

-Dokumentation Grundwassermodell Untermain-

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	4
2	Untersuchungsgebiet	5
2.1	Klimatische Verhältnisse	5
2.2	Geologie	5
2.3	Hydrogeologie	8
3	Aufbau des Grundwassermodells	10
3.1	Flächenhafte Grundwasserneubildung	11
3.2	Oberflächengewässer	12
3.3	Randzuströme	14
4	Modellkalibrierung	15
4.1	Entnahmen 1997	15
4.2	Variation der Modellparameter	17
4.3	Modellbilanz	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gersprenzwasserstände (Potentialhöhen) an ausgewählten Stellen	13
Tabelle 2:	Im Modell implementierte Grundwasserförderung aus Brunnen 1997 [Mio. m³/a]	16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Langjährige Grundwasserstandsganglinien Messstellen des ZWO	ausgewählter 8
--------------	--	-------------------

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lageplan Modellgebiet mit Brunnen und Grundwassermessstellen	1 : 75.000
Anlage 2	Verbreitung der Tonschichten	1 : 75.000
Anlage 3	Aquiferbasis	1 : 75.000
Anlage 4	Konstruierte Grundwassergleichen Oktober 1997	1 : 75.000
Anlage 5	Modellrandbedingungen und Finite-Elemente-Netz	1 : 75.000
Anlage 6	Mittlere Grundwasserneubildung [mm/a]	1 : 75.000
Anlage 7	Berechnete Grundwassergleichen und Messwerte für Oktober 1997 im Hauptgrundwasserleiter	1 : 75.000
Anlage 8	Kalibrierte k_f -Werte im Hauptgrundwasserleiter	1 : 75.000
Anlage 9	Modellbilanz	1 : 75.000

1 Vorbemerkung

Das Gebiet des nachfolgend dokumentierten Grundwassermodells deckt links des Mains den wasserwirtschaftlich relevanten Teil des hessischen Untermaingebietes und die angrenzenden bayerischen Flächen ab. Das Modell ist für die Bearbeitung von Fragestellungen zur regionalen Grundwasserbewirtschaftung konzipiert.

Der Planungsraum wird wegen der günstigen geohydraulischen Eigenschaften des Lockergesteins intensiv zur öffentlichen Wasserversorgung genutzt. Die Gewinnungen des ZWO als größten Wasserversorger der Region liegen innerhalb des Modellgebietes. Ein zweiter bedeutender Wasserversorger im Modellgebiet ist der ZVG Dieburg. Darüber hinaus hat der Raum eine hervorgehobene Funktion für die lokale und regionale Versorgung (Rhein-Main-Gebiet) mit mineralischen Rohstoffen.

Das nachfolgend dokumentierte Grundwassermodell wurde mit dem Softwarepaket Spring® der Ingenieurgesellschaft delta h GmbH in Dortmund 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 befindet sich in der tektonischen Einheit des Hanauer Beckens, welches im Osten durch den Spessart, im Süden durch den Odenwald und im Westen durch den Sprendlinger Horst eingegrenzt wird. **Anlage 1** zeigt einen Lageplan des Modellgebietes mit den darin vorhandenen Brunnen und Grundwassermessstellen.

2.1 Klimatische Verhältnisse

Das Klima im Bereich des Modellgebietes ist dem Klimabezirk Rhein-Main-Gebiet zuzurechnen, welcher dem größeren Klimaraum Südwest-Deutschland untergeordnet ist. Im Vergleich zum übrigen Hessen zeichnet sich der Klimaraum durch warme Sommer und milde Winter aus.

Repräsentative Stationen sind die in der Untermainebene gelegenen Niederschlagsstationen Dudenhofen des HLUG, Mainhausen-Zellhausen und Harreshausen des DWD¹. Die mittlere Niederschlagshöhe in Dudenhofen (1971-1990) beträgt 630 mm, in Mainhausen-Zellhausen (1961 - 1990) 687 mm und in Harreshausen (1987 - 2004) 676 mm.

Für die Grundwasserneubildung sind vor allem die Winterniederschläge entscheidend, da die Sommerniederschläge größtenteils direkt oder indirekt über die Pflanzen verdunsten oder untergeordnet bei sommerlichen Starkregenereignissen oberflächlich abfließen. Die Niederschläge im Winterhalbjahr liegen im langjährigen Mittel etwas unter den Niederschlägen im Sommerhalbjahr.

Die mittlere potentielle Grasreferenz-Verdunstung (Haude-Verdunstung) liegt im langjährigen Mittel im Untersuchungsgebiet geringfügig über 650 mm. Als Messdaten von DWD-Klimastationen sind die Daten von Schaafheim-Schlierbach und Frankfurt/Flughafen verfügbar. Die langjährige mittlere Grasreferenz-Verdunstung (Haude) liegt in Frankfurt/Flughafen bei 670 mm (Zeitraum 1967-2002).

2.2 Geologie

Der Grundwasserleiter besteht aus pliozänen und pleistozänen Lockergesteinen, die im Süden und Osten den Metamorphiten des Vorspessarts bzw. des Böllsteiner Odenwaldes, lokal auch dem Unteren Buntsandstein auflagern.

Die pleistozänen Lockergesteine sind in erster Linie Terrassenablagerungen des Mains, der im Altpleistozän bis tief in die Gersprenzbucht hineinreichte. Als Folge der Verlagerung des Mains nach Osten wurden die Mainablagerungen durch die Odenwaldbäche zum Teil ausgeräumt und umgelagert, so dass eine starke Verzahnung der Main- und Odenwaldbachablagerungen eingetreten ist. Eine Unterscheidung der pleistozänen und pliozänen Sedimente ist nicht immer eindeutig. In der Regel ist das Pliozen feinkörniger ausgebildet. Für die Grundwasserhydraulik ist

¹ Die Niederschlagsstationen Dudenhofen und Harreshausen wurden zwischenzeitlich vom HLUG bzw. DWD aufge-

die Verbreitung von feinkörnigen Trennschichten entscheidend, die den pleistozänen/pliozänen Grundwasserleiter in einzelne Stockwerke untergliedern können.

Die Sedimentation der Hanau-Seligenstädter Senke begann im Pliozän mit der fluviatilen Verfüllung (Lang, 2007). Die Untersuchungen von Lang zeigen, dass in der Hanau-Seligenstädter Senke die Sedimente in einen pliozänen und einen unter- bis mittelpleistozänen Abnahme-Anstiegs-Zyklus der A/S-Rate (A: für die Sedimentation verfügbarer Akkommodationsraum, S: Sedimentzufuhr) sowie eine seit dem Mittelpleistozän andauernde A/S-Abnahme gliederbar sind. Eine Abnahme der A/S-Rate führt zu einer relativen Anreicherung grobkörniger Flussbett-Ablagerungen, während ein Anwachsen der A/S-Rate ein höheres Erhaltungspotenzial feinkörniger Sedimente der Überflutungsebenen zur Folge hat. In Sedimentabfolgen sind Abnahme-Anstiegs-Zyklen der A/S-Rate deshalb durch kontinuierliche Übergänge von Sanden und Kiesen an der Basis zu überwiegend tonig-schluffigen Sedimenten in höheren Profilabschnitten dokumentiert (Lang, 2007).

Im Rahmen einer detaillierten hydrogeologischen Systemanalyse wurden die für das Untersuchungsgebiet vorhandenen Bohrprofile ausgewertet. Auf Grundlage der Bohrprofile wurde der Untergrund für die detaillierte Implementierung in das dreidimensionale Grundwassermodell in hydrostratigraphische Einheiten untergliedert und hydrogeologisch systematisiert. Hierbei wurde besonders beachtet, inwieweit die Aufschlüsse die Durchgängigkeit hydraulischer Trennschichten belegen. Die Verbreitung der flächenhaft korrelierten Tonschichten ist in **Anlage 2** dargestellt.

Anlage 2 zeigt im zentralen Modellbereich nördlich der Gersprenz eine weiträumig verbreitete Tonschicht, die in der hydrogeologischen Gliederung (folgende Seite) als Unterer Ton bezeichnet wird. Sie verläuft in einer Höhe von 85 bis 110 müNN und stellt eine hydraulisch wirksame Trennschicht zwischen dem 1. Grundwasserleiter (oberhalb des Unteren Tons) und dem 2. Grundwasserleiter (unterhalb des Unteren Tons) dar.

Sowohl die meisten Brunnen des ZWO als auch die Brunnen des ZVG Dieburg sind ausschließlich im 1. Grundwasserleiter, der im Folgenden auch als Hauptgrundwasserleiter bezeichnet wird, verfiltert. Unterhalb des Unteren Tons sind die tiefen Filterstrecken der Brunnen der Gewinnung Seligenstadt angeordnet. Die geplante Gewinnung Zellhausener Wald soll ausschließlich das Grundwasser des 2. Grundwasserleiters nutzen.

Die Auswertung zahlreicher Bohrprofile zeigt die Verbreitung von flächenhaft ausgebildeten Deckschichten (siehe Anlage 2). Auf der oberflächennahen bindigen Deckschicht ist teilweise ein schwebender Grundwasserleiter von geringer Mächtigkeit ausgebildet, der mit dem Hauptgrundwasserstockwerk nicht in Verbindung steht.

Im Bereich der Brunnen I – VIII des ZVG Dieburg ist flächendeckend eine oberflächennahe bindige Deckschicht von bis zu 10 m Mächtigkeit ausgebildet. Südöstlich der Gersprenz (ab Brunnen IX) keilt diese Deckschicht aus, so dass hier eine Wechselwirkung zwischen Vorfluter und

Grundwasser möglich ist. Nach Norden keilt die Deckschicht im Bereich Nieder-Roden aus, wodurch ebenfalls Wechselwirkungen zwischen der Rodau und dem Hauptgrundwasserleiter möglich sind. Westlich von Nieder-Roden bei Rollwald ist die Interaktion zwischen der Rodau und dem Grundwasser aufgrund der oberflächennahen, bindigen Deckschicht dagegen stark eingeschränkt. Oberflächennahe Deckschichten mit größerer flächenhafter Ausdehnung stehen ebenfalls im Bereich der Gewinnungen Lange Schneise Nord, Seligenstadt, Jügesheim und Martinsee an.

Die Auswertung von Bohrprofilen hat weiterhin ergeben, dass im südwestlichen Modellgebiet, der Dieburger Bucht, eine stockwerkstrennende Tonschicht ausgebildet ist, die den Hauptgrundwasserleiter in einen oberen und einen unteren Hauptgrundwasserleiter unterteilt. Die aus den Bohrprofilen korrelierte Verbreitung der stockwerkstrennenden Tonschicht ab einer Mindestmächtigkeit von rd. 50 cm ist in Anlage 2 dargestellt. Diese Trennschicht keilt nördlich bzw. nordöstlich der Brunnengalerie des ZVG Dieburg aus. Im unteren Hauptgrundwasserleiter unterhalb der Trennschicht liegen in weiten Bereichen gespannte Verhältnisse vor.

Ein Vergleich der Anlage 2 mit **Anlage 3** (Verlauf der Aquiferbasis) zeigt, dass der Untere Ton nördlich der Gersprenz bzw. nördlich der Brunnen „Lange Schneise Ost“ bis unmittelbar an die aufsteigende Aquiferbasis heranstößt und durch diese begrenzt wird. Der 2. Grundwasserleiter ist somit, entsprechend der Verbreitung des Unteren Tons, zwar sehr weiträumig, jedoch nicht vollständig flächendeckend im Modell- bzw. Untersuchungsgebiet vorhanden. Im Bereich der Gewinnung Zellhausener Wald wird der 2. Grundwasserleiter durch den Tiefen Zwischenhorizont in zwei Stockwerke untergliedert.

Anhand der Anlage 3 ist zu erkennen, dass die Basis im zentralen Modellbereich bei ca. 50 müNN liegt und insbesondere zum Stockstädter Kristallinaufstoß im Osten, zum Spremlinger Horst im Westen sowie zum Kristallinen Odenwald im Süden auf ca. 110 müNN hin ansteigt. Im zentralen Modellbereich, in dem auch ein 2. Grundwasserleiter vorhanden ist, wurde über weite Bereiche die Basis des Pliozäns (Lang, 2007) als Modellbasis angesetzt, während in den übrigen Modellbereichen tertiäre Tone und Schluffe oder das Kristallin (im Bereich des Brunnens XVIII des ZVG Dieburg in der Schaafheimer Senke) die Basis des Hauptgrundwasserleiters bilden.

Im Modellgebiet sind insgesamt 4 flächenhaft hydraulisch wirksame Trennschichten zu unterscheiden (Anlage 2). Daraus ergibt sich folgende hydrogeologische Gliederung:

- schwebender Grundwasserleiter,
- Deckschicht oder Oberer Ton,
- 1. Grundwasserleiter oben,
- Trennschicht,
- 1. Grundwasserleiter unten,
- Unterer Ton,

- 2. Grundwasserleiter oben,
- Tiefer Zwischenhorizont,
- 2. Grundwasserleiter unten,
- Aquiferbasis (Festgestein sowie pliozäne, miozäne und untergeordnet oligozäne Sedimente).

2.3 Hydrogeologie

In den 1970er Jahren sind die Grundwasserstände durch die Intensivierung der Grundwasserförderung deutlich abgesunken (Abb. 1). Dieses Sinken wird witterungsbedingt Anfang der 1980er Jahre unterbrochen. Die Tiefststände des Grundwassers werden in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes Anfang der 1990er Jahre erreicht. In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre werden für das förderbedingte neue Niveau mittlere Grundwasserstände beobachtet. Im Jahr 2000 setzt eine Folge von Nassjahren ein, die zu einem signifikanten Grundwasseranstieg führt, der in 2003 seinen Höhepunkt findet. Die Grundwasserhochstände in 2003 sind die höchsten Grundwasserstände, die in den vergangenen 30 Jahren gemessen wurden. Die Winterniederschläge in 2003 und vor allem in 2004 waren gering, so dass die Grundwasserstände mangels Grundwasserneubildung nach dem Überschreiten des Höchststandes in 2003 bis zum Ende des Jahres 2004 rückläufig sind und sich seitdem unterschiedlich rasch wieder einem mittleren Niveau annähern.

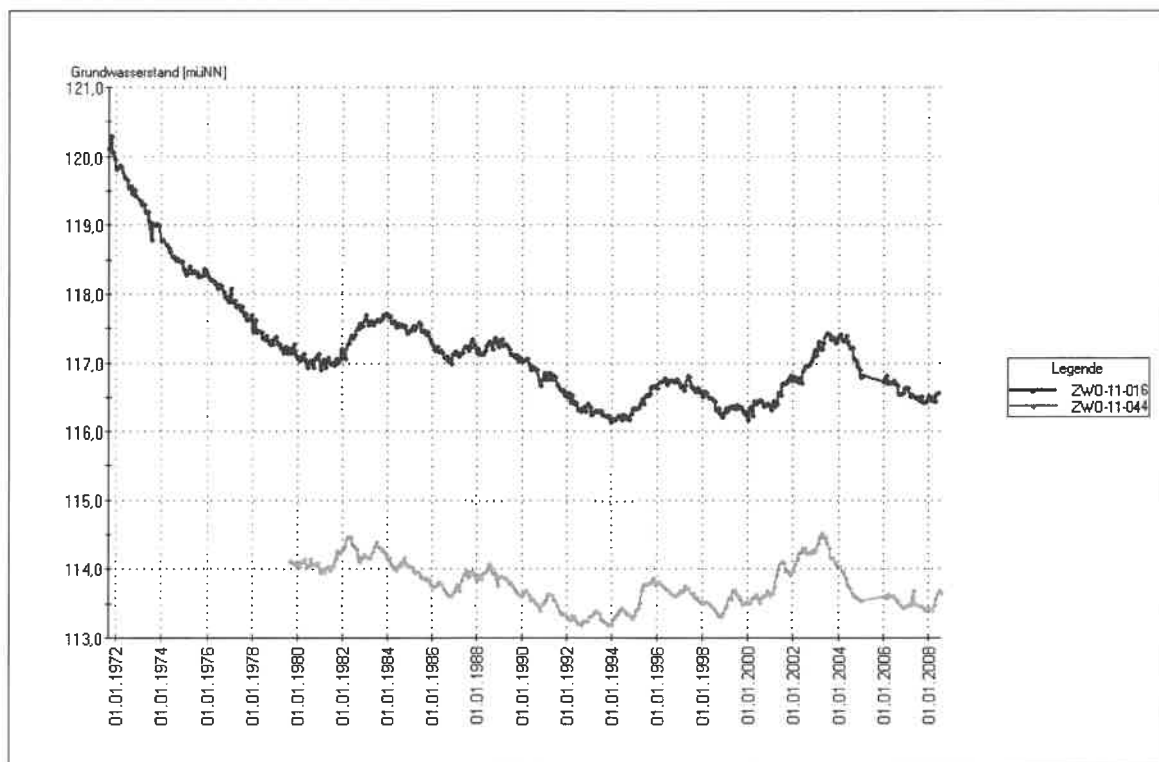


Abbildung 1: Langjährige Grundwasserstandsganglinien ausgewählter Messstellen des ZWO

Anlage 4 zeigt einen Grundwassergleichenplan des Hauptgrundwasserleiters für Oktober 1997. Dieser entspricht weitgehend mittleren klimatischen Verhältnissen. Der durch stauende Deckschichten bereichsweise verbreitete obere, schwebende Grundwasserspiegel ist nicht dargestellt. Im Untersuchungsgebiet ist der Main als Hauptvorfluter für die regionale Grundwasserströmung bestimmend. Die Grundwasserfließrichtung verläuft in weiten Teilen des Modellgebietes in nordöstliche Richtung. Das Gewässernetz ist auf den Main hin ausgerichtet, wobei die bedeutendsten Fließgewässer im Untersuchungsgebiet die Rodau und die Gersprenz sind. Im Bereich nördlich von Nieder-Roden ist deutlich der Infiltrationseinfluss der Rodau zu erkennen. In diesem Bereich sind die oberflächennahen Deckschichten nicht mehr vorhanden, so dass ein direkter Zustrom in den Grundwasserleiter möglich ist. Insbesondere im Nordwesten, im Bereich der Wasserwerke Jügesheim, Martinsee und Hintermark ist der Einfluss der Grundwasserentnahmen auf das Strömungsbild deutlich zu erkennen, während weiter westlich, im Bereich der Gewinnungsanlage Lange Schneise, eine weitgehend parallele Anströmung der Förderbrunnen stattfindet. Kennzeichnend für den Einfluss der Grundwasserentnahmen auf das Strömungsbild im Westen ist der Versprung der 121 müNN-Linie in Richtung der Brunnen I –V des ZVG Dieburg.

3 Aufbau des Grundwassersmodells

Für eine adäquate Bearbeitung der grundwasserhydraulischen Fragestellungen ist wegen der komplexen hydrogeologischen Situation im Bereich der Brunnen und der intensiven Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser der Aufbau eines dreidimensionalen Modells erforderlich.

Die Modellstruktur resultiert primär aus der hydrogeologischen Situation, dem Verlauf der Oberflächengewässer und der Lage der Brunnen maßgeblicher Entnehmer. Der Raum des Grundwassersmodells umfasst sämtliche Gewinnungsanlagen des ZWO sowie alle Gewinnungsanlagen des ZVG Dieburg (inkl. Schaafheimer Senke). **Anlage 5** zeigt den Verlauf der Modellgrenzen, die im Modellgebiet vorhandenen Brunnen sowie die Modellrandbedingungen.

Die westliche Modellgrenze verläuft entlang einer Störung, die als Grenze des plio-/pleistozänen Grundwasserleiters angesehen wird (Geologisch-hydrologisches Modell für das nördliche Dieburger Becken, HLfB, 1997). Zwischen dieser Störung und dem etwas weiter westlich angrenzenden Rotliegenden des Sprendlinger Horst befindet sich ein Übergangsbereich in dem tonig-schluffig ausgebildete pliozäne Ablagerungen anstehen oder unter einer nur geringmächtigen quartären Bedeckung auftreten.

Die nördliche Modellgrenze orientiert sich an der Mühlheimer Scholle, deren tertiäre Schichten lokal nur von geringmächtigen Sedimenten überlagert werden, die wasserwirtschaftlich unbedeutend sind. Der nördliche Modellrand verläuft entlang einer Stromlinie.

Im Osten bildet im nördlichen Bereich der Main die Grenze des Modellgebietes. Im Bereich Stockstadt grenzt der Grundwasserleiter an den Stockstädter Kristallinaufbruch. Das Modellgebiet erstreckt sich daher nicht bis an den Main, sondern verläuft nördlich der Gersprenz zunächst entlang der Festgesteinsgrenze und weiter entlang einer Stromlinie bis zum Main. Das südöstliche Modellgebiet umfasst die sogenannte Schaafheimer Senke.

Anlage 5 zeigt ebenfalls das Finite-Elemente Netz. Die Netzstruktur orientiert sich am Verlauf der im Modell implementierten Oberflächengewässer und an der Lage der berücksichtigten Brunnen. Die im Modell implementierten Entnahmeknoten entsprechen der tatsächlichen Lage der Brunnen. Im Bereich maßgeblicher Entnehmer, z.B. der Brunnengalerien der Wasserwerke, wurde das Netz lokal logarithmisch verfeinert, um die dort auftretenden steilen hydraulischen Gradienten adäquat abbilden zu können. Der Knotenabstand beträgt daher im Nahbereich der Brunnen weniger als 1 m und in den übrigen Bereichen bis zu 250 m. Das Netz umfasst ca. 16.800 Knoten und rund 19.500 Elemente.

Zur Umsetzung der ausgewerteten Bohrprofile in ein dreidimensionales, hydrogeologisches System wurde auf Lageplänen zu den Bohrungen die Oberkante und die Mächtigkeit der hydraulisch wirksamen Trennschichten eingetragen. Die einzelnen Punkte wurden in das FE-Netz des Grundwassersmodells übertragen. Daraus wurde die Oberkante und die Mächtigkeit der Deck- und der Trennschicht interpoliert. Die verschiedenen Elementebenen entsprechen dabei Schichten einheitlicher geohydraulischer Eigenschaften (Grundwasserleiter bzw. Trennschicht).

ten). Wo keine Trennschicht auskartiert wurde, fallen im Modell die Knotenschichten für die Ober- und Unterkante der Trennschicht zusammen. Insgesamt ist das FE-Netz des Grundwassermodells vertikal aus 9 Element- und 10 Knotenschichten aufgebaut. Die oberste Elementschicht entspricht in großen Teilbereichen in etwa der ungesättigten Zone. In Bereichen mit Deckschicht bzw. oberem Ton stellt die oberste Elementschicht den hängenden Grundwasserleiter dar. Die zweite Elementschicht beschreibt die Deckschicht bzw. den Oberen Ton und die vierte Elementschicht beschreibt die Trennschicht im südwestlichen Bereich des Modellgebietes. In der Dieburger Bucht stellt die dritte Elementschicht demnach den oberen Hauptgrundwasserleiter und die fünfte Elementschicht den unteren Hauptgrundwasserleiter dar. In den Modellbereichen, in denen keine Trennschicht vorhanden ist, fallen die vierte und fünfte Knotenschicht zusammen, so dass ausschließlich die dritte und fünfte Elementschicht den Hauptgrundwasserleiter abbilden. Die sechste Elementschicht entspricht dem Unteren Ton und bildet somit die Grenze zwischen dem Hauptgrundwasserleiter und dem 2. Grundwasserleiter. Die achte Elementschicht stellt den Tiefen Zwischenhorizont dar. Demnach beschreibt die siebte Elementschicht den oberen und die neunte Elementschicht den unteren 2. Grundwasserleiter.

3.1 Flächenhafte Grundwasserneubildung

Die mittlere flächenhafte Grundwasserneubildung wurde unter Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Beregnung nach dem Verfahren von Renger/Wessolek berechnet. 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). Folgende Gleichungen wurden verwendet:

Ackernutzung

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

Grünland

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

Wald

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

Siedlung

$$G_{neu} = 1/3 \text{ „Grünland“}$$

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]

Die Daten des Niederschlags wurden von der Station Babenhausen-Harreshausen (s. Kap. 2.1) übernommen. Die Daten der potentiellen Evapotranspiration nach Haude wurden vom DWD für die Klimastation Schaafheim zur Verfügung gestellt. Der mittlere Winterniederschlag beträgt 330 mm/a und der mittlere Sommerniederschlag 363 mm/a. Die mittlere potentielle Verdunstung nach Haude wurde mit 655 mm/a in den Berechnungen angesetzt.

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 Bodenflächenkarte (1:50.000) des HLUG. Der digitalen Bodenflächenkarte sind Kennwerttabellen für die Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität beigelegt. Diese Bodenklassifizierung wurde GIS-gestützt mit den Nutzungsklassen verschnitten und daraus die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK-We) berechnet. In vergleichbarer Weise wurde die nFK-We auf bayerischem Gebiet auf der Grundlage der Konzeptbodenkarte von Bayern (Maßstab 1:25.000) ermittelt.

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).

Die Grundwasserneubildung offener Wasserflächen wird mit der klimatischen Wasserbilanz approximiert.

Die für mittlere klimatische Verhältnisse ermittelte Grundwasserneubildung ist in **Anlage 6** dargestellt und beträgt im gesamten Modellgebiet 52,1 Mio. m³/a. Bei einer Gesamtfläche von rund 297 km² ergibt sich eine mittlere Grundwasserneubildung von 175 mm/a.

3.2 Oberflächengewässer

Bei der Implementierung der Oberflächengewässer in das Modell wurden die Sohlhöhen und Wasserspiegellagenberechnungen der Rodau, Gersprenz und Lache berücksichtigt. Die Wechselwirkungen zwischen Vorfluter und Grundwasser erfolgen im Wesentlichen durch Infiltration von Oberflächenwasser 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. Die Rodau und die Gersprenz stellen aufgrund ihrer Abflüsse die wichtigsten Oberflächengewässer im Modellgebiet dar.

Anhand des Strömungsbildes bzw. der Grundwassergleichen ist zu erkennen, dass die Rodau die Grundwasserstände im nördlichen sowie im nordwestlichen Untersuchungsraum maßgeblich beeinflusst. Sie stellt den Hauptvorfluter für die Fließgewässer in diesem Bereich dar. Aus

Abflussmessungen, die in ERM, 2002 aufgeführt und ausgewertet sind, geht hervor, dass die Rodau auf dem ca. 9 km langen Abschnitt zwischen dem westlichen Modellrand (bei Rollwald) und Hainhausen ca. 80 bis 100 l/s in das Grundwasser infiltriert. In etwa ab Höhe Hainhausen bis zum nördlichen Modellrand fungiert sie dagegen als Vorfluter. Die Wasserstände der Rodau wurden anhand von Sohlhöhen abgeschätzt.

Die Gersprenz determiniert den Grundwasserstand im östlichen Modellgebiet. Unterhalb der Lachemündung korrelieren die gewässernahen Grundwasserstände eng mit den Wasserständen in der Gersprenz (BGS UMWELT 1996). Oberhalb der Lachemündung sind die Wechselwirkungen mit der Lache zusätzlich zu berücksichtigen. Es ist aus früheren Untersuchungen bekannt, dass im Stadtgebiet von Babenhausen die Lache stark infiltriert, die Gersprenz abschnittsweise ex- und infiltriert. Aufgrund der wenigen Messstellen in diesem Bereich können die Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächengewässer jedoch nur mit gewissen Unsicherheiten quantifiziert werden.

Die Gersprenzwasserstände wurden aus den Wasserständen an den Gersprenzpegeln 0, 1 und 4 sowie aus der Spiegellinienberechnung für den Ausbauabschnitt zur Niedrigwasseraufhöhung abgeleitet. Die Wasserstände bei mittlerer Niedrigwasseraufhöhung (MNQ = 1,0 m³/s) mit und ohne Niedrigwasseraufhöhung sind für markante Stellen in Tabelle 1 aufgeführt. Die Lage der Pegel und Schwellen ist in Anlage 1 dargestellt.

Tabelle 1: Gersprenzwasserstände (Potentialhöhen) an ausgewählten Stellen

		Gersprenzwasserstände bei MNQ [müNN]	
		mit Sohlschwellen	ohne Sohlschwellen
Pegel G0		110,80	110,80
Pegel G1		113,00	113,00
Schwelle 1	unterhalb	114,75	114,69
	oberhalb	115,27	114,69
Schwelle 2	unterhalb	115,52	115,50
	oberhalb	116,05	115,50
Schwelle 3	unterhalb	116,24	116,14
	oberhalb	116,93	116,14
Lachemündung		117,14	117,12
Pegel G4		120,35	120,35

3.3 Randzuströme

Die Randzuströme aus dem geringdurchlässigen Festgestein am südlichen, westlichen und östlichen Modellrand können in ihrer Größenordnung über das Einzugsgebiet der Gewässer, die in das Modellgebiet fließen, abgeschätzt werden. Diese versickern im Bereich der festgesteinsnahen Modellränder mit Ausnahme von Starkniederschlagsperioden vollständig. Zusätzlich strömt im Festgestein versickertes Niederschlagswasser direkt dem Aquifer im Modellgebiet zu. Die mittlere Grundwasserneubildung im Böllsteiner Odenwald und dem Stockstädter Kristallinaufbruch wird mit $7,5 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ angegeben (Bayer. Geologisches Landesamt 1971). Der Zufluss aus dem Festgestein im Bereich des westlichen Modellrandes beträgt ca. $4,0 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$. Die Zuflüsse wurden über die einzelnen Randabschnitte als zeitlich konstant angenommen und im Zuge der Modellkalibrierung leicht angepasst.

4 Modellkalibrierung

Wesentliche Vorbedingung für eine sinnvolle stationäre Kalibrierung ist die Wahl eines möglichst stationären, langjährig mittleren Verhältnissen entsprechenden Bezugszeitpunktes. Zeitpunkte, die kurz (d.h. im regionalen Maßstab wenige Jahre) nach Beginn einschneidender Bewirtschaftungsmaßnahmen wie wesentlicher Änderungen von Fördermengen liegen oder witterungsbedingten Nass- oder Trockenperioden liegen, sind nicht geeignet, da die gemessene Grundwasseroberfläche dabei einen instationären Zustand repräsentiert, dessen Nachbildung in einem stationären Modell zu Fehlern in der Kalibrierung führen muss.

Für die Ableitung eines repräsentativen Kalibrierzeitpunktes wurden Gangliniendaten ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass für weite Bereiche des Modellgebiets im Oktober 1997 mittlere Verhältnisse vorlagen.

4.1 Entnahmen 1997

Neben den Brunnen zur Trinkwasserversorgung werden in den Modellrechnungen die Brunnen der Beregnungsverbände Babenhausen und Harreshausen sowie private Brunnen, deren Wasserrecht mindestens 50.000 m³/a beträgt, erfasst. Die für den Kalibrierzustand 1997 im Modell berücksichtigten Entnahmemengen sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Aufgrund der besonders intensiven Auskiesung im Untersuchungsgebiet wird diese in den Modellrechnungen besonders berücksichtigt. Die laufende Kiesentnahme ist mit einem Zustrom von Grundwasser verbunden, welches das entnommene Kiesvolumen auffüllt und somit wie eine Entnahme wirkt. Diese wurde insgesamt auf ca. 790.000 m³/a geschätzt.

Tabelle 2: Im Modell implementierte Grundwasserförderung aus Brunnen 1997 [Mio. m³/a]

Trinkwasserversorgung	
ZVG Br. I – XIII	5,25
ZVG Br. E, H, J	0,90
ZVG Br. XIV – XIX	2,67
ZVG Br. Harreshausen	0,06
ZVG Br. Rollwald	0,30
ZWO Seligenstadt	1,02
ZWO Lange Schneise Nord und Süd	5,08
ZWO Lange Schneise Ost	1,78
ZWO Dietzenbach	0,37
ZWO Patershausen	0,77
ZWO Hintermark	1,53
ZWO Martinsee	2,47
ZWO Jügesheim	2,58
ZWO Birkig	0,93
ZWO Lämmerhecke	1,19
ZWO Froschhausen	0,73
Ringheim Br. I und II	0,57
Pflaumheim	0,21
Sonstige	
Wasserverband Harreshausen	0,20 (Wasserrecht)
Beregnungsverband Babenhausen	0,12 (Wasserrecht)
Schwimmbad Babenhausen	0,06
Fa. Eisoldt	0,04
Fa. Braun	0,06
Fa. Eder	0,50 (Wasserrecht)
Siemens VDO Automotive AG	0,99
Michelsbräu	0,07 (Wasserrecht)
Robinson	0,05 (Wasserrecht)
Fischer	0,05 (Wasserrecht)
Wolf	0,05 (Wasserrecht)
Rodgauer Baustoffwerke	0,09 (Wasserrecht)
Glaab	0,09 (Wasserrecht)
Burkard	0,08 (Wasserrecht)
Fecher	0,18 (Wasserrecht)
Perner	0,06 (Wasserrecht)
Br. Fa. Wilz	0,05 (Wasserrecht)
Summe	31,15

4.2 Variation der Modellparameter

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.

Die Koeffizienten wurden im Modell variiert, bis plausible In- und Exfiltrationsraten erreicht waren. Neben Modellen der BGS UMWELT (Nov. 2001, Juni 2005) wurden andere vorhandene Untersuchungen zur Plausibilitätskontrolle herangezogen (TGU März 2002, ERM Januar 2002).

Anlage 7 zeigt die Messwerte und berechneten Grundwassergleichen im Hauptgrundwasserleiter für den Kalibrierzeitpunkt Oktober 1997 bei mittleren klimatischen Verhältnissen.

Im Untersuchungsgebiet ist der Main als Hauptvorfluter für die regionale Grundwasserströmung bestimmend. Die Grundwasserfließrichtung verläuft in nordöstliche Richtung.

Im südwestlichen Modellgebiet (Dieburger Bucht) ergeben sich im Bereich, in dem die Trennschicht vorhanden ist, Unterschiede in den Potentialen im oberen und unteren Hauptgrundwasserleiter. Deutlich ist z.B. der Einfluss der Fließgewässer auf die Grundwassergleichen im oberen Hauptgrundwasserleiter zu erkennen, die durch Exfiltration ein Rückspringen der Gleichen bewirken. Infolge der Entnahme des ZVG Dieburg, die vor allem im unteren Hauptgrundwasserleiter stattfindet, sind die Grundwasserstände im Anstrombereich der Brunnen im unteren Hauptgrundwasserleiter niedriger als im oberen Hauptgrundwasserleiter. Die ebenfalls dargestellten gemessenen Grundwasserstände für Oktober 1997 sind soweit möglich unterteilt in Messwerte des oberen und des unteren Hauptgrundwasserleiters. Bei einigen Messstellen reicht der Filterkies ohne Zwischenabdichtung vom oberen bis in den unteren Hauptgrundwasserleiter, so dass die Messwerte nicht eindeutig zugeordnet werden können und in Anlage 7 mit „Mischwasser“ bezeichnet sind.

Im Bereich des Stockstädter Kristallinaufstoßes teilt sich der Grundwasserabstrom auf. Im Bereich der Bong'schen Tongrube ist deutlich der Einfluss der Grundwasserhaltung auf die Grundwasserströmung zu erkennen. Aus den Modellrechnungen ergibt sich für die Bong'sche Tongrube eine Entnahme von ca. 1,1 Mio. m³/a im Hauptgrundwasserleiter.

Anlage 8 zeigt die kalibrierten k_f -Werte für den Hauptgrundwasserleiter (bzw. den oberen Hauptgrundwasserleiter in der Dieburger Bucht).

4.3 Modellbilanz

In **Anlage 9** ist die Modellbilanz für den Eichzustand Oktober 1997 dargestellt. Der Grundwasserneubildung von insgesamt 52,1 Mio. m³/a stehen Entnahmen von 32,8 Mio. m³/a gegenüber. Der Randzustrom ins Modellgebiet über die verschiedenen Festgesteinsränder beträgt insge-

samt ca. 5,1 Mio. m³/a und über den südlichen Potentialrand ca. 0,3 Mio. m³/a. Über die Fließgewässer werden im gesamten Modellgebiet ca. 7,6 Mio. m³/a infiltriert, während ca. 13,3 Mio. m³/a exfiltrieren. Die Exfiltration in das Grabensystem in der Dieburger Bucht beträgt ca. 1,2 Mio. m³/a. Der Grundwasserabstrom aus dem Modellgebiet in den Main beträgt ca. 14,7 Mio. m³/a, während über den östlichen Modellrand zwischen Stockstadt und Großostheim ca. 3,1 Mio. m³/a abströmen.

Brandt·Gerdes·Sitzmann

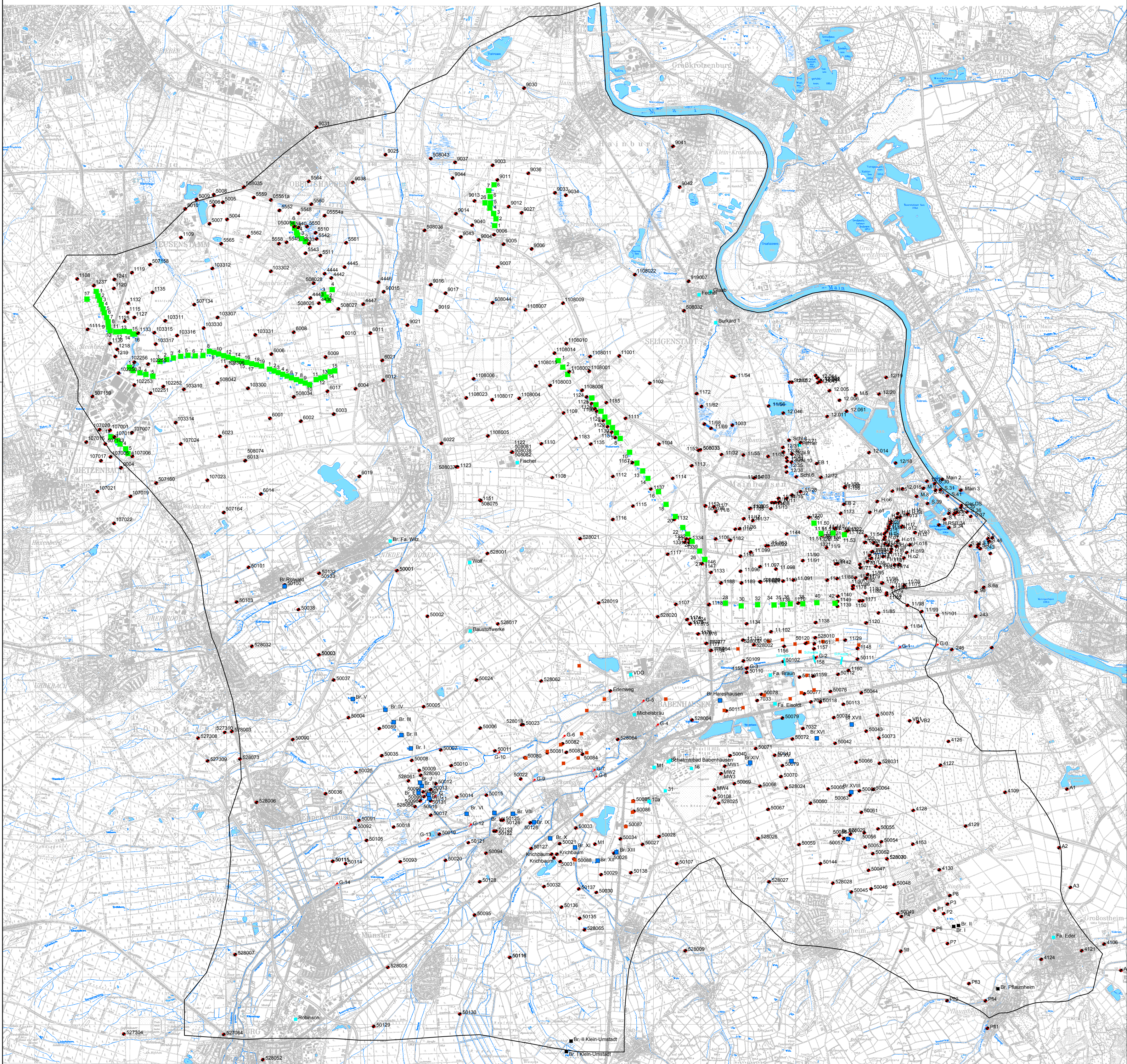
Umweltplanung GmbH

Darmstadt, den 02.10.2013



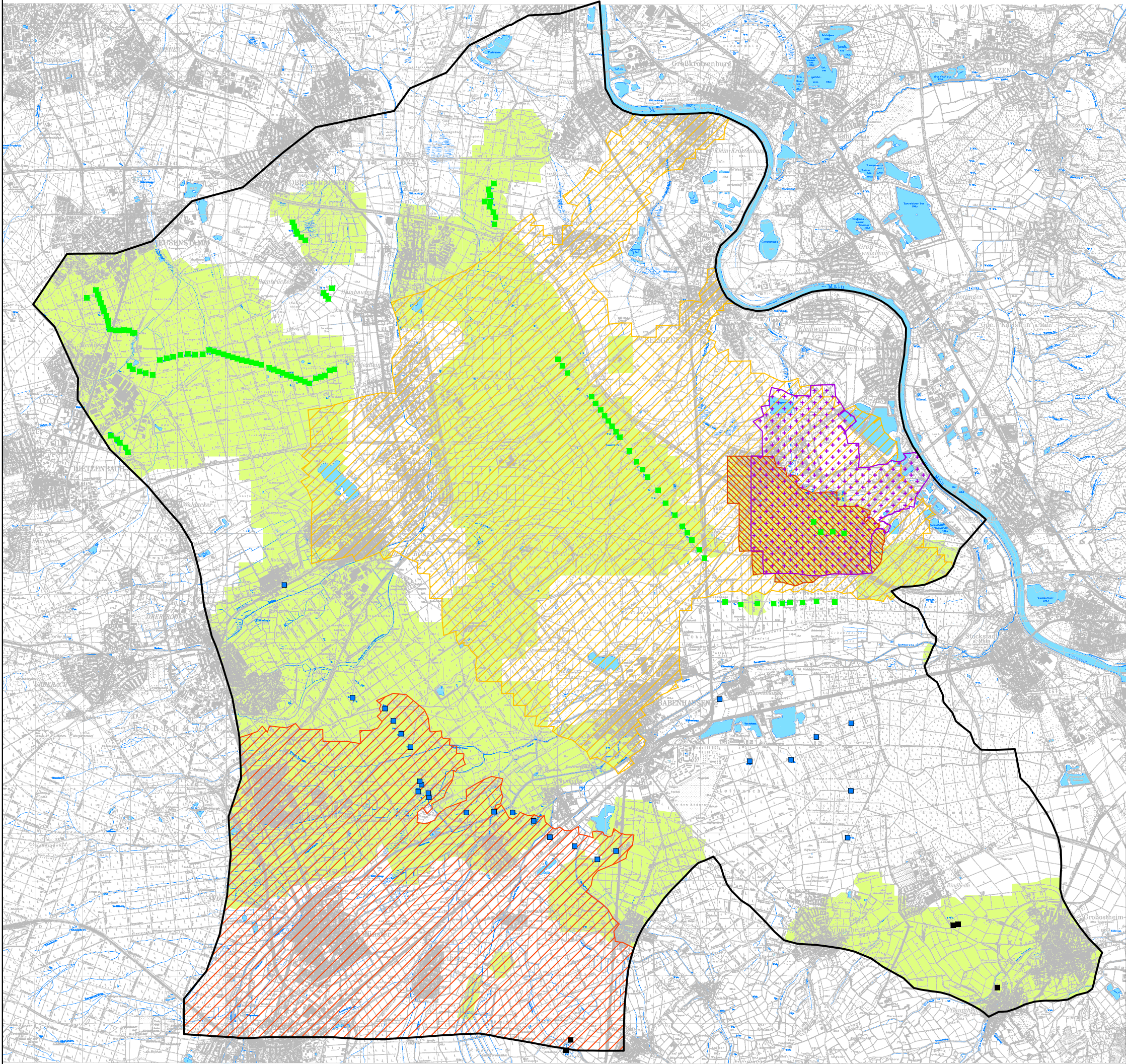
Literatur

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1971): Geologische Karte von Bayern - Blatt Nr. 6020 Aschaffenburg.- München.
- BGS UMWELT (1996): Nachweis des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Einzugsgebiet der Brunnen XIV - XIX des Zweckverbandes
- BGS UMWELT (2001): Ergänzende Grundwassermodellberechnungen zum Wasserrechtsantrag des ZVG Dieburg zu den Brunnen XIV - XIX
- BGS UMWELT (2005): Geohydraulisches Fachgutachten zum geplanten Erweiterungsvorhaben des Quarzsand- und Kiestagebaus Schumann
- ERM (2002): Wasserversorgungskonzept für das Verbandsgebiet des ZWO, Phase B, Materialband B: Grundwassermodellierung.
- HLfB (1997): Geologisch-hydrologisches Modell für das nördliche Dieburger Becken.
- LANG (2007): Die geologische Entwicklung der Hanau-Seligenstädter Senke (Hessen, Bayern), Dissertation am Fachbereich Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt
- TGU (2002): Wasserschutzgebiet Grundwassererkundung Großwallstadt - Abschlußbericht.
- UMWELTBUNDESAMT DLR-DFD (2004): Corine Landcover
- WESSOLEK (1992): Untersuchungen zum Wasserhaushalt im Umlandverband Frankfurt, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Umlandverbandes, Berlin



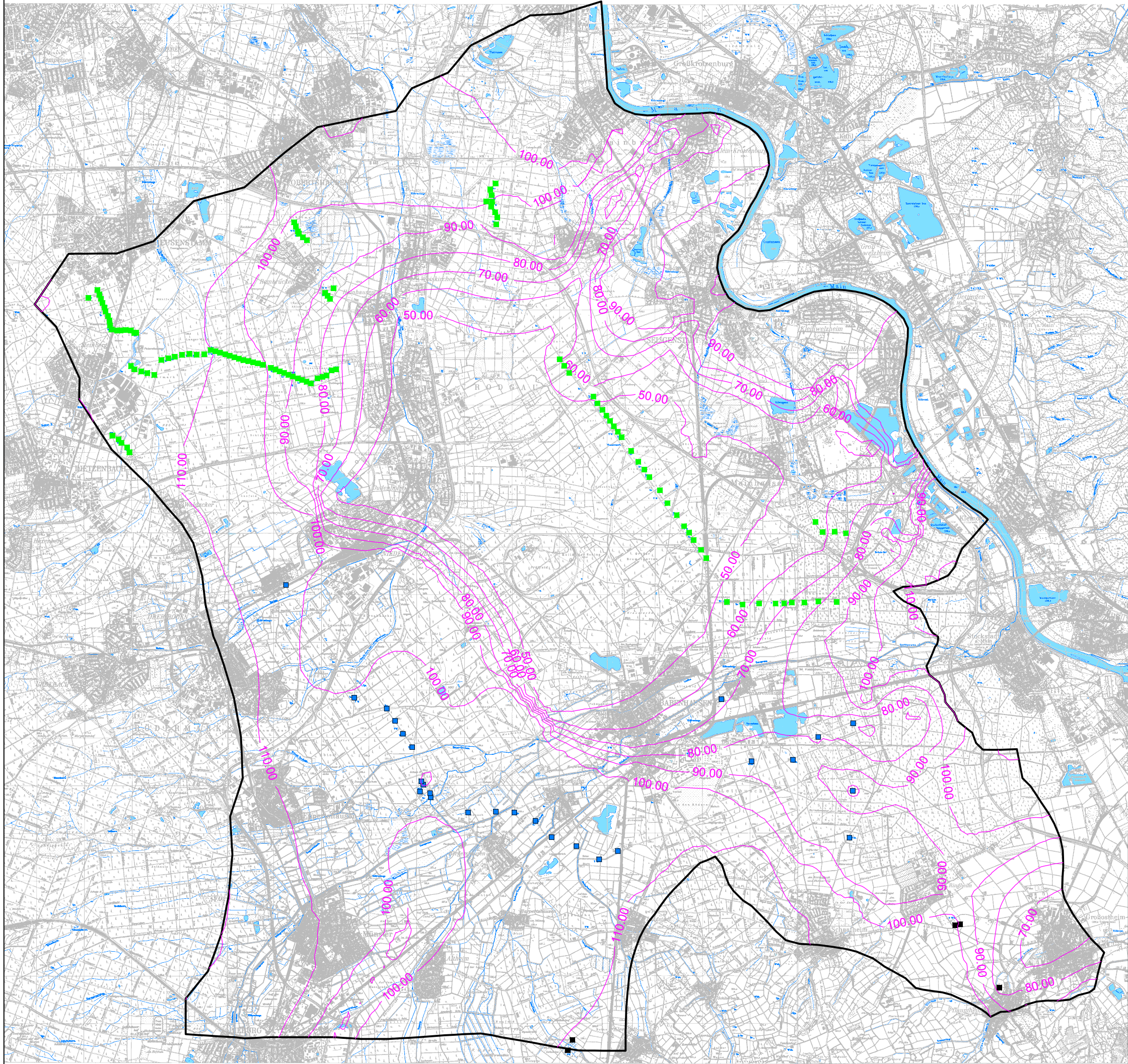
- Legende:
- Modellrand
 - Trinkwasserbrunnen ZVG
 - Trinkwasserbrunnen ZWO
 - Trinkwasserbrunnen Sonstige
 - Brauchwasserbrunnen
 - Privatbrunnen
 - Grundwassermessstelle
 - Pegel
 - Sohlschwellen Gersprenz

BGS UMWELT Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80 www.bgs Umwelt.de • info@bgs Umwelt.de Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH An der Eschmühlmühle 28 • D-64297 Darmstadt		Anlage: 1
Projekt : Grundwassermodell Untermain - Modelldokumentation		Maßstab: 1:50.000
Planbezeichnung: Lageplan Modellgebiet mit Brunnen und Grundwassermessstellen		Dat.: 5309-001.dwg Layout: Anlage 1 Bearb.: Ven.
Auftraggeber:	BGS UMWELT Darmstadt, den	Gez.: Kes. Datum: Okt. 2013 Projekt: nummer: 5309



- Legende:**
- Modellrand
 - Trinkwasserbrunnen ZVG
 - Trinkwasserbrunnen ZWO
 - Trinkwasserbrunnen Sonstige
 - Deckschicht
 - Trennschicht
 - Oberer Ton
 - Unterer Ton
 - Tiefer Zwischenhorizont

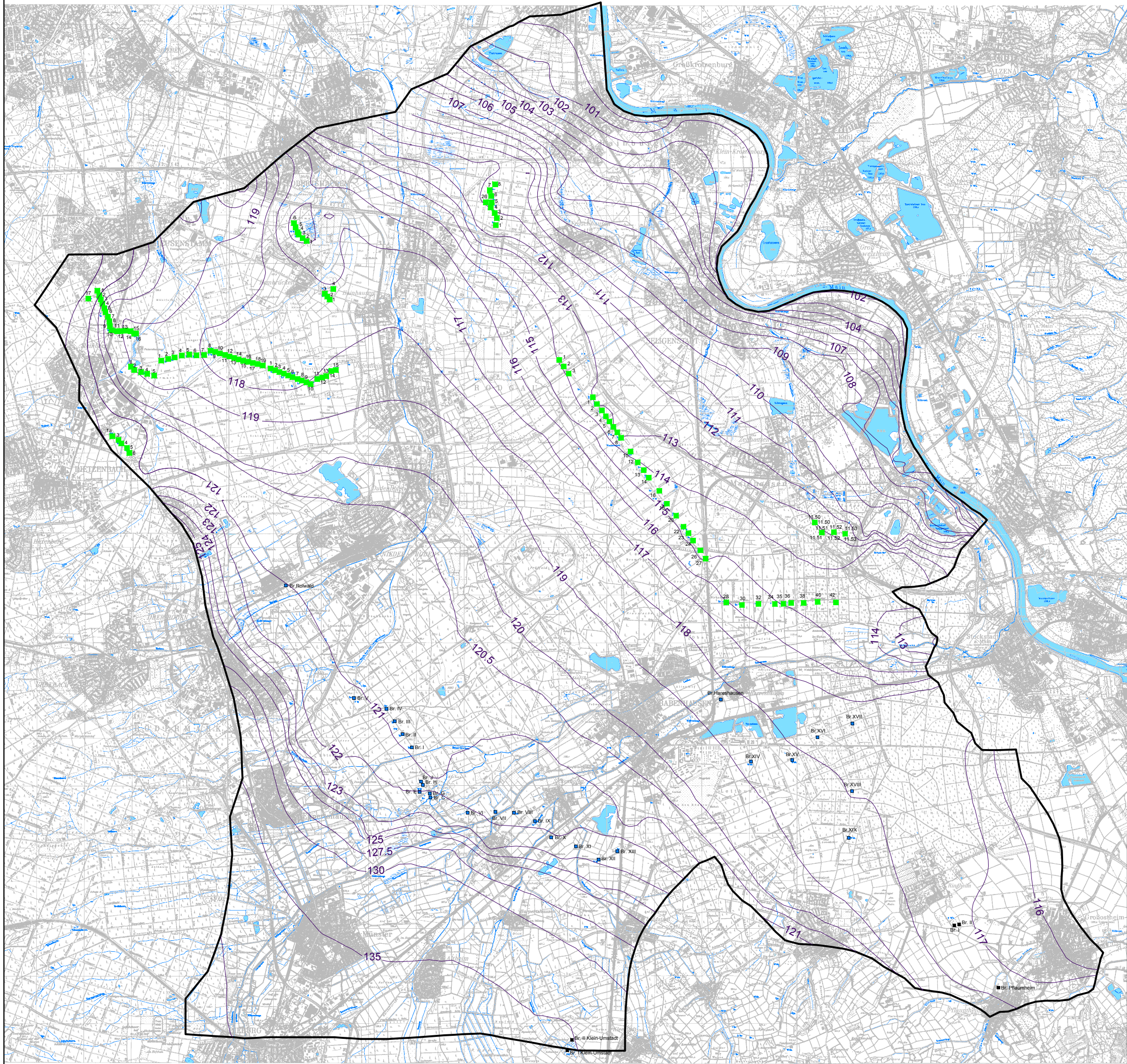
BGS UMWELT Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80 www.bgs Umwelt.de • info@bgs Umwelt.de An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt		Anlage: 2
Projekt : Grundwassermodell Untermain - Modelldokumentation		Maßstab: 1:80.000
Planbezeichnung: Verbreitung der Trennschichten		Datei: 5309-002.dwg
		Layout: Anlage 2
		Bearb.: Ven.
Auftraggeber:	BGS UMWELT Darmstadt, den	Gez.: Kes.
		Datum: Okt. 2013
		Projekt- nummer: 5309



Legende:

- Modellrand
- Trinkwasserbrunnen ZVG
- Trinkwasserbrunnen ZWO
- Trinkwasserbrunnen Sonstige
- Aquiferbasis

BGS UMWELT Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80 www.bgs Umwelt.de • info@bgs Umwelt.de An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt		Anlage: 3
Projekt : Grundwassermodell Untermain - Modelldokumentation		Maßstab: 1:80.000
Planbezeichnung: Aquiferbasis		Datei: 5309-003.dwg
		Layout: Anlage 3
		Bearb.: Ven.
Auftraggeber:	BGS UMWELT Darmstadt, den	Gez.: Kes.
		Datum: Okt. 2013
		Projekt- nummer: 5309

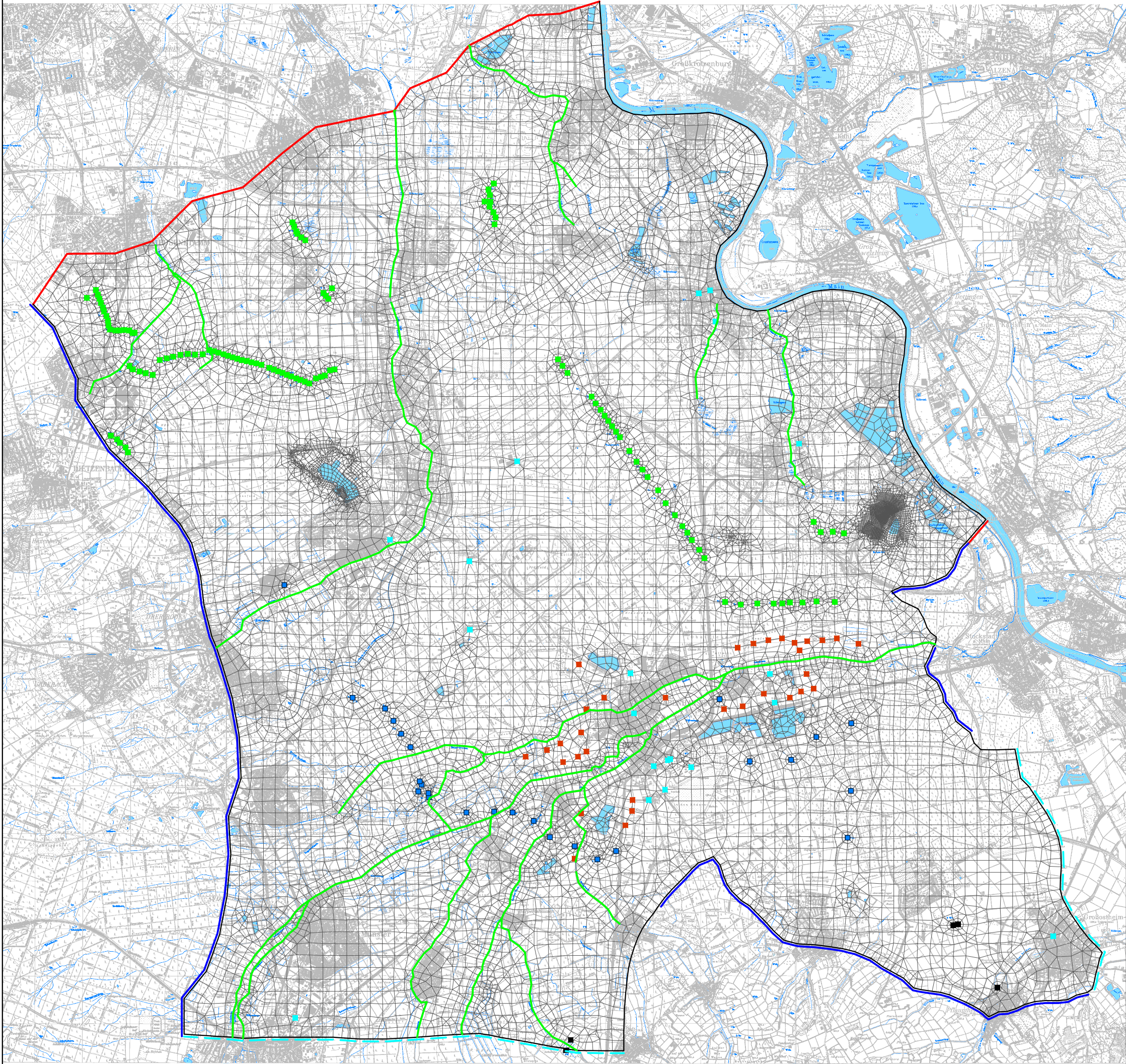


Legende:

- Modellrand
- Trinkwasserbrunnen ZVG
- Trinkwasserbrunnen ZWO
- Trinkwasserbrunnen Sonstige
- 109— Grundwassergleichen

Quelle: Reg. v. Unterfranken, RP Darmstadt 1999, eigene Ergänzungen

BGS UMWELT Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH Tel (0 61 51) 94 56-0 • Fax (0 61 51) 94 56-80 www.bgs Umwelt.de • info@bgs Umwelt.de An der Eschollmühle 28 • D-64297 Darmstadt		Anlage: 4
Projekt : Grundwassermodell Untermain - Modelldokumentation		Maßstab: 1:80.000
Planbezeichnung: Konstruierte Grundwassergleichen Oktober 1997		Datei: 5309-004.dwg Layout: Anlage 4 Bearb.: Ven.
Auftraggeber: BGS UMWELT Darmstadt, den		Gez.: Kes. Datum: Okt. 2013 Projekt- nummer: 5309



Legende:

- Modellrand
- Trinkwasserbrunnen ZVG
- Trinkwasserbrunnen ZWO
- Trinkwasserbrunnen Sonstige
- Brauchwasserbrunnen
- Privatbrunnen
- Stromlinie
- Randzustrom
- Leakage-Randbedingung
- Finite-Elemente-Netz
- Potentialrandbedingung - Main
- Potentialrandbedingung - abgeleitet aus Grundwassergleichen

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

Anlage:
5

Projekt :
**Grundwassermodell
Untermain - Modelldokumentation**

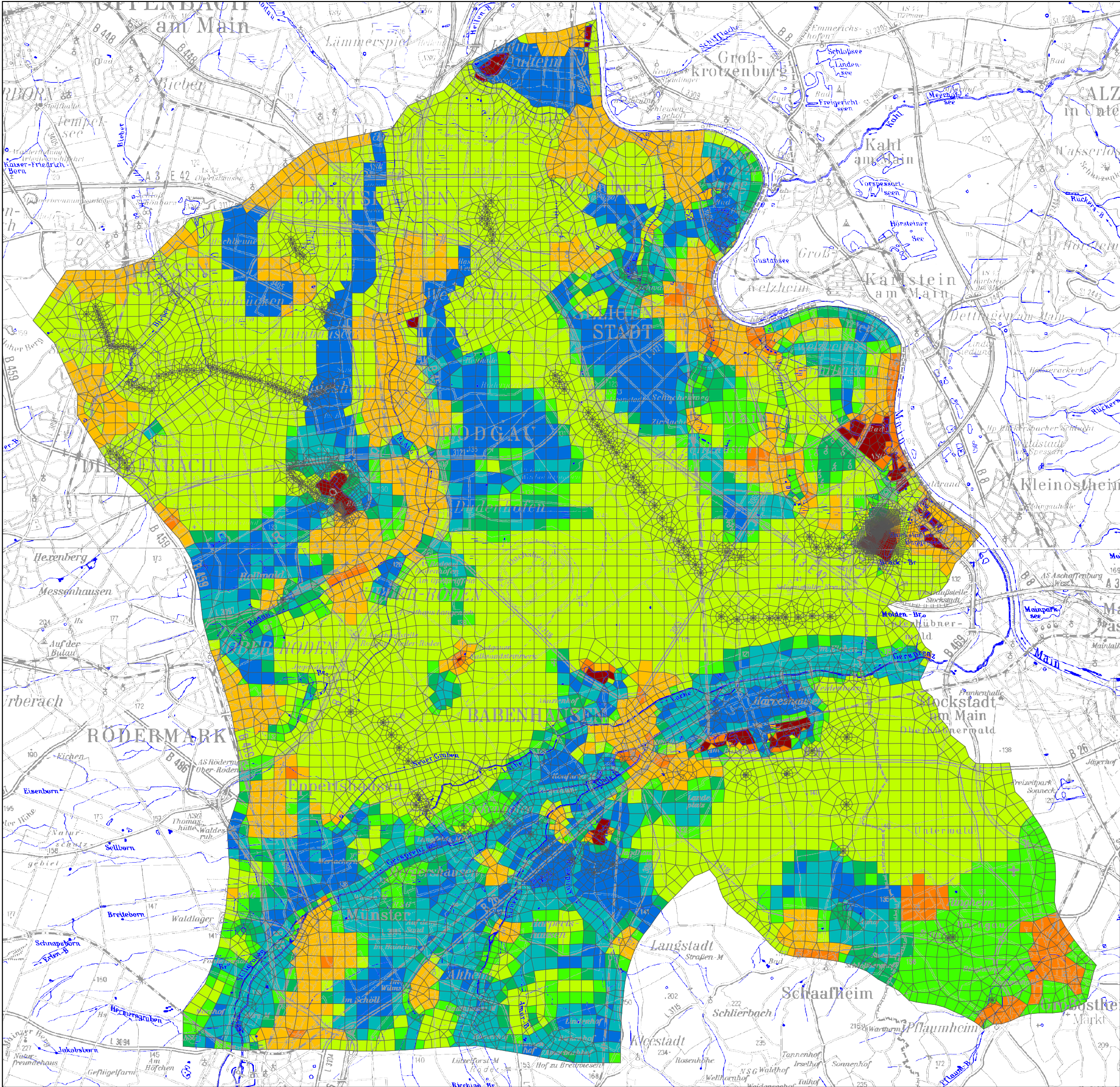
Maßstab:
1:80.000

Planbezeichnung:
Modellrandbedingungen und Finite-Elemente-Netz

Datei: 5309-005.dwg
Layout: Anlage 5
Bearb.: Ven.

Auftraggeber:
BGS UMWELT
Darmstadt, den

Gez.: Kes.
Datum: Okt. 2013
Projekt-
nummer: 5309



LEGENDE:

Mittlere Grundwasserneubildung [mm/a]

- 10 - 40
- 40 - 80
- 80 - 120
- 120 - 160
- 160 - 200
- 200 - 240
- 240 - 280
- 280 - 320

BGS UMWELT

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

Anlage:

6

Projekt :

Grundwassermodell
Untermain - Modelldokumentation

Maßstab:

1:80.000

Planbezeichnung:

Mittlere Grundwasserneubildung [mm/a]

Datei:

5309-006.dwg

Layout:

Anlage 6

Bearb.:

Ven.

Auftraggeber:

BGS UMWELT
Darmstadt, den

Gez.:

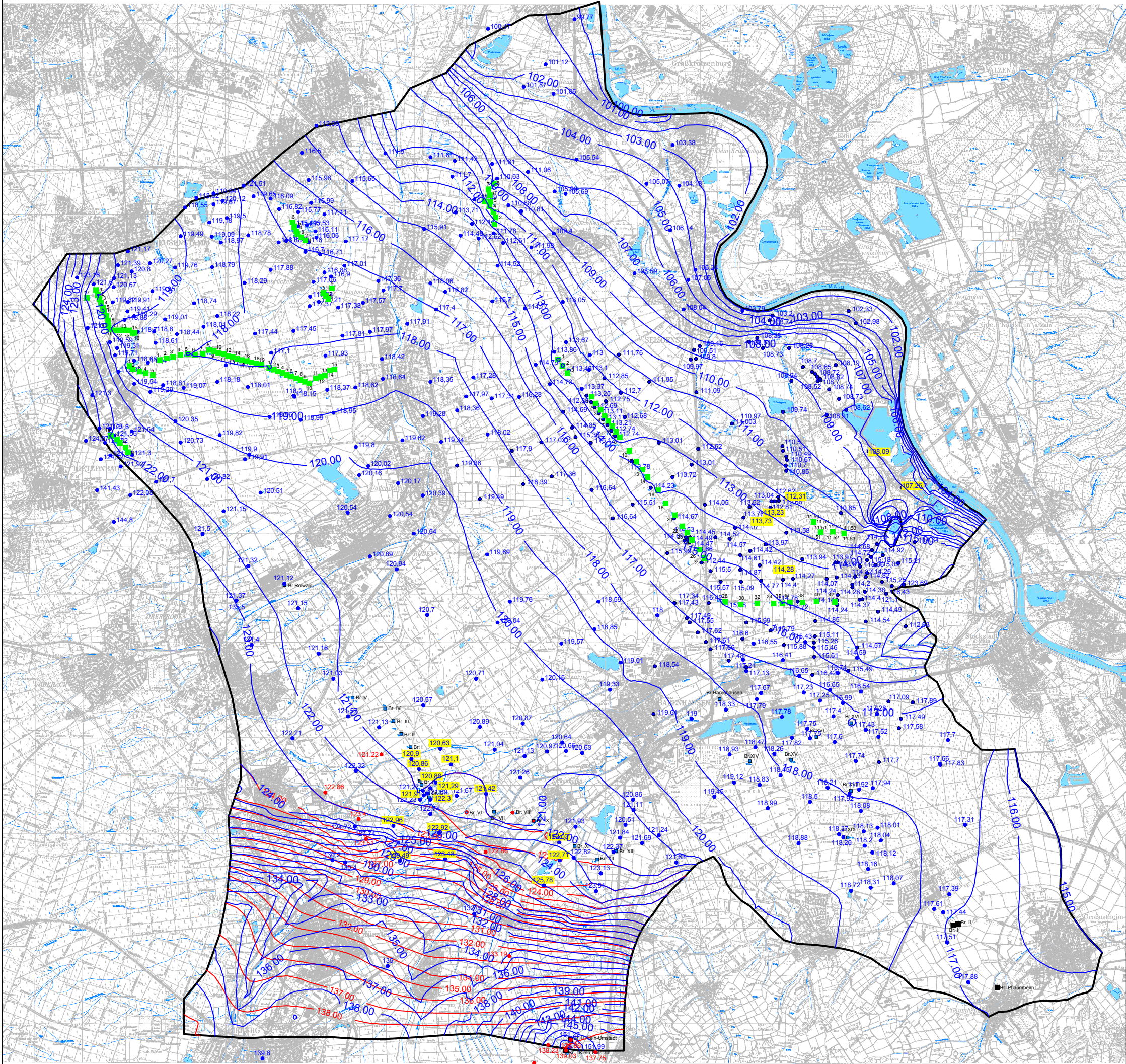
Kes.

Datum:

Okt. 2013

Projekt-
nummer:

5309



Legende:

- Modellrand
- Trinkwasserbrunnen ZVG
- Trinkwasserbrunnen ZWO
- Trinkwasserbrunnen Sonstige
- oberer Hauptgrundwasserleiter
- unterer Hauptgrundwasserleiter
- Messwerte Oktober 1997-
oberer Hauptgrundwasserleiter
- Messwerte Oktober 1997 -
unterer Hauptgrundwasserleiter
- Messwerte Oktober 1997 -
Mischwasser
- Dichtwand ehem. geplante
Sondermülldeponie Mainflingen

BGS UMWELT

Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH

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

Anlage:

7

Projekt :

Grundwassermodell
Untermain - Modelldokumentation

Maßstab:

1:80.000

Planbezeichnung:

Berechnete Grundwassergleichen und Messwerte
für Oktober 1997 im Hauptgrundwasserleiter

Datei:

5309-007.dwg

Layout:

Anlage 7

Bearb.:

Ven.

Auftraggeber:

BGS UMWELT
Darmstadt, den

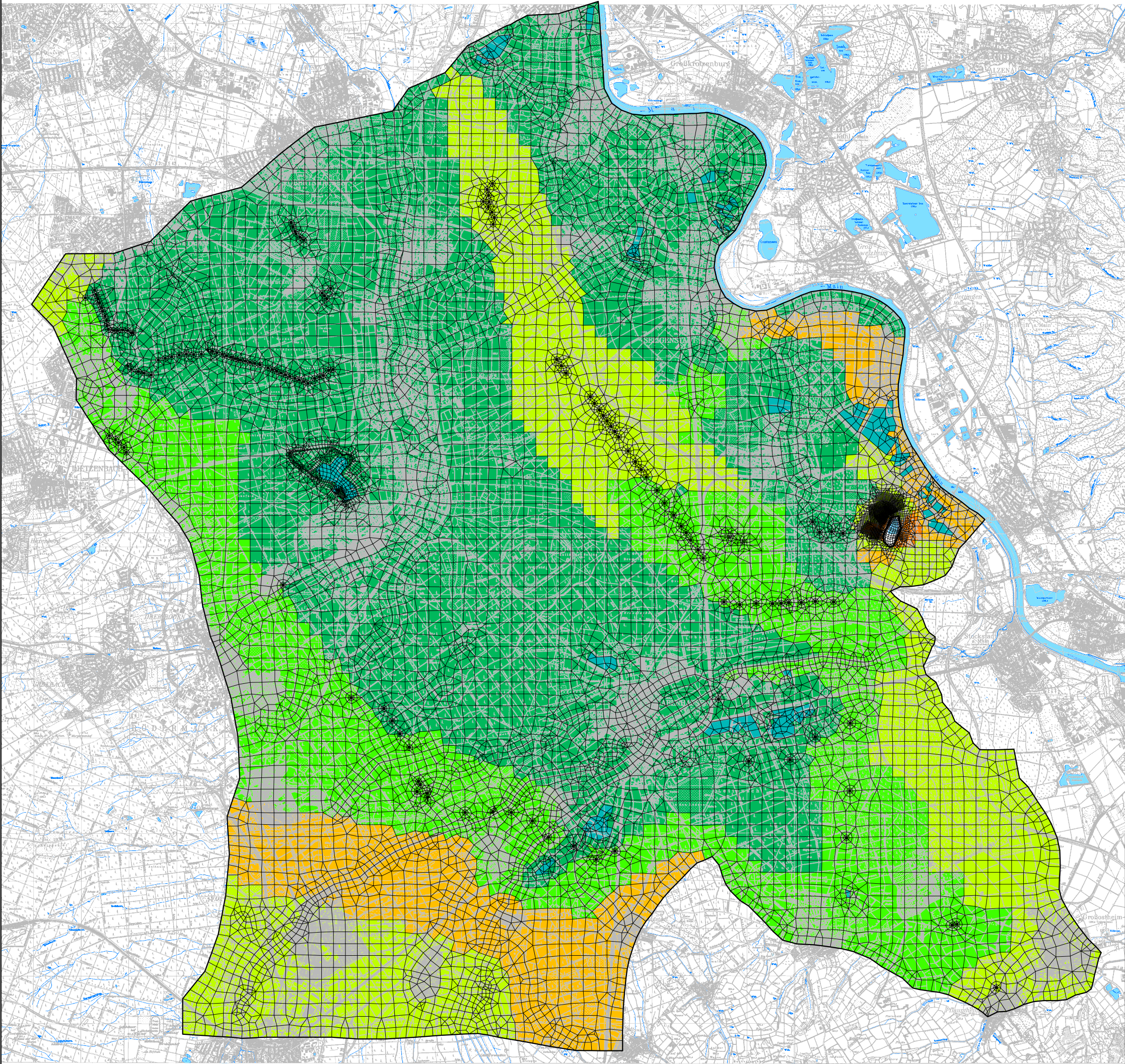
Gez.:

Kes.

Datum:

Okt. 2013

Projekt-
nummer: 5309



LEGENDE:

K_f -Werte [m/s]

- 1·10⁻⁶ - 1·10⁻⁵
- 1·10⁻⁵ - 1·10⁻⁴
- 1·10⁻⁴ - 3·10⁻⁴
- 3·10⁻⁴ - 5·10⁻⁴
- 5·10⁻⁴ - 8·10⁻⁴
- 8·10⁻⁴ - 2·10⁻³
- > 2·10⁻³

Modellrand

Finite-Elemente-Netz

Dichtwand ehem. geplante
Sondermülldeponie Mainflingen

BGS UMWELT

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

Anlage:

8

Projekt :

Grundwassermodell
Untermain - Modelldokumentation

Maßstab:

1:80.000

Planbezeichnung:

Kalibrierte K_f-Werte im Hauptgrundwasserleiter

Datei:

5309-008.dwg

Layout:

Anlage 8

Bearb.:

Ven.

Auftraggeber:

BGS UMWELT
Darmstadt, den

Gez.:

Kes.

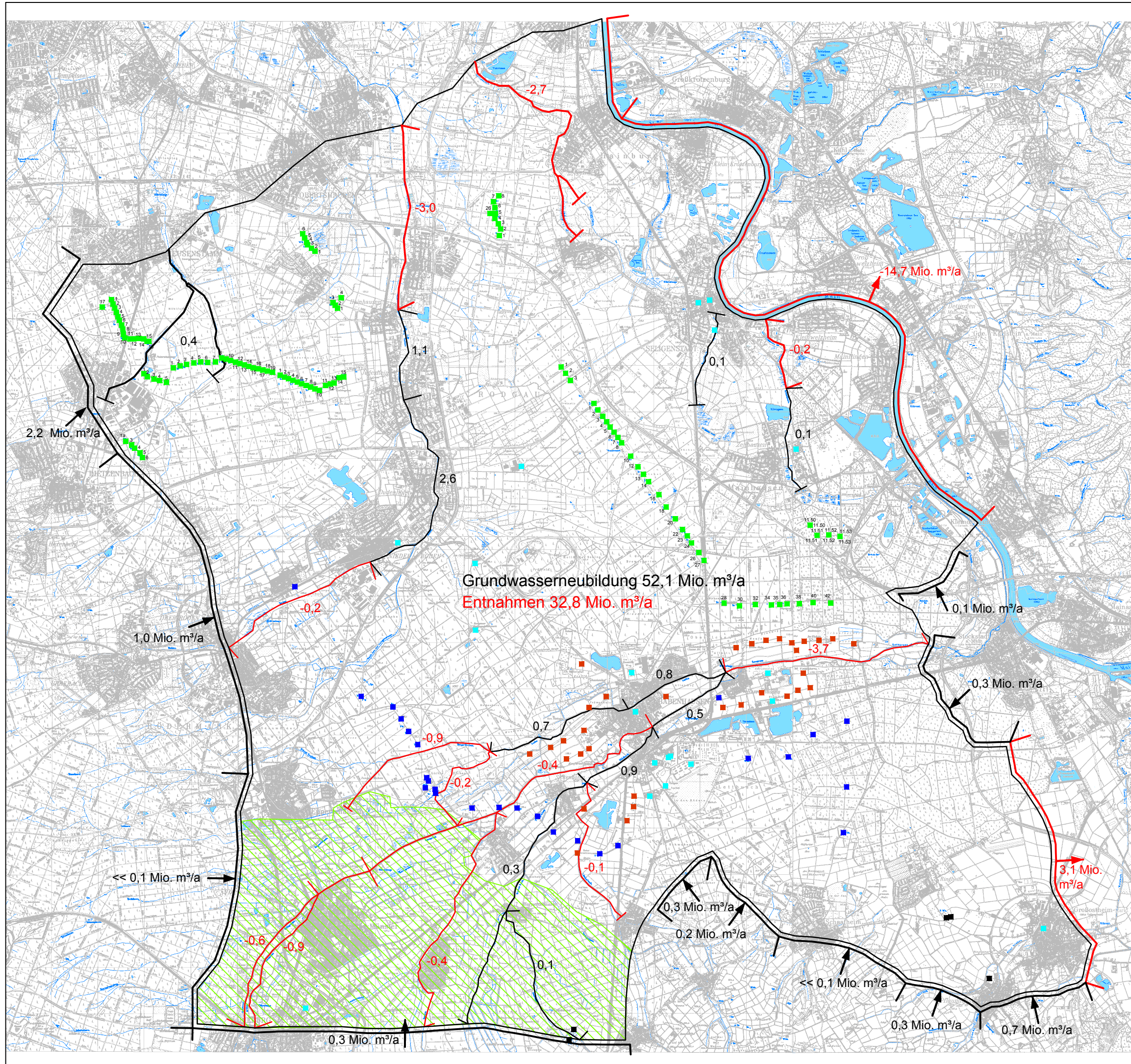
Datum:

Okt. 2013

Projekt-

nummer:

5309



- Legende:**
- Modellrand
 - Trinkwasserbrunnen ZVG
 - Trinkwasserbrunnen ZWO
 - Trinkwasserbrunnen Sonstige
 - Brauchwasserbrunnen
 - Privatbrunnen
 - + Gewässerabschnitte mit Exfiltration in Mio. m³/a
 - + Gewässerabschnitte mit Infiltration in Mio. m³/a
 - ▨ Exfiltration ins Grabensystem ca. 1,2 Mio. m³/a

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

Projekt : Grundwassermodell
Untermain - Modelldokumentation

Planbezeichnung: Randströme und Wechselwirkungen mit Fließgewässern
unter den Rahmenbedingungen 1997

Auftraggeber: BGS UMWELT
Darmstadt, den

Anlage:

9

Maßstab:
1:80.000

Datei: 5309-009.dwg

Layout: Anlage 9

Bearb.: Ven.

Gez.: Kes.

Datum: Okt. 2013

Projekt-
nummer: 5309