-

flächenindex, k_c-Faktor, Wurzelwachstum und -verteilung) in Abhängigkeit der zugrundeliegendenden Landnutzung ermittelt.

Der Wasserbedarf für die landwirtschaftliche Beregnung wurde im Rahmen der Simulationsrechungen automatisiert über die Bodenfeuchte ermittelt. Im Rahmen der Simulationsrechnungen wurden Gemüse, Kartoffeln, Zuckerrüben und Sonderkulturen (v.a. Tabak und Spargel) als beregnungsbedürftig angenommen. Als Steuergröße für die Applikation von Beregnungswasser wurde die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) herangezogen. Hierbei wurde im Rahmen der Simulationsrechungen automatisch eine konstante Beregnungsgabe von bis zu 30 mm/Tag auf diejenigen landwirtschaftlich beregneten Flächen angesetzt, deren Bodenfeuchte im durchwurzelten Bereich der ungesättigten Bodenzone auf einen Wert unter 50% nFKWe fiel. Abgeschaltet wurde die Beregnung automatisch beim Erreichen von 80% nFKWe. Bei Gemüse und Sonderkulturen erfolgte das Ein- und Abschalten der automatischen Beregnung bei 70 bzw. 90% nFKWe. Abb. 2 skizziert den Beginn und das Ende einer Beregnungsgabe in Abhängigkeit der Bodenfeuchte.

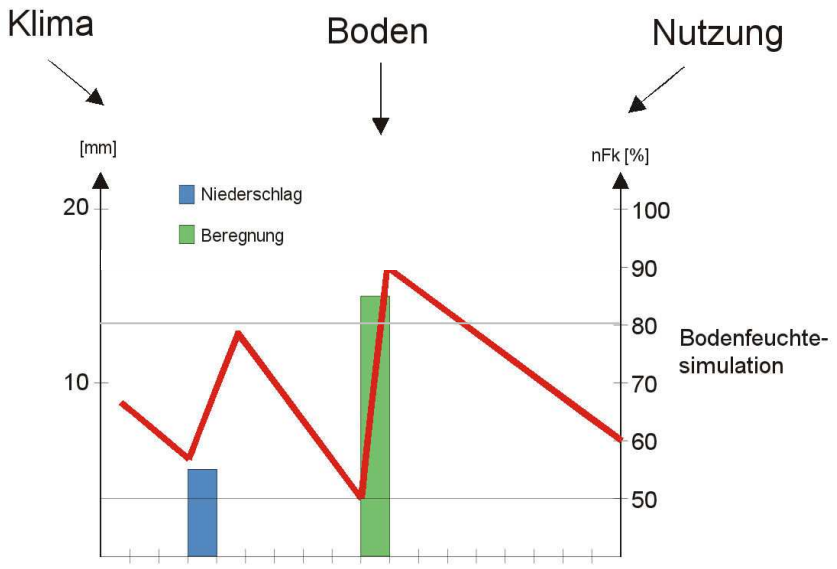


Abb. 2: Indirekte Ermittlung der Beregnungsmengen im Rahmen der Bodenfeuchtesimulation

Die Grundwasseroberfläche als implizites Maß für die Mächtigkeit der ungesättigten Zone bzw. der Flurabstand wurde im Rahmen der Bodenfeuchtesimulation als untere Randbedingung berücksichtigt.

Für die modelltechnische Abbildung der natürlichen Grundwasserstände im Modellgebiet wurden mittlere Grundwasserstände gewählt.

Die folgende Abbildung 3 zeigt die ermittelten, der instationären Modellkalibrierung zu Grunde liegenden Neubildungsraten für den Zeitraum 1998 bis 2007 (Jahreswerte).

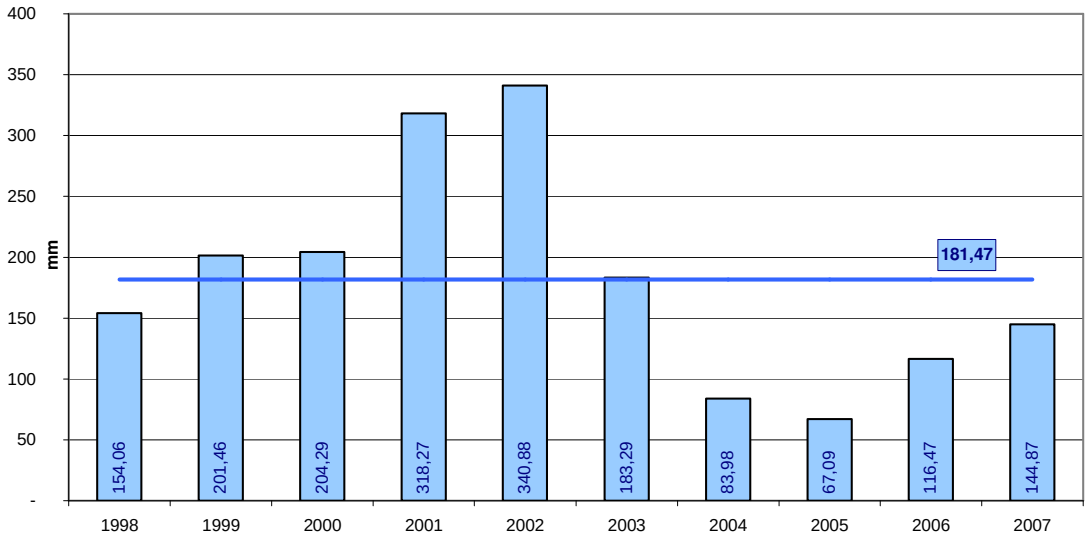


Abb. 3: Jahresmengen der Grundwasserneubildung im Zeitraum 1998 bis 2007

In **Anlage AIII-12** ist die mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1998-2007 dargestellt.

3.4 Oberflächengewässer

Bei der Implementierung der Oberflächengewässer in das Modell wurden, soweit vorhanden, Sohlhöhen und Wasserspiegellagenberechnungen berücksichtigt. Die Wechselwirkungen zwischen Vorfluter und Grundwasser erfolgen im Wesentlichen durch Infiltration aus dem Oberflächengewässer in das Grundwasser oder Exfiltration von Grundwasser in das Oberflächengewässer. Dies wird modelltechnisch über Vorfluterpotentiale (Wasserstände) und Leakagekoeffizienten (Faktor zur Beschreibung der Durchlässigkeit des Gewässerbettes) umgesetzt.

Für die Lauter im Süden, die Bienwaldgewässer und den Otterbach liegen Wasserspiegellagenberechnungen vor. Vermessungsdaten zu den Sohlhöhen lagen für die Queich und Druslach, den Erlenbach, Klingbach, Woogbach, Fuchsbach, Floßbach, Tiefenbach, Modenbach, Hainbach, Grosgraben, Hofgraben sowie Rehbach und Speyerbach im Norden vor. Die Gewässersohlen vom Modenbach, Hainbach, Hofgraben, Fuchsbach und der Druslach wurden auf längeren Abschnitten für den Aufbau des Grundwassermodells neu vermessen. Für mehrere Gewässer lagen keine Informationen zu Sohlhöhen vor. Diese wurden daher anhand der Geländehöhen abgeschätzt.

Der Abfluss des Hofgrabens und der Druslach wird durch die Überleitung von der Queich über den Fuchsbach bestimmt. Über die Mengen liegen keine Angaben vor. Die Druslach verläuft in einer Erosionsrinne, während das Wasser des Hofgrabens über 3 Absturzbauwerke am Rande

des Hochgestades abströmt. Beide Gewässer fließen dem Lingenfelder Altrhein zu, der ohne Schöpfwerk in den Rhein mündet. Der am Nordrand des Schutzgebietes verlaufende Hofgraben wurde in den Modellrechnungen nach den Beobachtungen einer Ortsbegehung im April 2007 als nicht wasserführend implementiert. Für den Hainbach wird von geringen Wechselwirkungen zum Grundwasser ausgegangen, da dieser bei der Ortsbegehung eine geringe Wasserführung aufwies. Alle in das Grundwassermodell implementierten Fließgewässer sind in Anlage AIII-7 dargestellt.

Als Datengrundlage zum Aufbau des Grundwassermodells standen weiterhin die Ergebnisse der Niedrigwasserabflussmessungen von 1973/74 vom LUWG zur Verfügung (s. Anlage AIII-5). Es ist bei der Auswertung zu beachten, dass zwischenzeitlich Gewässerumbauten ausgeführt wurden und insbesondere die Niedrigwasserführung durch Kläranlagenzuflüsse verändert wurden. Zusätzlich verändern sich die In- und Exfiltrationsstrecken der Fließgewässer und die In- und Exfiltrationsmengen im Modellgebiet in Abhängigkeit von den hydrologischen und klimatischen Rahmenbedingungen. Die Messungen aus den Jahren 1973/74 konnten daher lediglich als Orientierungswerte für die Modellkalibrierung genutzt werden. Zum Modellaufbau wurden ergänzend die Angaben der mittleren Niedrigwasserabflüsse (MNQ) an den wenigen Pegeln im Modellgebiet herangezogen.

4 Modellkalibrierung

4.1 Entwicklung der Grundwasserstände

Wesentliche Vorbedingung für eine sinnvolle stationäre Kalibrierung ist die Wahl eines möglichst stationären, langjährig mittleren Verhältnissen entsprechenden Bezugszeitpunktes. Hierzu wurde eine Ganglinienanalyse durchgeführt.

Abb. 4 zeigt exemplarisch die Grundwasserganglinie der nördlich von Bellheim im Bereich der Schwemmfächer gelegenen Messstelle 1299 (OGWL). Die Geländehöhe beträgt dort 116,2 müNN, d.h. die Flurabstände sind gering und liegen zwischen ca. 1,7 und 3,7 m. Perkolierendes Sickerwasser wirkt sich daher ohne größeren Zeitverzug auf die Grundwasserneubildung und damit auf die Grundwasserstände aus (HGK Karlsruhe-Speyer, 2007). Während in den Jahren 1985/86 mittlere Grundwasserstände auftraten, ist deutlich die Trockenperiode zu Beginn der 1990er Jahre zu erkennen. In den Jahren 1996 – 1999 bewegten sich die Grundwasserstände wieder auf mittlerem Niveau, während sie in den Jahren 2000 – 2002 deutlich über die Mittelwerte anstiegen. Ende des Jahres 2003 sank der Grundwasserstand wieder auf mittleres Niveau und fiel danach bis zum Ende 2007 auf das Niveau der Trockenperiode zu Beginn der 1990er Jahre ab.

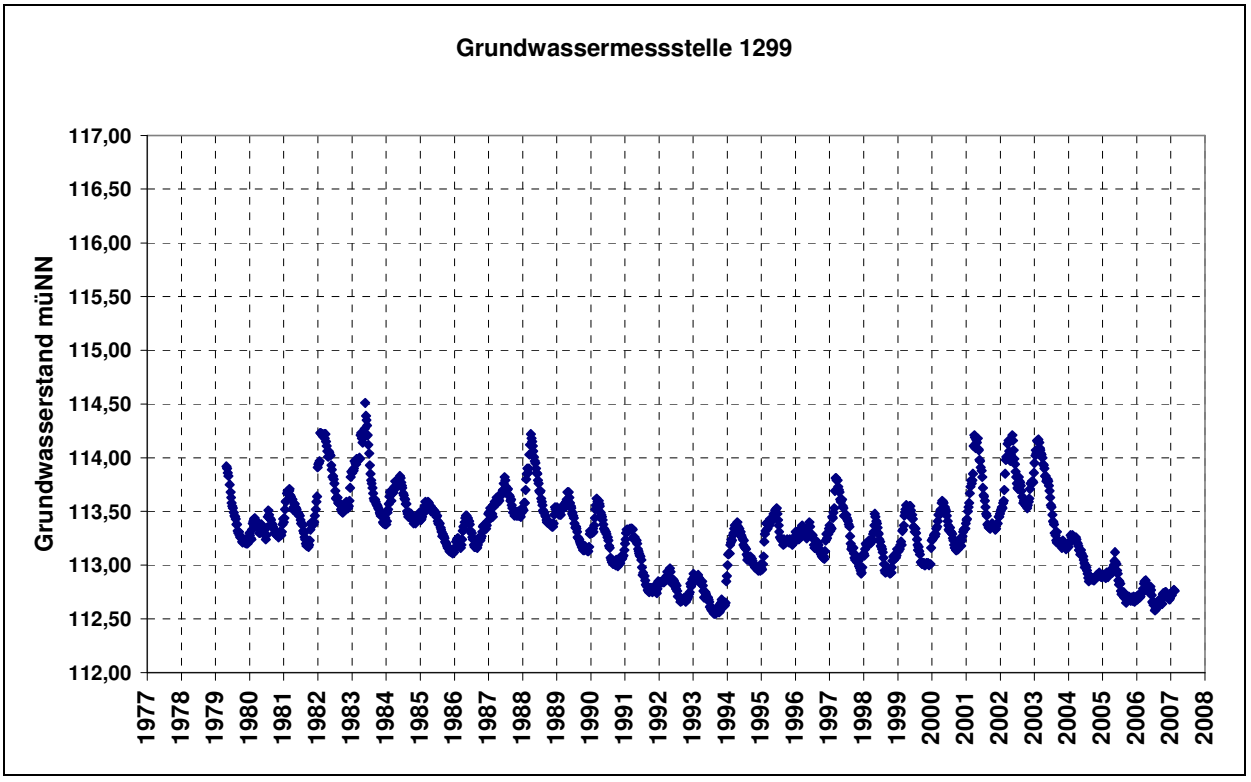


Abb. 4: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 1299 (Bellheim)

Abb. 5 zeigt die Grundwasserstandsentwicklung im Untersuchungsgebiet anhand der Ganglinie der zwischen Herxheim und Bellheim in der Niederterrasse gelegenen Messstelle 1231. Die Messstelle befindet sich im Bereich der Riedelfläche, die Geländeoberkante liegt bei 129,24 müNN. Die Flurabstände betragen in diesem Bereich demnach zwischen ca. 8,5 und 10,5 m. Aufgrund der großen Flurabstände sind jährliche Schwankungen nicht zu erkennen, dafür die mehrjährigen Anstiegs- bzw. Absenkungsphasen als Reaktion auf klimatisch bedingte Nass- und Trockenperioden. Aufgrund der langen Sickerzeiten in der ungesättigten Bodenzone kann oft ein Zeitversatz für die Grundwasserneubildung von ein bis zwei Jahren beobachtet werden (HGK, Karlsruhe-Speyer, 2007).

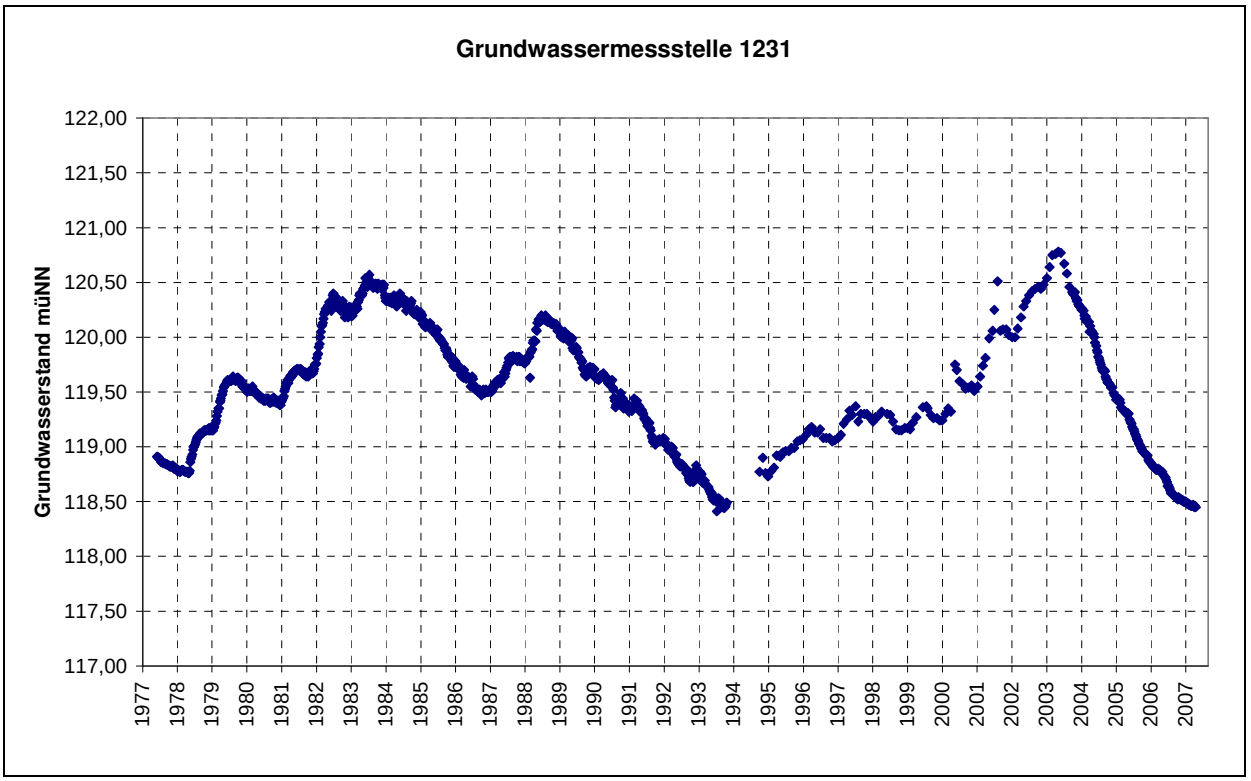


Abb. 5: Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 1231 (zwischen Bellheim und Herxheim)

Die Auswertung der Grundwasserstandsganglinien der Mehrfachmessstellen, die in verschiedenen Grundwasserleitern verfiltert sind, zeigt, dass die Druckdifferenzen zwischen den Grundwasserleitern mit Ausnahme des Bereichs der Rheinniederung gering sind und in der Größenordnung von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Dezimetern liegen.

Abb. 6 zeigt die Grundwasserstandsganglinien der Dreifachmessstelle 1303 nördlich von Bellheim.

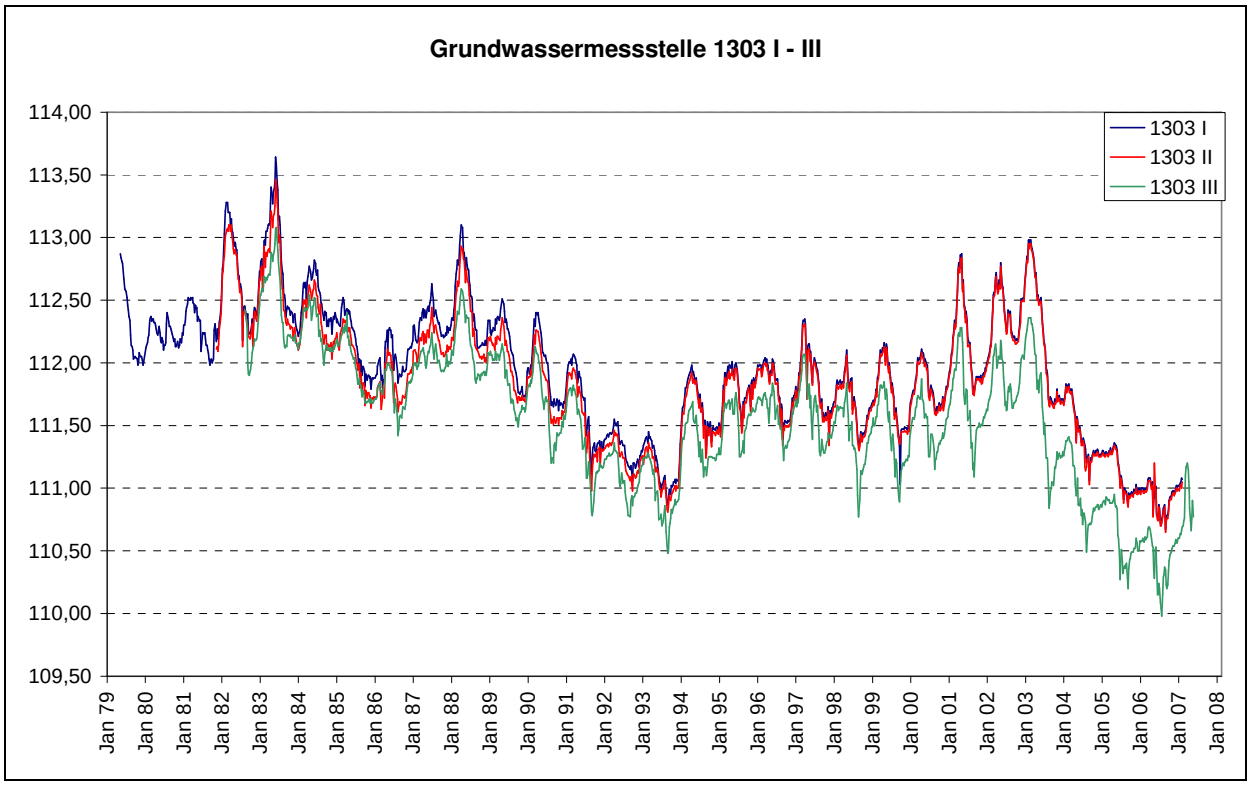


Abb. 6: Grundwasserstandsganglinien der Messstellen 1303 I, 1303 II, 1303 III

Die tiefe Messstelle 1303 III erfasste den UGWLu, die Messstelle 1303 II den MGWLo und die Messstelle 1303 I ist in einer Feinsandschicht innerhalb der schluffig-sandigen Wechselfolgen des OZH verfiltert. Daher sind die gemessenen Grundwasserstände zwischen den Messstellen 1303 I und 1303 II nahezu identisch. Die Druckdifferenz zum UGWLu betrug bis Ende der 1990er Jahre ca. 0,2 m und hat sich seit dem leicht erhöht auf bis zu ca. 0,5 m. Deutlich ist zu erkennen, dass auch im UGWLu ausgeprägte jahreszeitliche Grundwasserstandsänderungen auftreten. Dies deutet darauf hin, dass deutliche Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Grundwasserleitern vorhanden sind.

4.2 Stationäre Modellkalibrierung

Das Modell ist zunächst stationär und in einem zweiten Schritt, um die an sich hochgradig instationären Grundwasserentnahmen für Beregnungszwecke realitätsnah abzubilden und die Modellgüte weiter zu verbessern, instationär kalibriert worden.

Die stationäre Modellkalibrierung erfolgte für September 2003. In den meisten Bereichen des Untersuchungsgebiets sind zu diesem Zeitpunkt die Grundwasserstände auf mittlerem Niveau. Lediglich in den Bereichen der Riedelflächen mit hohen Flurabständen und geringen hydraulischen Durchlässigkeiten sind die Grundwasserstände aufgrund des Zeitversatzes noch bis zu 1 m höher als bei mittleren Verhältnissen. Für die Modellkalibrierung wurde neben den Messwerten der einzelnen Grundwassermessstellen ein für den oberen Grundwasserleiter für Sep-

tember 2003 konstruierter Grundwassergleichenplan des LUWG herangezogen. Informationen zu den Grundwasserständen im mittleren und unteren Grundwasserleiter sind nur an verhältnismäßig wenigen tiefen Grundwassermessstellen vorhanden, so dass hier kein flächenhafter Grundwassergleichenplan erstellt werden konnte.

Für die Rheinwasserstände wurden die Monatsmittelwerte von September 2003 an den Pegeln Mannheim, Speyer, Maxau und Plittersdorf ermittelt. Im Rahmen der für die Grundwassermodellierung benötigten Genauigkeit ist eine vereinfachte Bestimmung des Spiegellinienverlaufs anhand linearer Interpolation zwischen den vier Pegeln unter Einbeziehung weiterer Informationen über Wasserstände der direkt mit dem Rhein verbundenen Altrheinarme hinreichend.

Neben den Beregnungsentnahmen werden in den Modellrechnungen die Brunnen zur Trinkwasserversorgung sowie Brunnen aus Industrie/Gewerbe berücksichtigt. Tab. 1 zeigt die in das Modell implementierte Grundwasserförderung. Die Grundwasserentnahme zur landwirtschaftlichen Beregnung liegt auf der Basis der Vorgaben für den Bezugszustand (siehe BGS Umwelt, 2008, Kap. 3.3.5) im Jahr 2003 bei ca. 9,2 Mio. m³/a, die Trinkwasserentnahme bei knapp 22,0 Mio. m³/a. Der Anteil der gewerblichen/industriellen Brunnen ist mit ca. 1,7 Mio. m³/a relativ gering, ein Teil dieser Brunnen fördert Rheinuferfiltrat. Die gesamte Grundwasserentnahme im Untersuchungsgebiet ergibt sich für 2003 zu rund 33 Mio. m³/a.

Für die Brunnen zur Trinkwasserversorgung sowie die Brunnen aus Gewerbe/Industrie lagen Angaben zu den Filterober- und unterkanten vor, so dass die Entnahmen den entsprechenden Grundwasserleitern zugeordnet werden konnten.

Tab. 1: Im Modell implementierte Grundwasserförderung aus Brunnen im Jahr 2003 [Mio. m³/a]

Trinkwasserversorgung	
Energie Südwest AG	0,79
Gemeindewerke Dudenhofen	0,30
Gemeindewerke Hassloch	1,88
Stadtwerke Neustadt	3,81
SW Bad Bergzabern	0,01
SW Germersheim GmbH	1,59
SW Speyer GmbH Nord	0,83
SW Speyer GmbH Süd	3,05
VGW Bad Bergzabern	0,09
VGW Edenkoben	0,58
VGW Hagenbach	0,57
VGW Herxheim bei Landau	0,29
VGW Kandel	0,81
VGW Landau-Land	0,19
VGW Maikammer	0,31
WV Germersheimer Südgruppe	3,55
WZV Bienwald	0,25
ZVWV Germersheimer Nordgruppe	0,98
ZVWV Impflinger Gruppe	0,32
ZVWV Walsheimer Gruppe	1,74
Summe Trinkwasserversorgung	*21,95*
Gewerbe/Industrie	
Papierfabrik Palm GmbH & Co KG, Wörth	0,67
Fa. Saint-Gobain Isover G+H AG	0,28
Fa. Daimler Chrysler, Werk Wörth	0,57
Brunnen I "In den Wiesen", Fa. Park & Bellheimer AG	0,16
Fa.Daimler Chrysler AG, Insel Grün, Wörth	0,05
Summe Gewerbe Industrie	*1,72*
Landwirtschaftliche Beregnung	
Summe landwirtschaftliche Beregnung	*9,20*
SUMME	**32,86**

Im Rahmen der Kalibrierung erfolgt eine Variation der Modellparameter bis eine hinreichende Übereinstimmung der gemessenen mit den errechneten Grundwasserständen erreicht ist.

Die zugrundegelegte Aquifergeometrie und die flächenhaften Grundwasserneubildungsraten wurden im Rahmen der Kalibrierung nicht variiert. Kalibriergrößen sind bei stationärer Rechnung Leakage-Koeffizienten, maximale In- und Exfiltrationsraten, k_f-Werte und der Zustrom über die Modellränder.

Bei der Modellkalibrierung zeigte sich für den OZH, mit Ausnahme im Bereich Wörth (siehe Kap. 3.1), ein einheitlicher k_f-Wert von $5 \cdot 10^{-7}$ m/s als plausibel. Der ZH3 wurde ebenfalls mit einem k_f-Wert von $5 \cdot 10^{-7}$ m/s und der UZH sowie der TZH mit einem k_f-Wert von $2 \cdot 10^{-6}$ m/s belegt. Bei der Modellkalibrierung zeigte sich, dass im Zentralbereich des Untersuchungsgebietes der Ansatz zu geringer k_f-Werte für die Trennhorizonte zu deutlich zu großen Druckdifferenzen zwischen den verschiedenen Grundwasserleitern führt. An der Dreifachmessstelle 1303 stimmen die berechneten Ganglinien insgesamt gut mit den Messwerten überein. Die gemessenen Druckdifferenzen von ca. 0,2 bis 0,5 m (Abb. 6) zwischen dem oberen und unteren Grundwasserleiter werden gut mit dem Grundwassermodell wiedergegeben. Die berechnete Druckdifferenz liegt innerhalb des betrachteten Zeitraumes im Mittel bei ca. 0,3 m.

Die kalibrierten k_f-Werte im Oberen Grundwasserleiter liegen zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ am Haardtrand und im Bereich der Riedelflächen sowie $2\text{-}4 \cdot 10^{-3}$ m/s im Bereich der Rheinniederung. Im mittleren Grundwasserleiter betragen die kalibrierten k_f-Werte $1 \cdot 10^{-4}$ m/s im Westen und $2 \cdot 10^{-4}$ m/s im Osten, während für den unteren Grundwasserleiter k_f-Werte von überwiegend $8 \cdot 10^{-5}$ m/s plausible Ergebnisse lieferten.

Anlage AIII-13 zeigt die Messwerte und die berechneten Grundwassergleichen im oberen Grundwasserleiter für September 2003. Die Grundwasserströmung ist von Westen nach Osten zum Rhein hin gerichtet. Deutlich ist der Einfluss der Fließgewässer auf die Grundwassergleichen zu erkennen, die durch Exfiltration ein Rückspringen und durch Infiltration ein Vorspringen der Gleichen verursachen. In der Rheinniederung werden die Grundwasserstände in hohem Maße durch den Rhein und die Altrheinarme geprägt. Im Untersuchungsgebiet stimmen die berechneten Potentiale und somit auch das hydraulische Gefälle und die Strömungsrichtung gut mit den Messwerten überein. Die Differenzen zwischen den Mess- und Rechenwerten liegen maximal im Dezimeterbereich. Hierzu ist anzumerken, dass das Modell, wie im folgenden Kapitel näher erläutert, auch instationär kalibriert wurde. Deutliche Abweichungen zwischen den stationär berechneten Grundwasserständen und den Messwerten deuten auf eine nicht zu vernachlässigende Zeitabhängigkeit der Grundwasserstandsentwicklung hin, ein langzeitiger Gleichgewichtszustand tritt praktisch nicht auf. In 2003 waren die Grundwasserstände in Bereichen mit hohen Grundwasserflurabständen auf Grund der vorausgegangenen Nassperiode noch durchgängig über den mittleren Grundwasserständen. In Bereichen mit geringen und mittleren Flurabständen hatten die Grundwasserstände bereits ein mittleres Niveau erreicht.

Die Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und Grundwasser unter den Rahmenbedingungen 2003 sind für einige Gewässer in **Anlage AIII-14** dargestellt. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Gewässer, für die Informationen über die Sohlhöhen vorlagen. Dargestellt ist, auf welchen Gewässerabschnitten überwiegend Exfiltration und auf welchen Abschnitten überwiegend Infiltration auftritt. Während im Westen des Modellgebietes vorwiegend Exfiltration auftritt, ergeben sich für den Erlenbach, die Queich und den Woogbach weiter östlich Gewässerabschnitte vorwiegend mit Infiltration. Eine Ausnahme bildet der Speyerbach, der ein verhältnismäßig großes Einzugsgebiet im Pfälzer Wald hat, und auf der gesamten Strecke überwiegend in das Grundwasser infiltriert.

Bei der Kalibrierung wurde darauf geachtet, dass der sich aus den Exfiltrationsmengen ergebende Gewässerabfluss von der Größenordnung her mit den MNQ-Werten der Abflusspegel bzw. mit den Niedrigwasserabflussmessungen (siehe Anlage AIII-5) übereinstimmt. Die sich aus den Niedrigwasserabflussmessungen 1973/74 ergebenden In- und Exfiltrationsabschnitte können jedoch lediglich als Orientierung verstanden werden, da diese vom jeweiligen Grundwasserstandsniveau sowie von möglichen Gewässerausbaumaßnahmen der letzten 40 Jahre abhängig sind. So zeigen z.B. die Niedrigwasserabflussmessungen für den Speyerbach zwischen Neustadt und Hanhofen Exfiltration an, während die Grundwassermodellkalibrierung für das Jahr 2003 in diesem Abschnitt eine Infiltration ergibt. Die Ursache liegt hier u.a. in den im Jahr 2003 gegenüber 1973/74 niedrigeren Grundwasserständen im Nordbereich des Untersuchungsgebietes. Insgesamt ergeben die kalibrierten In- und Exfiltrationsmengen ein plausibles Bild für die Wechselwirkungen des Grundwassers mit den Oberflächengewässern.

4.3 Instationäre Modellkalibrierung

Im Rahmen der instationären Modellkalibrierung, bei der über einen Zeitraum von 10 Jahren eine hinreichende Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Grundwasserständen angestrebt wurde, sind die im Zuge der stationären Kalibrierung ermittelten Parameter verbessert angepasst worden. Einige Variablen, vor allem der Speicherkoeffizient, der wiederum maßgeblich von der Porosität abhängig ist, können grundsätzlich nur unter instationären Bedingungen bestimmt werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass grundsätzlich mehrere Parametersätze einen Systemzustand beschreiben können. Nur wenn das Modell über einen längeren Zeitraum die entsprechenden Prozesse bei unterschiedlichen Systemzuständen zufriedenstellend simuliert, kann ein eindeutiger Parametersatz gefunden bzw. die Mehrdeutigkeit in der Eichung stark reduziert werden. Diese vergleichsweise aufwändigen Arbeiten verbessern die Güte des Modells somit erheblich.

Die Simulation beginnt im Januar 1998 und endet im Dezember 2007. Die instationären Datensätze wurden monatsweise aggregiert.

Für jede instationäre Berechnung wird ein Anfangszustand (eine gegebene Piezometerhöhenverteilung zum Zeitpunkt t = 0) für den Beginn der Simulation benötigt. Für die instationäre Kalibrierung sind als Anfangszustand die berechneten Potentiale der stationären Simulation für mittlere klimatische Verhältnisse (vgl. Kap. 4.1) zu Grunde gelegt worden, was für 1998 in etwa zutrifft.

Neben dem Festpotentialrand (bzw. den Rheinwasserständen) sind die Grundwasserneubildungsraten (nach Kap. 3.3.2) in Abhängigkeit der Zeit variiert worden. Innerhalb des Kalibrierzeitraumes wurden weiterhin die wechselnden Förderraten der öffentlichen Wasserversorger und Industriebrunnen mit Jahresmittelwerten berücksichtigt. Die für die instationäre Kalibrierung in das Modell implementierten Beregnungswasserentnahmen wurde, wie im Kapitel 3.3.2 beschrieben, mit der hydrologischen Modellierungs- und Simulationssoftware MIKE SHE ermittelt. Die Förderraten der Beregnungsbrunnen liegen im Zeitraum 1998 bis 2007 zwischen ca. 4,0

Mio. m³ im Jahr 2000 und 10,5 Mio. m³ im Jahr 2003. Dies entspricht etwa 60 % der bei einer optimalen Pflanzenwasserversorgung erforderlichen Grundwasserentnahmen. Diese Abminderung wurde angesetzt, weil die technische Ausstattung zur Beregnung für eine optimale Pflanzenwasserversorgung als nicht ausreichend angesehen wird (BGS Umwelt 2008).

Insgesamt wurden für die instationäre Kalibrierung Ganglinien von 62 Messstellen ausgewertet, davon 43 im oberen sowie 10 im mittleren und 9 im unteren Grundwasserleiter. In den Abbildungen 6 und 7 sind für einige ausgewählte Grundwassermessstellen die gemessenen und die berechneten Grundwasserstände innerhalb des Kalibrierzeitraumes dargestellt. Die Lage dieser Messstellen ist Anlage AIII-13 zu entnehmen. Anhand dieser Abbildungen ist zu erkennen, dass die berechneten Ganglinien allgemein überwiegend gut bis sehr gut mit den auf Messwerten basierenden Ganglinien übereinstimmen.

In **Anlage AIII-15** ist die Verteilung der k_f-Werte für den oberen Grundwasserleiter dargestellt. Diese liegen, wie bereits im Kapitel 4.1 (stationäre Modellkalibrierung) näher beschrieben, zwischen $1 \cdot 10^{-4}$ und $4 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Vor allem in Anbetracht der zu Grunde liegenden Skalenebene des Modells, es wurde in erster Linie für großräumige Betrachtungen erstellt und umfasst eine Fläche von ca. 1000 km², sind die Kalibrierergebnisse insgesamt sehr gut. In den meisten Fällen beträgt die Abweichung zwischen den berechneten und gemessenen Potentialen nur wenige Zentimeter bis Dezimeter.

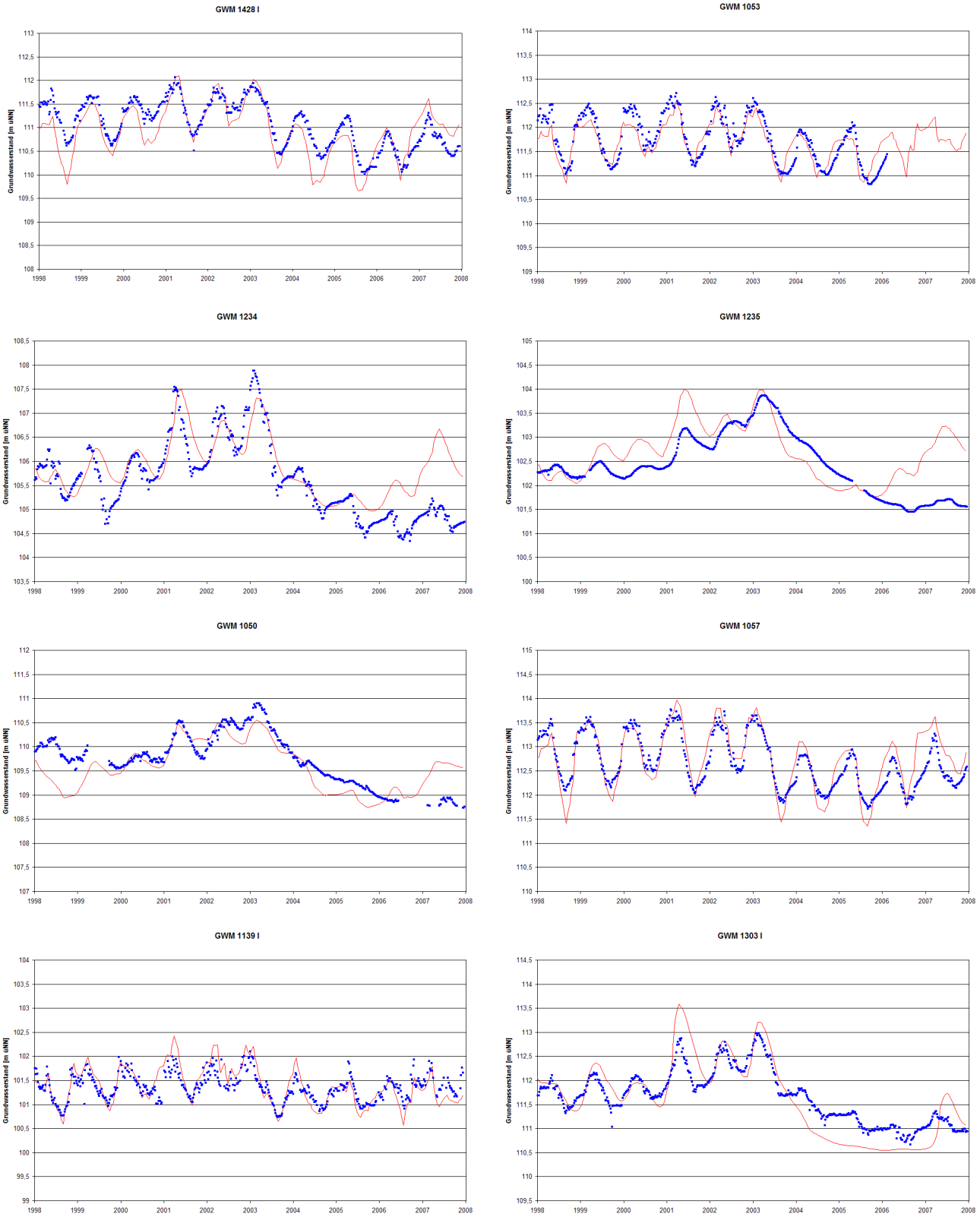


Abb. 7: Vergleich zwischen gemessenen Grundwasserständen (blau) und berechneten Grundwasserständen (rot) im oberen Grundwasserleiter im Zeitraum 1998 bis 2007

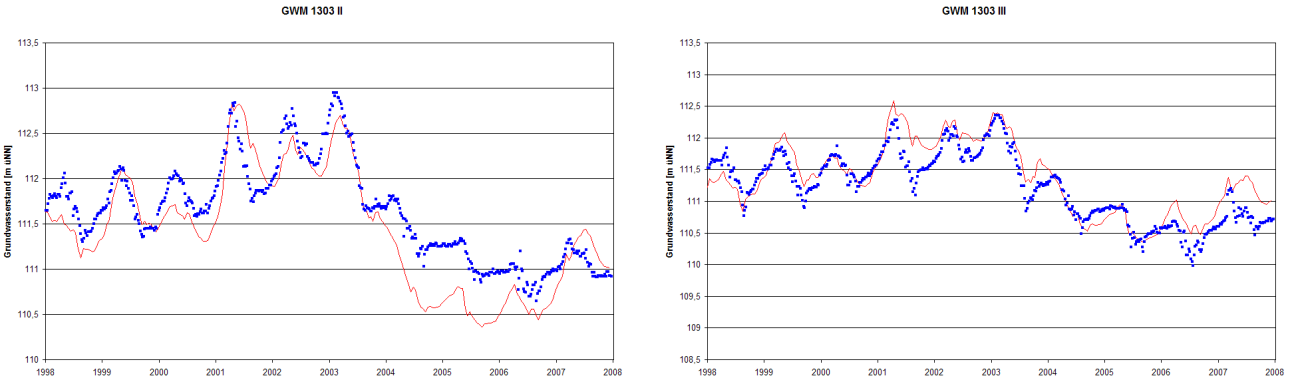


Abb. 8: Vergleich zwischen gemessenen Grundwasserständen (blau) und berechneten Grundwasserständen (rot) im mittleren (1303 II) und unteren (1303 III) GWL im Zeitraum 1998 bis 2007 an der GWM 1303

4.4 Modellbilanz

In **Anlage AIII-16** ist die Modellbilanz für den stationären Kalibrierzustand September 2003 dargestellt. Der Grundwasserneubildung von insgesamt 192 Mio. m³/a stehen Entnahmen von 32,86 Mio. m³/a gegenüber. Der Randzustrom ins Modellgebiet über den westlichen Rand beträgt insgesamt ca. 8 Mio. m³/a. Über die Fließgewässer werden im gesamten Modellgebiet ca. 61 Mio. m³/a infiltriert, während ca. 152 Mio. m³/a exfiltrieren. Der Grundwasserabstrom aus dem Modellgebiet in den Rhein beträgt ca. 88 Mio. m³/a, der Grundwasserzustrom aus dem Rhein in das Modellgebiet 15 Mio. m³/a. Über den Bereich mit einem Festpotential am nördlichen Modellrand strömen ca. 5 Mio. m³/a ab.

Brandt·Gerdes·Sitzmann

Umweltplanung GmbH

Darmstadt, den 14.12.2010

Dr.-Ing. M. Kämpf

Dipl.-Ing. N. Venohr

Literatur

BGS Umwelt 2010: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz – vertiefende wasserwirtschaftliche Untersuchungen für den Raum Hochstadt und in den Flächen der Tabakkonversion.

BGS Umwelt 2008: Konzeptionelle wasserwirtschaftliche Abschätzung zur landwirtschaftlichen Beregnung in der Südpfalz.

Björnsen 2007: Grundwassergewinnung Ordenswald, Hydrogeologisches Modell, Anhang 1 zum Antrag auf Erteilung einer gehobenen Erlaubnis für die Zutageförderung und Ableitung von Grundwasser aus den neuen Tiefbrunnen TB 8 und TB 9 im Gewinnungsgebiet Ordenswald

HG 1999: Großräumige Grundwassermodelluntersuchungen südlich von Germersheim mit Detailbetrachtungen für die Wasserwerke Kuhardt und Jockgrim, Modellbericht, Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, Juli 1999

HG 2000a: Trinkwasserversorgung der Verbandsgemeinde Kandel, Hydrogeologisches Gutachten Teil 1, Bestandsaufnahme, Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, April 2000

HG 2000b: Trinkwasserversorgung der Verbandsgemeinde Herxheim, Hydrogeologisches Gutachten Teil 1, Bestandsaufnahme, Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Gießen, April 2000

Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz 1980: Rheinausbau unterhalb Au-Neuburg, Hydrogeologische, geologische und wasserwirtschaftliche Untersuchungen, 2. Bericht, Mainz, 1980

Umweltbundesamt DLR-DFD 2004: Corine Landcover

SGD Süd 2005: Generalplan zur Beregnung der Vorderpfalz, Fortschreibung, Februar 2005

Wessolek 1992: Untersuchungen zum Wasserhaushalt im Umlandverband Frankfurt, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Umlandverbandes, Berlin

VGW NEUSTADT
STW NEUSTADT
GW HASSLOCH
VGW MAIKAMMER
VGW EDENKOBEN
ZVWV WALSHEIMER GRUPPE
ZVWV WALSHEIMER GRUPPE
ENERGIE SÜDWEST AG
ZVWV IMPFLINGER GRUPPE
VGW HERXHEIM BEI LANDAU
VGW LANDAU-LAND
VGW KANDEL
SW BAD BERGZABERN
VGW KANDEL
WZV RINNWALD
VGW BAD BERGZABERN
VGW BAD BERGZABERN
VGW HERXHEIM BEI LANDAU
VGW HAGENBACH
VGW HAGENBACH
ZVWV GERMERSHEIMER NORDGRUPPE
ZVWV GERMERSHEIMER NORDGRUPPE
SW SPEYER GMBH
SW SPEYER GMBH
GW DUDENHOFEN
SW GERMERSHEIM GMBH
WV GERMERSHEIMER SÜDGRUPPE KÖR.
WV GERMERSHEIMER SÜDGRUPPE KÖR.
Pf. Mitteldeichstraße
SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG, SPEYER
DAIMLER CHRYSLER AG, WERK INSEL GRÜN
PARK & BELLHEIMER AG
PAPIERFABRIK PALM GMBH&CO KG
DAIMLER CHRYSLER AG; WERK WÖRTH

LEGENDE:

Brunnen:

- Trinkwasserbrunnen
- Brunnen Gewerbe / Industrie
- Beregnungsbrunnen
- Untersuchungsgebiet
- Wald

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-1

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Lageplan Modellgebiet mit Brunnen

Datei: 4804-062-1.dwg
Layout: AIII-1
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: August 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

Rheinzaberner Horst

Dierbacher Horst

Büchelberger Horst

LEGENDE:

- Vorbergzone mit Randscholle
- Bienwald Grabenscholle
- Zwischenscholle
- Grabenscholle
- Horst
- —10.00— Basis des unteren Grundwasserleiters
- Untersuchungsgebiet

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-2

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Basis des unteren Grundwasserleiters und tektonische Übersicht

Datei: 4804-063-1.dwg
Layout: AIII-2
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Sept. 2010
Projektnummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

LEGENDE:

- Oberer Zwischenhorizont
- Zwischenhorizont 3
- Unterer Zwischenhorizont
- Tiefer Zwischenhorizont
- Modellrand

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-3

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Verbreitung der Trennhorizonte

Datei: 4804-080.dwg
Layout: AIII-3
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Dezember 2010
Projektnummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

LEGENDE:

Anzahl der Trennhorizonte:

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- Modellrand

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-4

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

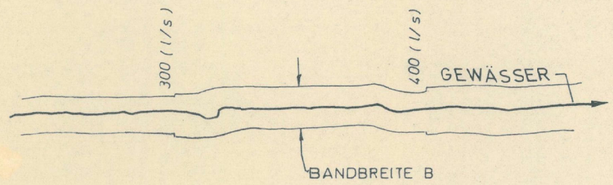
Planbezeichnung: Aufbau der Grundwasserleiter

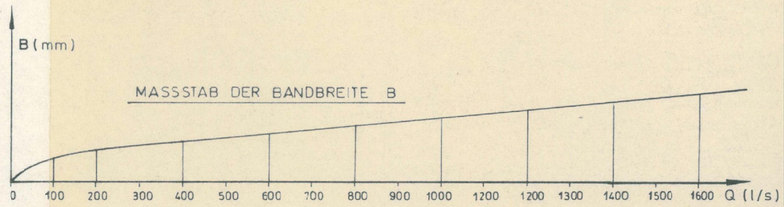
Datei: 4804-065-1.dwg
Layout: AIII-4
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Sept. 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

HASSLOCH
SPEYERBACH
REHBACH
SCHIFFERSTADT
RANSCHGRABEN
SPEYER
HARDT-RAND
NEUSTADT / W.
SPEYERBACH
WOOGBACH
KROPSBACH
TRIEFENBACH
LEISELGRABEN
MODENBACH
KALTENBACH
HAINBACH
SPEYERBACH
EUSSERBACH
HOFGRABEN
LINGENFELDER ALTRH.
DRUSLACH
QUEICH
QUEICH
QUEICH
FLOSSBACH
GERMERSHEIM
LANDAU/PF.
SPIEGELBACH
BRUEHLGRABEN
BIRNBACH
ALTBACH
SONDERNH
ALTRHEIN
KAPPELBACH
QUADBACH
KLINGBACH
HERXHEIM
NEUPOTZ
HORBACH
ERLENBACH
BAD-
BERGZABERN
KANDEL
DIERBACH
OTTERBACH
OTTERBACH
SCHMERBACH
RUSSBACH
BRUCHGRABEN
RHEIN
HEILBACH
WIEBELSBACH
LAUTER
HESSBACH
KARLSRUHE

ZEICHENERKLÄRUNG





BEMERKUNG: BEI EINEM ABFLUSS < 10 l/s IST KEINE BANDBREITE DARGESTELLT

LANDESAMT FÜR GEWÄSSERKUNDE
RHEINLAND-PFALZ

RHEINAUSBAU
UNTERHALB AU-NEUBURG

BEZEICHNUNG DES BLATTES
Fließbild
der Niedrigwasserabflüsse 1973/74

GEZ.: Schwebler	BEARB. NR. 215/80	MASSSTAB: 1: 100 000
GEPR.: g. Frings	JUNI 1980	ANLAGE B-32

episodisch trockenfallende Gewässer und Fließgewässerabschnitte in den Planungseinheiten nach WRRL der Regionalstelle Neustadt					
Planungsein-heit	*Name*	*Betrachtungs-raum*	*betrachtete Gewässer*	*von den betrachteten Gewässern trocken fallende Oberflächenwasserabschnitte*	*Oberflächenwasserkörper die ebenfalls von episodischen Trockenperioden betroffen sind, aber nicht in den PE benannt wurden*
PE 15	*Selz-Pfrimm*	*Selz-Pfrimm*	*Ammelbach*		*Kinderbach , oberhalb Ortslage Kindenheim*
PE 16	*Isenach - Eckbach*	*Isenach - Eckbach*	*Oberer Eckbach*	*Höninger Bach , um Höningen*	
			Mittlerer Eckbach	*Magsamental meist ganzjährig trocken, da bereits in den 60 iger Jahren aufgefüllt*	*Floßbach nach Wegfall Obersülzen ausschließlich Wasser aus ARA Grünstadt !*
			Unterer Eckbach	*Lackegraben erst ab Ormsheimerhof wasserführend*	*Nachtweidegraben, Talweidgraben nur bei Starknierderschlägen*
			Unterer Altbach		
			Oberer Altbach	*Seltenbach oberhalb Hettenleidelheim*	
			Obere Isenach		
			Untere Isenach	*Neugraben bei FT - Eppstein nur HW - Entlastung Floßbach zwischen Gewerbegebiet und Ortslage.*	*Affengraben zwischen Ruchheim und Oggersheim, Schwanengraben entspringt ab ARA Ellerstadt, Wiesengraben Dannstadt bis Fußgönheim und Scheidegraben Dannstadt.*
			Reisbach		*Tanzwiesgraben erst ab Sedimentationsteiche Südzucker grundwasserführend*
			Riedgraben	*Riedgraben oberhalb Königsbach. Wenn ARA Königsbach angeschlossen, fällt Riedgraben bis Dannstadt trocken*	
			Schwabenbach	*von Wachenheim bis Ortslage Gönnheim*	
			Fuchsbach	*entspringt praktisch an der ARA Weisenheim a.Sand*	*Sauborn, Talweid- und Seegraben dann ohne Wasserführung*

episodisch trockenfallende Gewässer und Fließgewässerabschnitte in den Planungseinheiten nach WRRL der Regionalstelle Neustadt									
Planungsein-heit	*Name*	*Betrachtungs-raum*	*betrachtete Gewässer*	*von den betrachteten Gewässern trocken fallende Oberflächenwasserabschnitte*	*Oberflächenwasserkörper die ebenfalls von episodischen Trockenperioden betroffen sind, aber nicht in den PE benannt wurden*				
PE 17	*Speyerbach*	*Speyerbach*	*Rehbach*						
			Brückweggraben	*Brückweggraben völlig*					
			Hochspeyerb.						
			Oberer Speyerlach-graben	*nur Regenentwässerung bis Schöpfwerk Speyer/Nord*					
			Mußbach						
			Ranschgraben						
			Oberer Speyerbach						
			Speyerbach						
			Steinbach	*Steinbach um Iggelheim*	*Wieselgraben*				
			Maurergraben	*in und um Böhl - Iggelheim bis Schifferstadt*	*Böhlgraben, Pfuhlgraben*				
			Oberer Modenbach		*Kropsbach oberhalb Kirrweiler*				
			Mittlerer Modenbach	*ab Freisbach bis zur oberhalb Mündung Speyerbach (Fischteichanlagen)*	*Kaltenbach völlig*				
			Unterer Modenbach	*2005 nur noch ab Kapelle Hanhofen bis Mündug wasserführend*	*Wo ghört der Hainbach hin, er ist in der Aufzählung verschwunden ?*				

episodisch trockenfallende Gewässer und Fließgewässerabschnitte in den Planungseinheiten nach WRRL der Regionalstelle Neustadt									
Planungsein-heit	*Name*	*Betrachtungs-raum*	*betrachtete Gewässer*	*von den betrachteten Gewässern trocken fallende Oberflächenwasserabschnitte*	*Oberflächenwasserkörper die ebenfalls von episodischen Trockenperioden betroffen sind, aber nicht in den PE benannt wurden*				
PE 18	*Queich-Klingbach*	*Queich-Klingbach*	*Birnbach*	*Birnbach ab Ortslage Wollmesheim*	*Ranschbach oberhalb Arzheim und Brühlgraben (Schleidgraben), Floßbach, Hofgraben*				
	Wieslauter - Saarbach	*Wieslauter - Saarbach*	*Druslach*						
			Eußerbach						
			Hofgraben	*nach Wegfall ARA Lustadt komplett trocken*					
			Michelsbach						
			Obere Queich		*Waldgewässer nördlich des Fuchsbaches*				
			Oberer Klingbach	*Quodbach bis ARA Insheim*	*Kaiserbach Heuchelheim bis Pfalzgrafenmühle*				
			Spiegelbach	*Brühlgraben*					
			Untere Queich						
			Unterer Klingbach						
			Wellbach						
			Salzbach						
			Obere Lauter						
			Heilbach	*Heilbach*	*im Prinzip alle Bienwaldgewässer: Wiebelsbach, Heßbach, Schmerbach, Aschbach, Saugraben, Gro+Klei Böhlgr.*				
			Untere Lauter		*Alte Lauter komplett*				
			Oberer Otterbach	*Dierbach ab Minfeld in Richtung Bruchbach*					
			Oberer Erlenbach						
			Unterer Erlenbach						
			Unterer Otterbach		*Hintergraben bei Kandel*				

LEGENDE:

- Finite Elemente Netz
- Stromlinie
- Randzustrom

Potentialrandbedingung

- Rhein
- abgeleitet aus Grundwasserganglinien und Grundwassergleichen

Leakage - Randbedingungen

- Gewässer
- Seen

RheinlandPfalz

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-7

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: FE-Netz und Modellrandbedingungen

Datei: 4804-043-1.dwg

Layout: AIII-7

Bearb.: Ven.

Gez.: See.

Datum: Juli 2010

Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

W

O

[mNN]

Rhein

100.00
80.00
60.00
40.00
20.00
00.00
-20.00
-40.00
-60.00
-80.00
-100.00
-120.00
-140.00
-160.00
-180.00

Zwischenscholle

Zwischenscholle

Grabenscholle

LEGENDE:

- Oberer Zwischenhorizont
- Zwischenhorizont 3
- Unterer Zwischenhorizont
- Tiefer Zwischenhorizont
- Oberer Grundwasserleiter
- Mittlerer Grundwasserleiter
- Unterer Grundwasserleiter

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-8

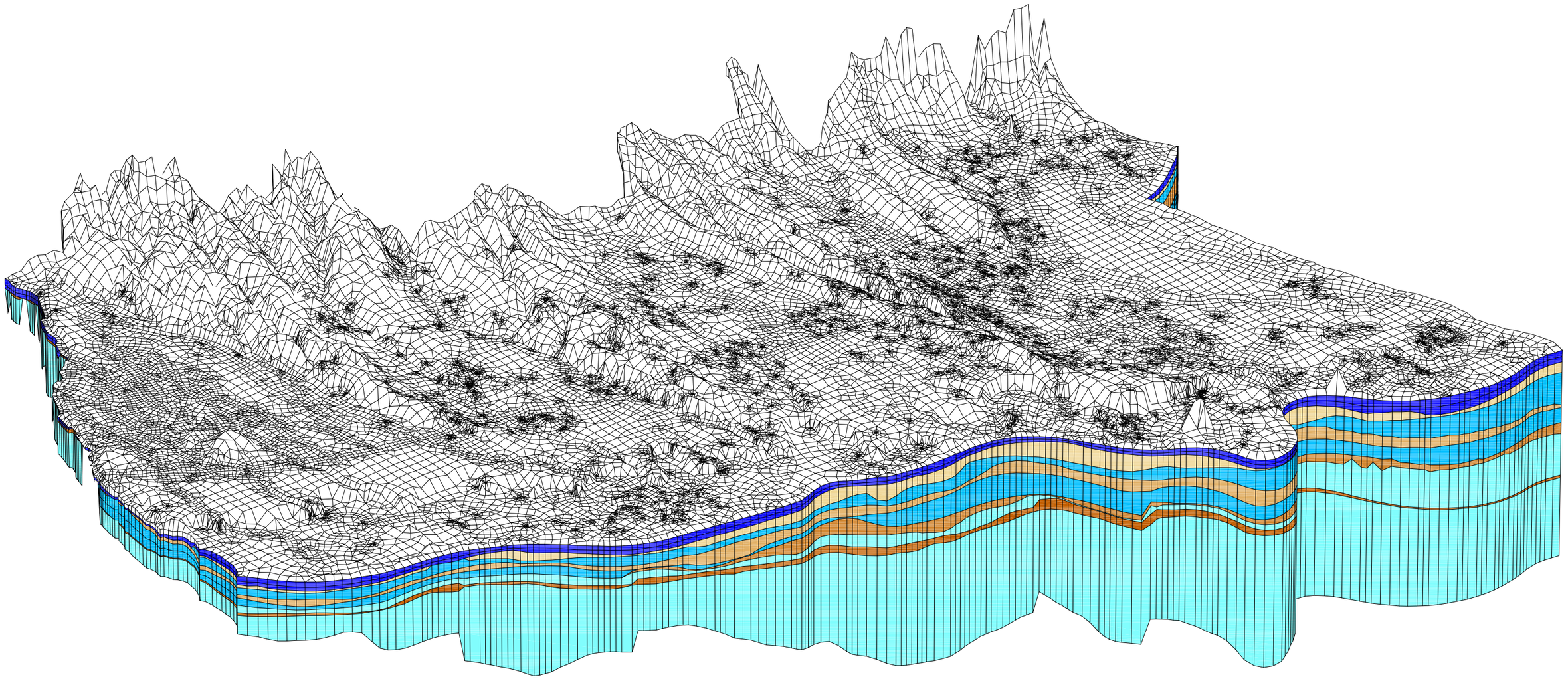
Projekt :
Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 50.000/2.500

Planbezeichnung:
Hydrogeologischer Querschnitt

Datei: 4804-066-1.dwg
Layout: Anlage AIII-8
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Sep. 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt



LEGENDE:

Trennhorizont:

- Oberer Zwischenhorizont
- Zwischenhorizont 3
- Unterer Zwischenhorizont
- Tiefer Zwischenhorizont
- Oberer Grundwasserleiter
- Mittlerer Grundwasserleiter
- Unterer Grundwasserleiter

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-9

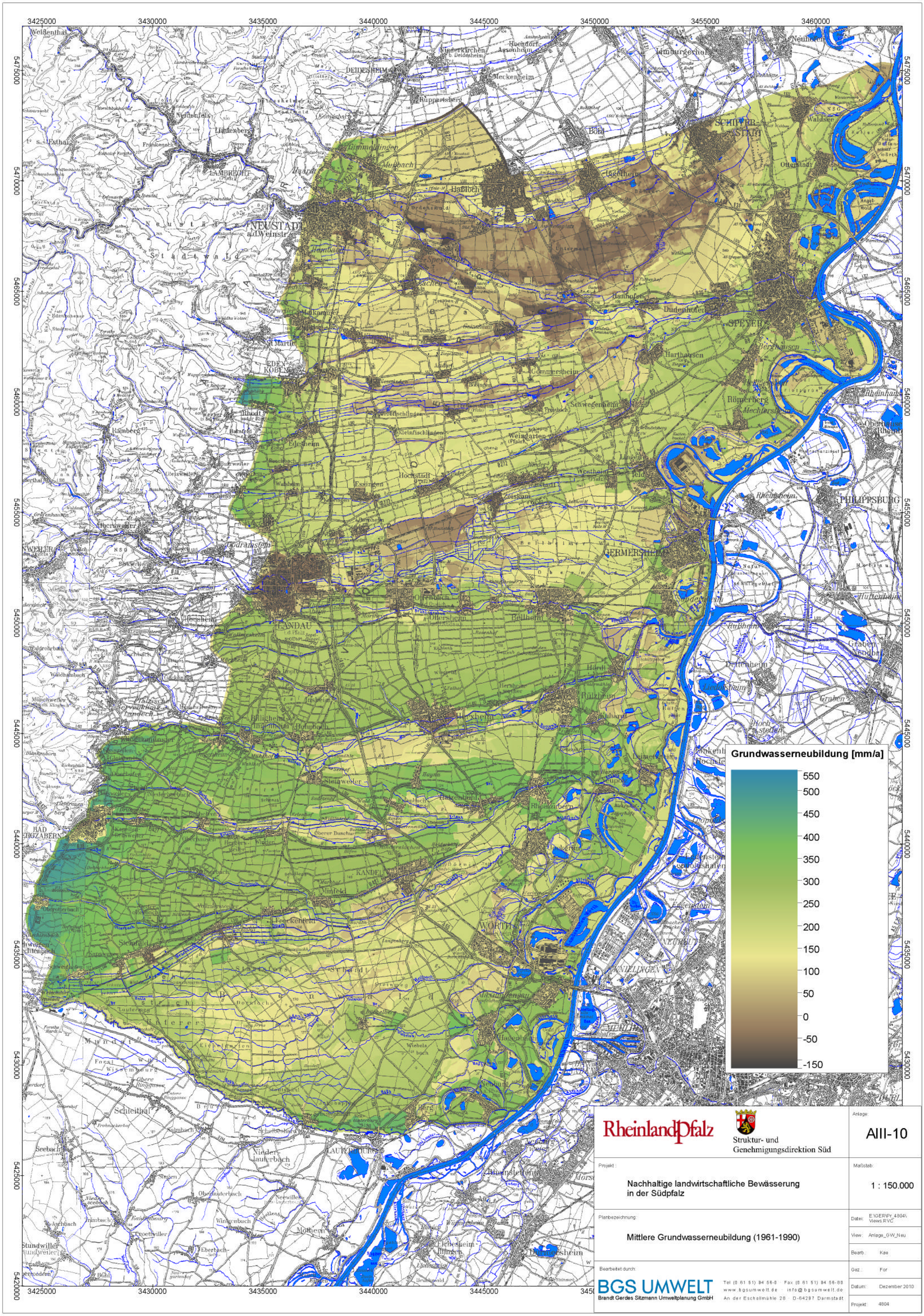
Projekt : Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: o.M.

Planbezeichnung: 3D Modell

Datei: 4804-067-1.dwg
Layout: AIII-9
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Sept. 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt



RheinlandPfalz

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-10

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1 : 150.000

Planbezeichnung: Mittlere Grundwasserneubildung (1961-1990)

Datei: E:\GER\Pr_4804\Views RVC

View: Anlage_GW_Neu

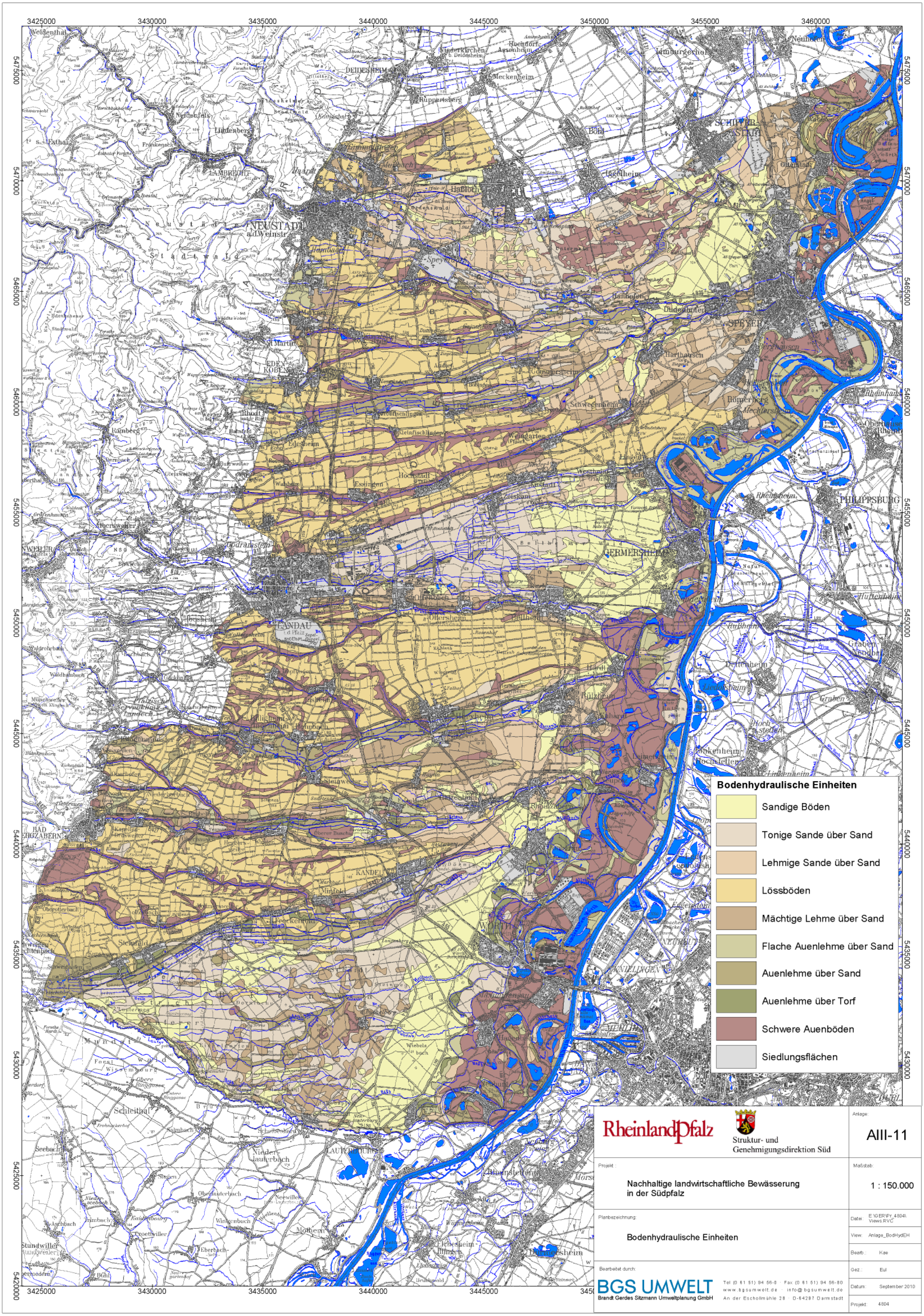
Bearb.: Kae

Gez.: For

Datum: Dezember 2010

Projekt: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 84 56-0 · Fax (0 61 51) 84 56-88
www.bgsumwelt.de · info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 · D-64297 Darmstadt



Bodenhydraulische Einheiten

- Sandige Böden
- Tonige Sande über Sand
- Lehmige Sande über Sand
- Lössböden
- Mächtige Lehme über Sand
- Flache Auenlehme über Sand
- Auenlehme über Sand
- Auenlehme über Torf
- Schwere Auenböden
- Siedlungsflächen

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-11

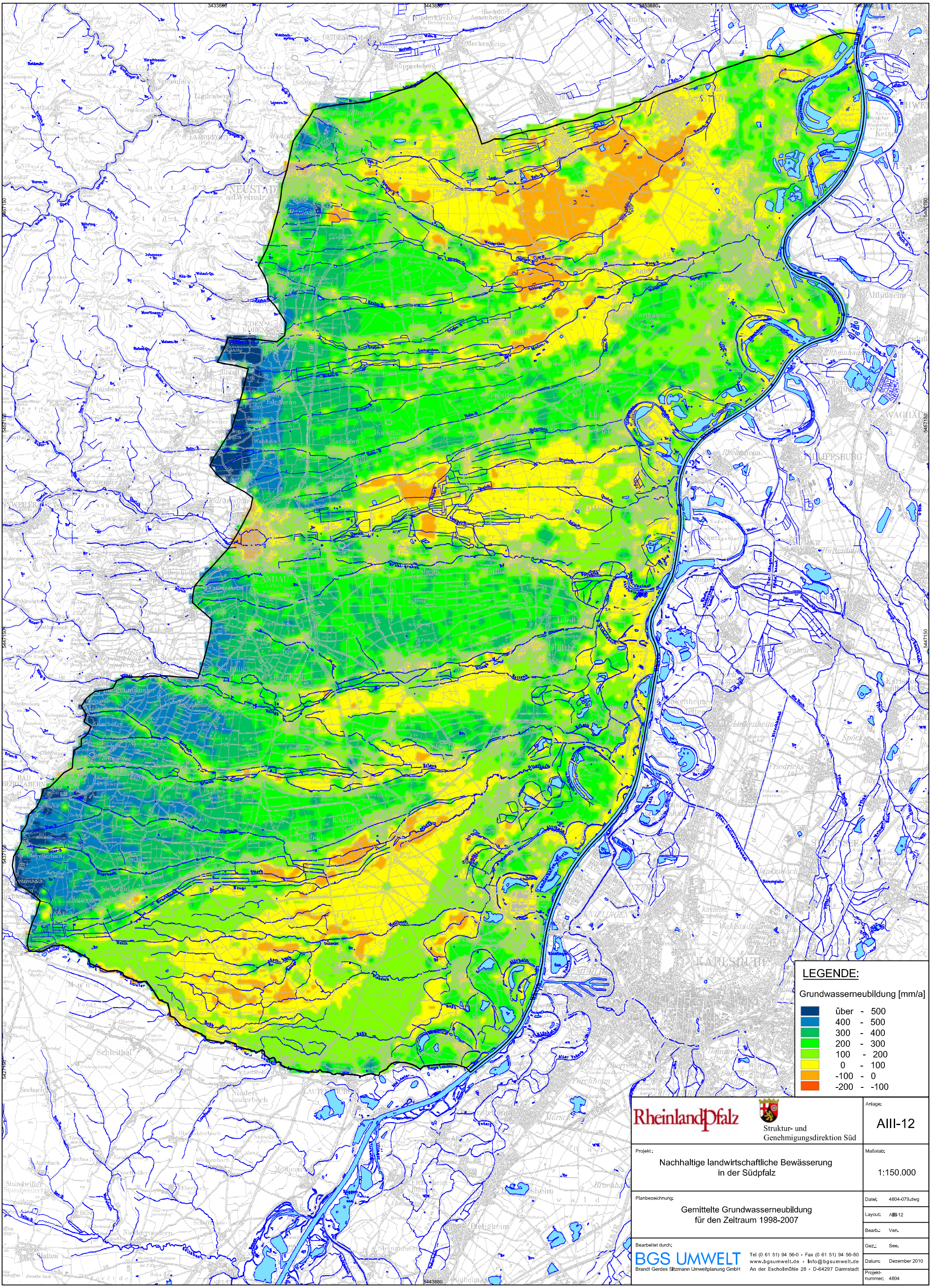
Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1 : 150.000

Planbezeichnung: Bodenhydraulische Einheiten

Datei: E:\GER\Pr_4804\Views.RVC
View: Anlage_BodHydEH
Bearb.: Kae
Gez.: Eul
Datum: September 2010
Projekt: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 · Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de · info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 · D-64287 Darmstadt



RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-12

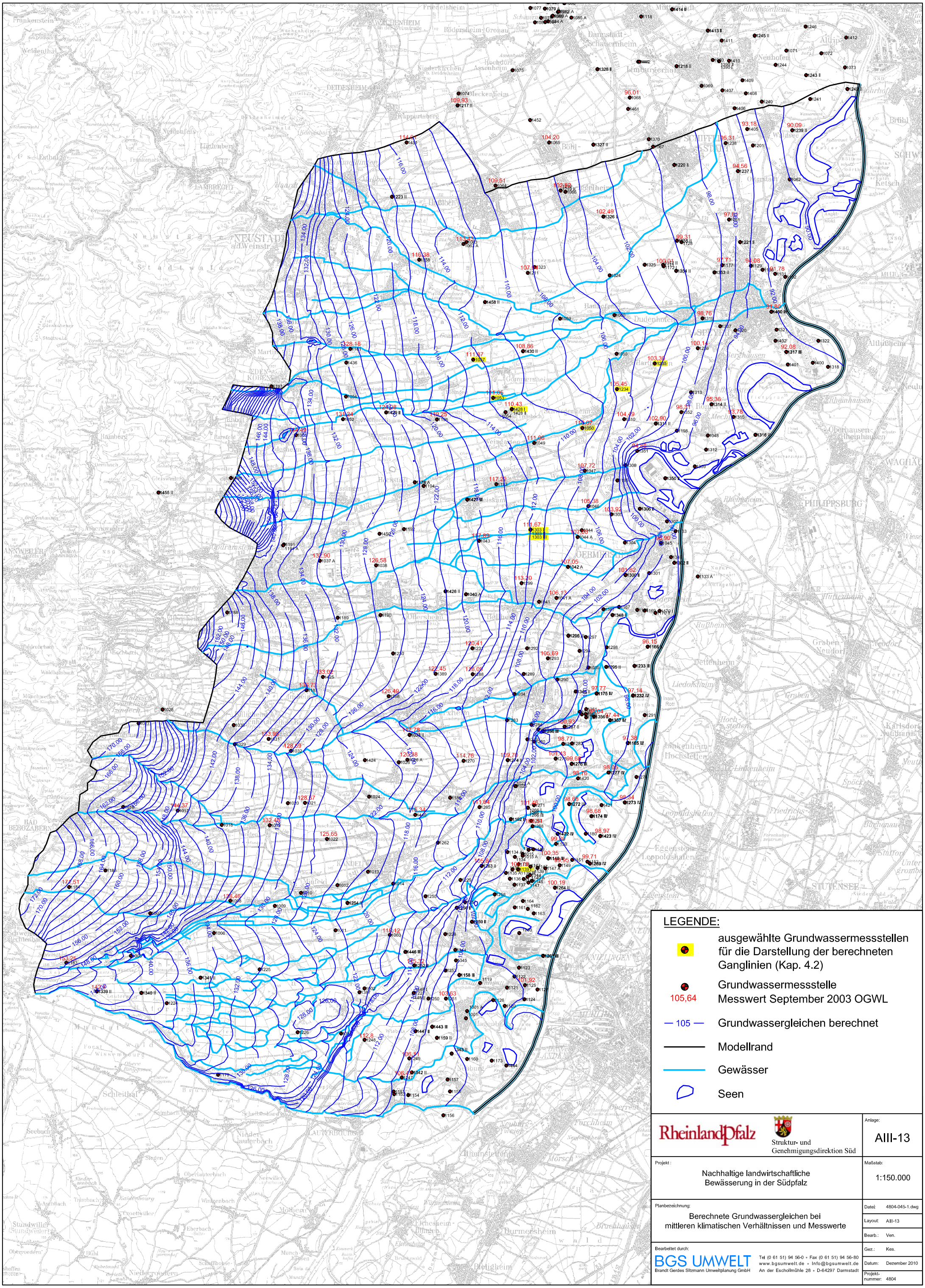
Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

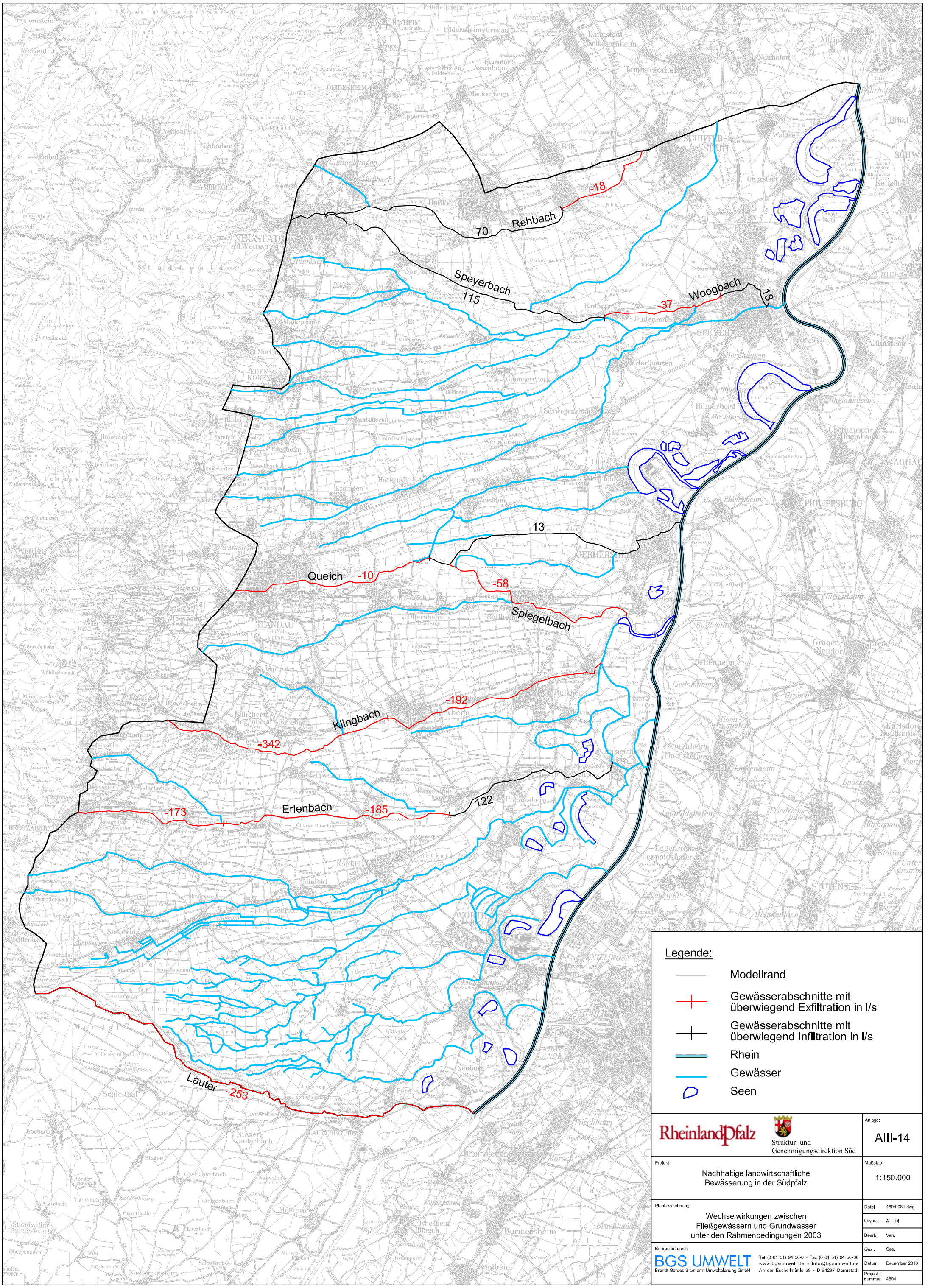
Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Gemittelte Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1998-2007

Datei: 4804-079.dwg
Layout: AIII-12
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Dezember 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt


LEGENDE:
ausgewählte Grundwassermessstellen für die Darstellung der berechneten Ganglinien (Kap. 4.2)
Grundwassermessstelle
105,64
Messwert September 2003 OGWL
— 105 —
Grundwassergleichen berechnet
Modellrand
Gewässer
Seen
RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Anlage:
AIII-13
Projekt :
Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz
Maßstab:
1:150.000
Planbezeichnung:
Berechnete Grundwassergleichen bei mittleren klimatischen Verhältnissen und Messwerte
Datei: 4804-045-1.dwg
Layout: AIII-13
Bearb.: Ven.
Gez.: Kes.
Datum: Dezember 2010
Projekt-nummer: 4804
Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt



Legende:

- Modellrand
- Gewässerabschnitte mit überwiegend Exfiltration in l/s
- Gewässerabschnitte mit überwiegend Infiltration in l/s
- Rhein
- Gewässer
- Seen

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-14

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und Grundwasser unter den Rahmenbedingungen 2003

Datei: 4804-081.dwg
Layout: AIII-14
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Dezember 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

LEGENDE:

Modellrand

K-Werte (m/s)

- $1 \cdot 10^{-4}$ - < $3 \cdot 10^{-4}$
- $3 \cdot 10^{-4}$ - < $5 \cdot 10^{-4}$
- $5 \cdot 10^{-4}$ - < $7 \cdot 10^{-4}$
- $7 \cdot 10^{-4}$ - < $9 \cdot 10^{-4}$
- $9 \cdot 10^{-4}$ - < $2 \cdot 10^{-3}$
- $2 \cdot 10^{-3}$ - < $4 \cdot 10^{-3}$
- $4 \cdot 10^{-3}$ - < $5 \cdot 10^{-3}$

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-15

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Kalibrierte Kf-Werte im oberen Grundwasserleiter

Datei: 4804-044-1.dwg
Layout: AIII-15
Bearb.: Ven.
Gez.: Kes.
Datum: Dezember 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt

Randabstrom
-4,87 Mio. m³/a

Randzustrom
5 Mio. m³/a

Randzustrom
2 Mio. m³/a

Grundwasserneubildung
192,38 Mio. m³/a

Randzustrom Rhein
15,45 Mio. m³/a

Randzustrom
1 Mio. m³/a

Infiltration Fließgewässer
61,47 Mio. m³/a

Exfiltration Fließgewässer
-151,84 Mio. m³/a

Randabstrom Rhein
-87,73 Mio. m³/a

GW Entnahme
-32,86 Mio. m³/a

Legende:

- Modellrand
- Randzufluss
- Rhein
- Gewässer
- Seen

RheinlandPfalz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd

Anlage: AIII-16

Projekt: Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz

Maßstab: 1:150.000

Planbezeichnung: Modellbilanz

Datei: 4804-042-1.dwg
Layout: AIII-16
Bearb.: Ven.
Gez.: See.
Datum: Dezember 2010
Projekt-nummer: 4804

Bearbeitet durch:
BGS UMWELT
Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80
www.bgsumwelt.de • Info@bgsumwelt.de
An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt