

Im wasserrechtl. Verfahren geprüft
Amtl. Sachverständiger
Bayer. Landesamt für Umwelt

5. Ausfertigung

Hof, den 23.10.24

Ulrich Krath

Name

ORR

Dienststellung

Fernwasserversorgung Franken



**ANTRAG
AUF ERTEILUNG EINER BEWILLIGUNG
ZUR ENTNAHME VON GRUNDWASSER NACH § 8 WHG
AUS DEN BRUNNEN HFB S, N1, N2, S1 UND S2
IN DER GEMARKUNG SULZFELD SOWIE
DEM BRUNNEN HFB M IN DER GEMARKUNG MARKTSTEFT**

Anhang 2
Dokumentation kontrollierter Brunnenbetrieb

Der Antragsteller:

Uffenheim, den 11.09.2023
Fernwasserversorgung Franken

Dr. Hermann Löhner
(Geschäfts- und
Werkleiter)

Dr. Jörg Habermann
(Projektmanager)
Wasserrechte)

Der Planverfasser:

Koblenz, den 11.09.2023
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

Dipl.-Ing. Ulrich Krath



BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Maria Trost 3, 56070 Koblenz
Telefon +49 261 8851-0, info@bjoernsen.de
Aug. 2023, Men, LG, fsm2018081.03

Inhaltsverzeichnis

Erläuterungsbericht		Seite
1	Aufgabenstellung	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Abgrenzung des Untersuchungsraums	1
2	Datengrundlagen	2
3	Geologische / hydrogeologische Gegebenheiten	3
3.1	Normalprofil	4
3.1.1	Buntsandstein (s)	4
3.1.2	Muschelkalk (m)	6
3.1.3	Keuper (k)	14
3.1.4	Quartär	19
3.2	Schichtlagerung / Tektonik	20
4	Modellraum	22
4.1	Abgrenzung des Bilanz- und Modellraums	22
4.2	Vertikale Strukturierung, Hydrostratigraphie	23
4.3	Horizontale Strukturierung	25
5	Grundwasserhydraulik	32
5.1	Mainwasserstände	32
5.2	Unterer Grundwasserleiter UGWL im Muschelkalk	34
5.3	Mittlerer Grundwasserleiter MGWL im Muschelkalk	34
5.4	Oberer Grundwasserleiter (OGWL) im Muschelkalk	36
5.5	Grundwasserleiter GWL ku im Unteren Keuper	37
5.6	Quartärer Grundwasserleiter des Maintals	38
5.7	Grundwasserstandsdifferenzen	42
5.8	Mögliches Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktstett	43
6	Grundwasserbeschaffenheit	46
6.1	Rohwasserbeschaffenheit Brunnen	46
6.2	Grundwasserbeschaffenheit im Muschelkalk	48
6.3	Grundwasserbeschaffenheit im Keuper	51
6.4	Quartär	51
7	Grundwasserbilanzierung	54
7.1	Grundwasserneubildung	54
7.2	Grundwasserentnahmen	55
7.3	Austausch mit Oberflächengewässern	56
7.4	Grundwasserzustrom	58
7.5	Grundwasserbilanz für den Bilanz und Modellraum	58
8	Vorgaben für das numerische Grundwasserströmungsmodell	59

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Profil für den Oberen Buntsandstein (so) des Blattes 5924 aus [13]	5
Abbildung 2: Profil des Unteren Muschelkalks auf Blatt 5924 aus [13]	7
Abbildung 3: Profil des Mittleren Muschelkalks Bohrung Werneck B1 aus [12]	9
Abbildung 4: Profil des Mittleren Muschelkalks auf Blatt 5924 Gemünden [13]	10
Abbildung 5: Profil des Oberen Muschelkalk 1 Bohrung Werneck B1 [12]	12
Abbildung 6: Profil des Oberen Muschelkalk 2 und 3 Bohrung Werneck B1 [12]	13
Abbildung 7: Profil für den Unteren Keuper auf Blatt 6126 aus [10]	16
Abbildung 8: Profil durch den Mittleren Keuper [15]	18
Abbildung 9: Aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Werte	27
Abbildung 10: Plot der k_f -Werte des MGWL gegen die Teufenlage der GWL-Basis	28

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Werte [m/s]	26
Tabelle 2: Erwartete k_f -Werte als Startparameter für die Grundwassermodellierung	30
Tabelle 3: Stauhaltungen des Mains im Bereich des Modellraums	33
Tabelle 4: Entnahmen während des kontrollierten Brunnenbetriebs	41
Tabelle 5: Teileinzugsgebiete der Gewinnung Sulzfeld/Marktstef und GW-Neubildung	46
Tabelle 6: Für maximale Jahresentnahmen erwartete Zustromanteile	53
Tabelle 7: Uferfiltratanteile für den kontrollierten Brunnenbetrieb	57
Tabelle 8: Bilanzierung für den Modellraum [l/s]	58

Anlagen

- 1 Übersichtskarten
 - 1.1 Übersichtskarte Untersuchungsraum
 - 1.2 Lageplan Untersuchungsraum
 - 1.3 Detaillageplan Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft
 - 1.4 Grundwassermessnetz der FWF
 - 1.5 Grenzen des Bilanz- und Modellraums

- 2 Datengrundlagen
 - 2.1 Zusammenstellung Bohraufschlüsse
 - 2.2 Grundwassermessstellen der FWF
 - 2.3 Brunnen der FWF
 - 2.3.1 Horizontalfilterbrunnen Marktsteft
 - 2.3.1.1 Lageplan Stränge
 - 2.3.1.2 Aufschlussbohrungen
 - 2.3.1.3 Ausbauzeichnung
 - 2.3.2 Horizontalfilterbrunnen Sulzfeld
 - 2.3.2.1 Lageplan Stränge
 - 2.3.2.2 Aufschlussbohrungen
 - 2.3.2.3 Ausbauzeichnung
 - 2.3.3 Brunnen N1
 - 2.3.4 Brunnen N2
 - 2.3.5 Brunnen S1
 - 2.3.6 Brunnen S2
 - 2.4 Grundwasseraufschlüsse Untersuchungsraum (Grundwasserstand)
 - 2.4.1 Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmebohrungen
 - 2.4.2 Quellen
 - 2.4.3 Messpunkte Vorflutniveau
 - 2.5 Ausgewählte Quer- und Längsschnitte des Mains

- 3 Geologische Grundlagen
 - 3.1 Normalprofil
 - 3.2 Geologische Übersichtskarte
 - 3.3 Verbreitung der Quaderkalkfazies
 - 3.4 Faziesbereiche der Sulfatlager des Mittleren Muschelkalks
 - 3.5 Faziesbereiche des Quartärs
 - 3.6 Tektonische Übersicht
 - 3.7 Geologische Profilschnitte
 - 3.7.1 Profilschnitt 1
 - 3.7.2 Profilschnitt 2
 - 3.7.3 Detailschnitt 1 (Nord)
 - 3.7.4 Detailschnitt 2 (Mitte)
 - 3.7.5 Detailschnitt 3 (Süd)
 - 3.7.6 Quartärschnitt A
 - 3.7.7 Quartärschnitt B
 - 3.7.8 Quartärschnitt C
 - 3.7.9 Quartärschnitt D
 - 3.8 Teufenlage der stratigraphischen Einheiten
 - 3.8.1 Basis des Unteren Muschelkalks (Basis des Unteren Grundwasserleiters)
 - 3.8.2 Basis des Mittleren Muschelkalks

- 3.8.3 Basis des Oberen Muschelkalks
- 3.8.4 Basis des Unteren Keupers (Oberkante des Oberen Grundwasserleiters)
- 3.8.5 Basis des Mittleren Keupers
- 3.8.6 Quartärbasis
- 3.8.7 Quartärrinne Nahbereich
- 3.9 Teufenlage der hydrostratigraphischen Einheiten
- 3.9.1 Basis des Grundwassergeringleiters im Mittleren Muschelkalk
- 3.9.2 Basis des Mittleren Grundwasserleiters
- 3.9.3 Basis des Grundwassergeringleiters im Oberen Muschelkalk
- 3.9.4 Basis des Oberen Grundwasserleiters
- 3.9.5 Basis des Grundwasserleiters im Unteren Keuper
- 3.9.6 Basis des Grundwassergeringleiters im Unteren Keuper 2
- 3.9.7 Basis des Grundwasserleiters Unterer/Mittlerer Keuper
- 3.9.8 Basis der Grundwassergeringleiter im Mittleren Keuper
- 3.10 Geohydraulische Parameter
- 3.10.1 Zusammenstellung der aus Pumpversuchen ermittelten geohydraulischen Parameter
- 3.10.2 Aus Pumpversuchen ermittelte kf-Werte
- 3.10.3 Zonierung der Durchlässigkeit

- 4 Grundwasserhydraulik
- 4.1 Grundwassergleichen
- 4.1.1 MGWL
- 4.1.2 OGWL
- 4.1.3 GWL ku
- 4.1.4 Quartär
- 4.1.4.1 Pumpversuch vom 01.06.1965
- 4.1.4.2 Pumpversuch vom 03.07.1973
- 4.1.4.3 Pumpversuch vom 19.12. 2005
- 4.1.4.4 Kontrollierter Brunnenbetrieb (vor Beginn) 25.07.2018
- 4.1.4.5 Kontrollierter Brunnenbetrieb (Ende Stufe 1) 12.03.2019
- 4.1.4.6 Kontrollierter Brunnenbetrieb (Ende Stufe 2) 01.05.2019
- 4.1.4.7 Kontrollierter Brunnenbetrieb (Ende Stufe 3) 07.05.2019
- 4.1.5 Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft
- 4.1.5.1 Nahbereich der Gewinnung
- 4.1.5.2 Gesamteinzugsgebiet
- 4.2 Wasserstandsganglinien
- 4.2.1 Mainwasserstand und Abfluss
- 4.2.1.1 Pegel Sulzfeld
- 4.2.1.2 Pegel Schweinfurt Neuer Hafen
- 4.2.1.3 Pegel Würzburg
- 4.2.2 Grundwasserstand im Muschelkalk
- 4.2.2.1 Muschelkalkmessstellen im weiteren Zustrom Ochsenfurt / GwMWÜ-MU-7, Seinsheim / MU14
- 4.2.2.2 Muschelkalkmessstellen Bereich Marktsteft (M1, M2)
- 4.2.2.3 Muschelkalkmessstellen Bereich Sulzfeld (M3, M4)
- 4.2.3 Grundwasserstand im Quartär
- 4.2.3.1 Quartärmessstellen Marktsteft, mainnahe GWM (B19, N12, N13, N14)
- 4.2.3.2 Quartärmessstellen Marktsteft, brunnennahe GWM (B15, N7)
- 4.2.3.3 Quartärmessstellen Marktsteft, östlicher/nordöstlicher Zustrom (N1, N2, N8)
- 4.2.3.4 Quartärmessstellen Marktsteft, südöstlicher Zustrom (B3, N9, N10, N11)
- 4.2.3.5 Quartärmessstellen Sulzfeld, mainnahe GWM (GP1, N11, N15, S2a)

- 4.2.3.6 Quartärmessstellen Sulzfeld, brunnennahe GWM (GP9, GP12, GP15, N1a, N4, N3neu, N12, S1a, TD1 bis TD3, V1)
- 4.2.3.7 Quartärmessstellen Sulzfeld, nördlicher Zustrom (GP2, GP3, GP5, GP10, GP16, GP17, N5, N6)
- 4.2.4 Vergleich der Wasserstände Main, Quartär und Muschelkalk
 - 4.2.4.1 Marktsteft (M2, B15)
 - 4.2.4.2 Sulzfeld (TD1 bis TD3, M3)
- 4.3 Grundwasserentnahmen
 - 4.3.1 Grundwasserentnahmen im Untersuchungsraum
 - 4.3.2 Räumliche Verteilung der Grundwasserentnahmen
 - 4.3.3 Entnahmen Sulzfeld/Marktsteft, Jahressummen
 - 4.3.4 Entnahmen Sulzfeld Marktsteft, Tagessummen (Kontrollierter Brunnenbetrieb)
 - 4.4 Hydraulischer Anschluss der Baggerseen an Main und Grundwasser
- 5 Grundwasserbeschaffenheit
 - 5.1 Festgesteinsbereich
 - 5.1.1 MGWL südlicher Modellraum
 - 5.1.2 MGWL bis OGWL nördlicher Modellraum
 - 5.1.3 Unterer Keuper
 - 5.2 Quartär
 - 5.2.1 Messstellen B15, N1
 - 5.2.2 Messstellen N3neu Sulzfeld, N4 Sulzfeld, N5 Sulzfeld, N6 Sulzfeld, GP17 Sulzfeld
 - 5.2.3 Messstellen N10 Marktsteft, N11 Marktsteft
 - 5.2.4 Messstellen S1a Sulzfeld, N12 Sulzfeld, N1a Sulzfeld, TD1 Sulzfeld, N14 Marktsteft
 - 5.3 Rohwasserbeschaffenheit
 - 5.3.1 Brunnen Marktsteft
 - 5.3.2 Brunnen Sulzfeld
 - 5.4 Abschätzung von Zustromanteilen aus Beschaffenheitsdaten
 - 5.5 Beschaffenheitsdaten von Privatbrunnen im Zustrom
- 6 Grundwasserneubildung
 - 6.1 Zeitliche Entwicklung der Grundwasserneubildung im Modellraum
 - 6.2 Mittlere Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1951 bis 2015
 - 6.3 Grundwasserneubildung für trockene Verhältnisse 1971 bis 1973

Anhänge

- Anhang 1: Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft; Dokumentation kontrollierter Brunnenbetrieb
- Anhang 2: Pumpversuchsdaten aus dem Jahr 2005

Verwendete Unterlagen

- [1] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; 6227 Iphofen
München 1964
- [2] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; 6225 Würzburg Süd
München 1967
- [3] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 6327 Markt Einersheim und Blatt
6427 Uffenheim
München 1976
- [4] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 6326 Ochsenfurt
München 1986
- [5] Zweckverband Fernwasserversorgung (FWF) (Hrsg.)
Mathematisches Grundwassermodell für das Gewinnungsgebiet Sulzfeld-Marktsteft
Koblenz, April 1987
Verfasser: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH
- [6] Zweckverband Fernwasserversorgung (FWF) (Hrsg.)
Mathematisches Grundwassermodell für das Gewinnungsgebiet Sulzfeld-Marktsteft;
Ergänzende Untersuchungen
Koblenz, Dezember 1987
Verfasser: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH
- [7] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 500.000 mit Erläuterungen; 4. neubearbeitete Auf-
lage
München 1996
- [8] Zweckverband Fernwasserversorgung (FWF) (Hrsg.)
Antrag auf Neufestsetzung eines Schutzgebietes für das Erschließungsfeld Sulzfeld /
Marktsteft
Koblenz, Dezember 1996
Verfasser: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH
- [9] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 6226 Kitzingen
München 2000
- [10] Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 6126 Dettelbach
München 2001

- [11] Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH (Hrsg.)
Antrag auf Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Brunnen K1, K2, K3, K4, K5 und K6; Klinge
Haßfurt, 2006
Verfasser: BAURCONSULT
- [12] Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH (Hrsg.)
Antrag auf wasserrechtliche Genehmigung zur Entnahme und Ableitung von Grundwasser § 3 Abs. Nr. 1 Nr. 6, WHG Gehobene Erlaubnis gemäß § 7 WHG für die Brunnen K1, K2, K3, K4, K5 und K6; Klinge
Haßfurt, 2006
Verfasser: BAURCONSULT
- [13] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
Hydrogeologische Karte von Bayern 1 : 500.000 mit Erläuterungen
Augsburg 2009
- [14] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 6026 Werneck
Augsburg, 2010
- [15] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
Geologische Karte von Bayern 1 : 25.000; Blatt 5924 Gemünden a. Main
Augsburg, 2014
- [16] Kopp, B., Baumeister, C., Gudera, T., Hergesell, M., Kampf, J., Morhard, A., Neumann, J. (2018):
Entwicklung von Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und Hessen von 1951 bis 2015 - Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, 62, (2), 62-76; DOI: 10.5675/HyWa_2018,2_1
2018
- [17] Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH (Hrsg.)
Hydrogeologisches Basisgutachten zur Einzugsgebietsermittlung und Wasserschutzgebietvorschlag für die Brunnengalerie M5, M6 und M7 Mainstockheimer Straße
Haßfurt, 2019
Verfasser: BAURCONSULT
- [18] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
Digitale Hydrogeologische Karte 1:100.000 (WMS-Dienst)
<http://www.lfu.bayern.de/gdi/wms/geologie/hk100?>;
Datenabruf am 11.07.2018
- [19] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)
Geologie von Bayern, Geologischer Überblick
https://www.lfu.bayern.de/geologie/geologie_bayerns/ueberblick/index.htm
Datenabruf am 12.07.2018

1 Aufgabenstellung

1.1 Veranlassung

Die Fernwasserversorgung Franken (FWF) fördert im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft Grundwasser für die öffentliche Trinkwasserversorgung. Die Grundwasserförderung erfolgt derzeit auf Grundlage der wasserrechtlichen Bewilligung des LRA Kitzingen vom 17.10.1997 (Az.: 72-642/02.2). Für die Wasserversorgung im zugehörigen Versorgungsbereich wird das am WW Sulzfeld/Marktsteft gewonnene und aufbereitete Grundwasser mit dem zusätzlich durch den Zweckverband Fernwasserversorgung fränkischer Wirtschaftsraum (WFW) gelieferten Wasser vor dem Wasserwerksausgang gemischt und im Versorgungsgebiet verteilt.

Da die aktuelle wasserrechtliche Bewilligung zum 31.12.2020 ausläuft und zukünftig eine Erhöhung des Versorgungsanteils aus dem Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft vorgesehen ist, muss eine neue wasserrechtliche Bewilligung für das Gewinnungsgebiet beantragt werden.

Als eine fachliche Grundlage für die geplante Beantragung der angestrebten Wasserrechte werden in diesem Bericht die hydrogeologischen Grundlagen in Form eines hydrogeologischen Modells im Sinne der Leitfäden der DGG und der DGGV zusammengestellt.

1.2 Abgrenzung des Untersuchungsraums

Die Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft fördern Grundwasser aus dem quartären Grundwasserleiter des Maintals. Dieser quartäre Grundwasserleiter erhält im Bereich Sulzfeld/Marktsteft seinen Wasserzustrom aus:

- der Grundwasserneubildung durch die Versickerung von Niederschlagswasser über dem Verbreitungsgebiet des quartären Grundwasserleiters,
- der Grundwasserneubildung durch Infiltration von Oberflächenwasser aus dem Main (Uferfiltration),
- dem Zustrom aus dem umgebenden Muschelkalk (Randzustrom).

Damit muss der Untersuchungsraum neben dem eigentlich erschlossenen quartären Grundwasserleiter auch den Muschelkalk im Zustrombereich der Gewinnung umfassen. Darüber hinaus ist auch der Untere Keuper sowie der liegende Teil des Mittleren Keupers (Myophorienschichten) im Hangenden des Muschelkalks zu betrachten, da diese auch hangende Grundwasserstockwerke im Zustrombereich der Brunnen bilden können. Im Liegenden des Muschelkalks bilden die Röttonsteine eine hydraulische Trennung des Grundwassers im Buntsandsteins von den Muschelkalkgrundwässern. Insgesamt erfasst damit der Untersuchungsraum die Schichtenfolge von den Röttonsteinen als Grundwasserleiterbasis im Liegenden bis zur Geländeoberfläche an der die Gesteine des Muschelkalks, des Unteren und Mittleren Keupers sowie des Quartärs anstehen.

In der Fläche werden die, nach erster Auswertung großräumiger Grundwassergleichenpläne [18] denkbaren Zustrombereiche zu den Gewinnungsanlagen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft links und rechts des Maintales in den Untersuchungsraum einbezogen. Im Einzelnen wird der Untersuchungsraum wie folgt begrenzt (siehe auch Anlage 1.1):

- Im Süden und Südwesten reicht der Untersuchungsraum bis zum Main zwischen Marktbreit und Randersacker sowie 2 km linksmainisch über den Main hinaus.
- Im Norden wird der Untersuchungsraum entlang einer Linie Randersacker-Dettelbach-Schwarzbach-Castell begrenzt.
- Im Osten und Südosten folgt die Grenze des Modellraums einer Linie von Castell bis westlich Markt Bibart und weiter bis südlich Marktbreit.

Der in Anlage 1.1 dargestellte Untersuchungsraum umfasst damit eine Fläche von insgesamt rd. 470 km². Er nimmt dabei große Flächenanteile der TK-Blätter 6226, 6227, 6326 und 6327 sowie kleinere Flächenanteile der benachbarten TK-Blätter 6126 und 6127 im Norden, 6225 und 6325 im Westen sowie 6228 und 6328 im Osten ein.

2 Datengrundlagen

Als Grundlage für die Ableitung der hydrogeologischen Modellvorstellung wurden im Wesentlichen die im Folgenden aufgeführten Unterlagen und Daten verwendet:

- Geologische Karten für den Untersuchungsraum und die zugehörigen Erläuterungen (GK25 und GK500; [1], [2], [3], [4], [7], [9], [10])
- Daten der Hydrogeologischen Karten (dHK100 und HK500; [13], [18])
- rd. 2.400 Bohraufschlüsse aus den Archiven von LfU, FWF u. BCE mit Angaben zu Lage, Schichtaufbau und Bohrungsausbau (Anlage 2.1)
- Daten zu Wasserständen und Wasserbeschaffenheit aus den Archiven von LfU, FWF u. BCE sowie eigens für dieses Projekt im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs erhobenen Daten von insgesamt etwa 250 Brunnen, Grundwassermessstellen, Quellen und Oberflächenwassermesspunkten (Anlagen 2.2, 2.3 und 2.4)
- Daten zu den Grundwasserentnahmen des Modellraums von rd. 50 Entnahmeorten aus den Archiven von LfU, WWA, FWF und BCE
- Daten zu der aus dem Bodenwasserhaushalt berechneten Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1951 bis 2015 (Jahresschritte) bereitgestellt durch das LfU
- Daten zu 44 Pumpversuchsauswertungen aus dem Archiv des LfU (Anlage 3.10.1)
- Gutachten, Antragsunterlagen zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft ([5], [6], [8])
- Daten des Flusshydrologischen Fachdienstes (FLYS) der Bundesanstalt für Gewässerkunde (Anlage 2.5)

- Beschaffenheitsdaten ausgewählter Privatbrunnen im Umfeld (Anlage 5.5)
- Daten/Gutachten benachbarter Gewinnungsgebiete

Insgesamt steht damit für die Ableitung der hydrogeologischen Modellvorstellung eine sehr umfangreiche Datenbasis zur Verfügung. Vor allem für den quartären Grundwasserleiter im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft liegt eine große Menge an räumlich und zeitlich hoch auflösenden Daten zu Schichtaufbau, Grundwasserentnahmen, Wasserständen und Wasserbeschaffenheit vor. Für diesen Bereich ist die Datenbasis als sehr gut zu bewerten.

Trotz des großen Umfangs der Datenbasis für das Mainquartär ergeben sich jedoch auch dort immer noch gewisse Unschärfen. Wie Mehrfachanalysen ein und derselben Probe gezeigt haben, sind z.B. die zur Ermittlung von Uferfiltratanteilen erhobenen Analysedaten von Spurenstoffen teilweise noch mit größeren Ungenauigkeiten behaftet, die sich natürlich auch auf die Genauigkeit der aus den Spurenstoffgehalten ermittelten Uferfiltratanteile auswirken.

Im weiteren Festgesteinsumfeld des Untersuchungsraumes ist die Datendichte deutlich geringer als im Mainquartär bei Sulzfeld/Marktsteft. Für diese Bereiche steht jedoch auch eine ausreichende Datenbasis für die Ableitung einer grundsätzlichen hydrogeologischen Modellvorstellung zur Verfügung. Jedoch muss man hier mit größeren Unschärfen in der Aussagekraft des Modells rechnen. Diese Unschärfen sind durch die insgesamt geringere Datendichte bedingt. Vor allem im Osten des Untersuchungsraums stehen vergleichsweise wenige Informationen zu Wasserständen und Wasserbeschaffenheit im Muschelkalk zur Verfügung, so dass in diesen Bereichen mit den größten Unschärfen zu rechnen ist.

Auf Grund der im Muschelkalk ausgeprägten Karstproblematik wird keine Möglichkeit gesehen die Unschärfen für diesen Teil des Modellraums mit einem vertretbaren Aufwand wesentlich zu vermindern.

3 Geologische / hydrogeologische Gegebenheiten

Der Untersuchungsraum ist hydrogeologisch dem hydrogeologischen Großraum „Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland“, dem hydrogeologischen Raum „Süddeutscher Buntsandstein und Muschelkalk“ sowie dem hydrogeologischen Teilraum „Muschelkalk-Platten“ zuzuordnen.

Im Folgenden werden die allgemeinen geologischen Gegebenheiten im Untersuchungsraum hinsichtlich des Normalprofils, fazieller Unterschiede und Besonderheiten sowie der Schichtlagerung/Tektonik und beschrieben.

3.1 Normalprofil

Die folgende Beschreibung der Schichtenfolge ist den Erläuterungen der geologischen Karten der Blätter 6226 Kitzingen [9], 6227 Iphofen [1], 6326 Ochsenfurt [4] und 6327 Markt Einersheim [3], die den wesentlichen Teil des Untersuchungsraums abdecken entnommen. Soweit nicht anders vermerkt sind alle Angaben zur Ausbildung der verschiedenen Teile der Schichtenfolge aus diesen Quellen zusammenfassend abgeleitet. Für die Beschreibung von Teilen der Schichtenfolge die auf Grund der Aufschlussituation im Bereich des Untersuchungsraum nicht detailliert beschrieben sind wurde auch auf die Beschreibungen umgebender Kartenblätter zurückgegriffen.

3.1.1 Buntsandstein (s)

Die Sedimente des Buntsandsteins sind im Untersuchungsraum flächendeckend ausgebildet und erreichen dabei eine Gesamtmächtigkeit zwischen etwa 550 m im Süden und Osten bis zu etwa als 625 m im Nordwesten. Im Unteren und Mittleren Buntsandstein wurden unter meist fluviatilen/terrestrischen Bedingungen überwiegend sandige Sedimente abgelagert. Im Oberen Buntsandstein kam es von Norden nach Süden zur s.g. Röttransgression und es wurden unter zunehmend marinen Bedingungen überwiegend Schluffe und Tone mit Einschaltungen von sandigen Sedimenten abgelagert. [7]

Die heute als Schluff- und Tonsteine vorliegenden Sedimente des Oberen Buntsandsteins bilden im Liegenden des Muschelkalks die hydraulische Grenze zwischen dem Grundwasserstockwerk im Unteren und Mittleren Buntsandstein im Liegenden und dem Grundwasserstockwerk im Unteren Muschelkalk im Hangenden. Damit bildet die Oberfläche der Sedimente des Oberen Buntsandsteins die Basis des Modellraums. Auf Grund Ihrer Bedeutung für die liegende Begrenzung des Modellraums werden die Schichten des Oberen Buntsandsteins im Folgenden näher beschrieben. Auf eine detaillierte Beschreibung von Unteren und Mittleren Buntsandstein kann an dieser Stelle verzichtet werden, da diese nicht zum Untersuchungsraum zählen und sie durch den Oberen Buntsandstein Muschelkalk hydraulisch vom Untersuchungsraum getrennt sind.

3.1.1.1 Oberer Buntsandstein (Röt-Folge) (so)

Der Obere Buntsandstein, der durch die Röt-Folge gebildet wird, erreicht im Untersuchungsraum eine Mächtigkeit zwischen etwa 85 m und 100 m. An der Basis liegen die Chirotherien-schiefer (so1), die überwiegend durch bunte grüngraue, teils sandige Tonsteine gebildet werden. Darüber folgt der Plattensandstein (so2), der sich aus blassviolettroten, glimmerreichen Feinsandsteinen mit rotbraunen Tonsteinlagen aufbaut. Über dem Plattensandstein folgt mit den Unteren und Oberen Röttonsteinen (so3 + so4) eine Abfolge von braunroten bis violettstichigen, feinsandigen, teils Gipsschnüre führenden Tonsteinen. An der Basis der Unteren Röttonsteine sowie an der Basis der Oberen Röttonsteine kommen mit dem Grenzquarzit so3Q und dem Rötquarzit so4Q auch kieselig gebundene Sandsteineinschaltungen innerhalb der

Röttonsteine vor. Den hangenden Abschluss der Röttonsteine bilden die Ton- und Mergelsteine der Myophorienschichten. [7]

Ein Profil für den Oberen Buntsandstein am Schichtausbiss westlich des Untersuchungsraumes ist der Abbildung 1 zu entnehmen.

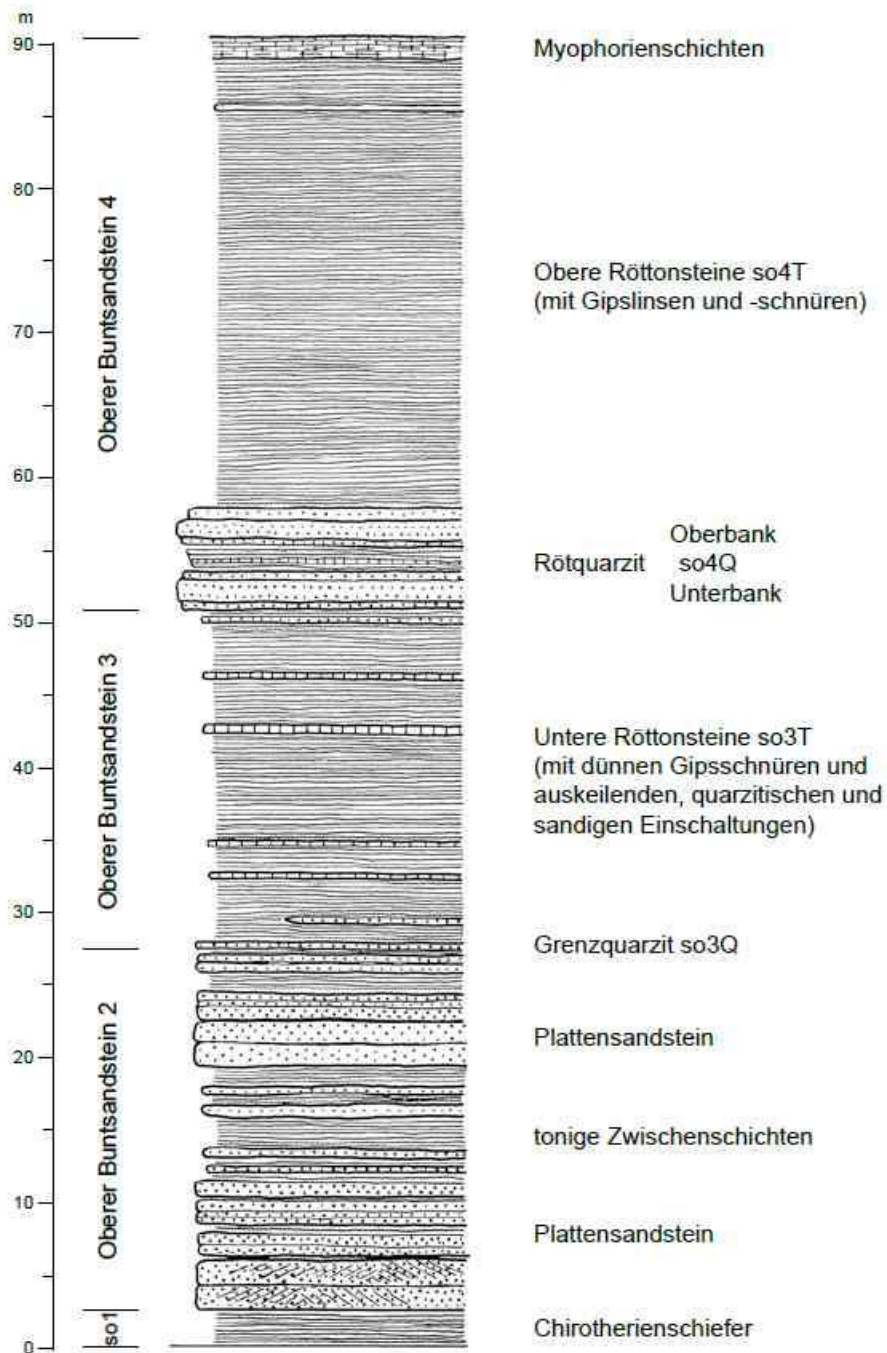


Abbildung 1: Profil für den Oberen Buntsandstein (so) des Blattes 5924 aus [15]

3.1.2 Muschelkalk (m)

Der Muschelkalk wird im Untersuchungsraum zunächst in den Unteren Muschelkalk (mu), den Mittleren Muschelkalk (mm) und den Oberen Muschelkalk (mo) gegliedert (siehe auch Anlage 3.1). Grundsätzlich zeigt der Muschelkalk, dort wo er vollständig erhalten ist eine Zunahme der Mächtigkeit von Südsüdost nach Nordnordwest [3]. Auf Grundlage der in den Erläuterungen zu den Kartenblättern der geologischen Karte angegebene Mächtigkeiten sind für Muschelkalk im Modellraum Gesamtmächtigkeiten zwischen 200 und 260 m anzunehmen.

3.1.2.1 Unterer Muschelkalk (mu)

Im Unteren Muschelkalk wurden in einem flachen Epikontinentalmeer überwiegend kalkige Sedimente mit tonigen bzw. mergeligen Einschaltungen sedimentiert. Der Untere Muschelkalk baut sich überwiegend aus einer Abfolge von knauring-welligen bis dünnplattigen, mikritischen Kalksteinen, den eigentlichen Wellenkalken auf. In die Abfolge sind wiederholt charakteristische Leitbänke von sparitischen teils schillhaltigen, teils oolithischen, teils konglomeratischen Kalksteinen eingeschaltet.

Die aus den Bohraufschlüssen und Kartierungsdaten des Untersuchungsraums abgeleitete Mächtigkeit des Unteren Muschelkalks liegt zwischen 85 und 92 m. Die Schichtenfolge wird in den 29 bis 36 m mächtigen Unteren Muschelkalk 1, den 17 bis 21 m mächtigen Unteren Muschelkalk 2 und den 35 bis 44 m mächtigen Muschelkalk 3 gegliedert. Eine Profildarstellung für den Muschelkalk am Schichtausbiss westlich des Untersuchungsraums ist der Abbildung 2 zu entnehmen.

Der **Untere Muschelkalk 1 (mu1)** beginnt im Liegenden mit den Grenzgelbkalksteinen, die die Grenze zum Buntsandstein markieren. Die Grenzgelbkalksteine werden aus einer frisch grauen, ockerfarbenen verwitternden dolomitischen Bank aufgebaut. Über den Grenzgelbkalksteinen setzt dann die Sedimentation der Wellenkalken ein. Die untersten 5 m der Wellenkalkfolge 1 sind noch tonig-mergelig ausgebildet zum Hangenden hin entwickelt sich eine überwiegend karbonatische (normale) Ausbildung der Wellenkalken.

Die Wellenkalkfolgen 1 bis 3 bilden dann mit der Oolithbank α , zwischen den Wellenkalkfolgen 1 und 2 sowie der Oolithbank $\beta 1$ den Hauptteil des Unteren Muschelkalks 1.

Der **Untere Muschelkalk 2 (mu2)** baut sich aus der Oolithbank $\beta 2$ im Liegenden und der Wellenkalkfolge 4 im Hangenden auf.

Der **Untere Muschelkalk 3 (mu3)** beginnt mit der Unteren Terebratelbank zum Hangenden hin trennen die Obere Terebratelbank, die Spiriferinabank sowie die 1. bis 3. Schaumkalkbank die Wellenkalken in die Wellenkalkfolgen 5 bis 9. Den hangenden Abschluss des Unteren Mu-

schelkalks bilden die Orbicularisschichten. Diese bauen sich aus dünnplattigen bis dünnbankigen, dolomitischen, mergeligen Kalksteinen auf.

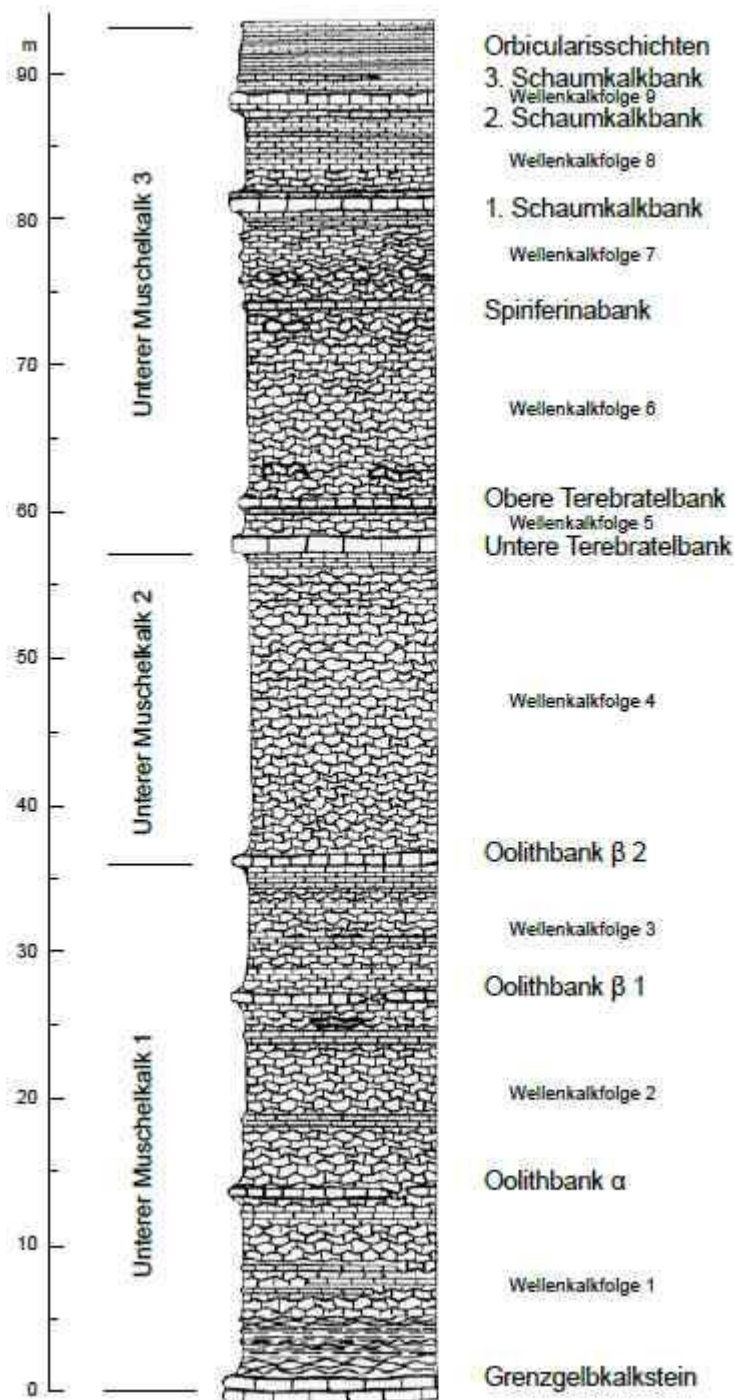


Abbildung 2: Profil des Unteren Muschelkalks auf Blatt 5924 aus [15]

3.1.2.2 Mittlerer Muschelkalk (mm)

Im Mittleren Muschelkalk kam es zu einer Abschnürung des Sedimentationsraumes vom offenen Meer und es wurde eine Abfolge salinärer Gesteine sedimentiert. Da die Schichten des Mittleren Muschelkalks, speziell die sedimentierten Evaporite im Modellraum in einem unterschiedlichen Umfang von der Subrosion betroffen sind, variieren sowohl die Mächtigkeit wie auch die fazielle Ausbildung der Schichtenfolge im Modellraum erheblich.

Primär entwickelte sich die Sedimentation bei zunehmender Salinität zunächst von den Kalken des Unteren Muschelkalks zu Dolomiten (Unterer Dolomit) weiter zu Sulfaten (Basissulfat) und dann zum Steinsalz (Unteres Steinsalzlager). Mit wieder abnehmender Salinität wurden zunächst wieder Sulfate (Unteres Sulfat) und mit wieder steigender Salinität ein zweites Steinsalzlager (Oberes Steinsalzlager). Aus einem Zeitraum mit deutlich geringerer Salinität folgt der Mittlere Dolomit der seinerseits wieder vom Oberen Sulfat überlagert wird das wieder unter höher salinaren Bedingungen sedimentiert wird. Im Hangenden des Mittleren Muschelkalks folgt der Obere Dolomit der eine weiter abnehmende Salinität im Sedimentationsraum anzeigt, bis im folgenden Oberen Muschelkalk wieder Kalksteine unter offen flachmarinen Bedingungen eines Epikontinentalmeeres sedimentiert wurden.

Ein weitestgehend vollständiges Profil des mittleren Muschelkalks ist von der Forschungsbohrung Werneck 1 (B1) bekannt (siehe Abbildung 3). Dort erreicht der Mittlere Muschelkalk eine Gesamtmächtigkeit von rd. 75 m. Wobei anzumerken ist, dass auch in diesem Profil bereits die beiden Steinsalzlager sowie Teile des Oberen Sulfats der Subrosion zum Opfer gefallen sind. Noch größere Mächtigkeiten des Mittleren Muschelkalks von maximal bis zu 116 m werden von einzelnen Bohrungen im Raum Kitzingen beschrieben, wobei die Qualität der Schichtansprache der meist älteren Bohrungen zur Erkundung auf Steinsalz/Sohle keine detaillierte Beschreibung der Schichtenfolge/Fazies zulässt.

Mit einem Zutritt von Grundwasser, der vor allem in Oberflächennähe gegeben ist kommt es zur Lösung der Steinsalzlager und zunächst zu einer Umwandlung der Anhydrite zu Gips und später auch eine Lösung des Gipses. Zurück bleibt eine Gesteinsfolge in der die primär abgelagerten Evaporite durch Residualbildungen ersetzt sind. Aus den feinklastischen Bestandteilen der Sulfat und Steinsalzfolgen entwickeln sich dabei Residualtone. Aus den plattigen Dolomiten, die in Folge der Subrosionsvorgänge verstürzen entwickeln sich dann Zellenkalke bzw. Zellendolomite, die mit ihren großen Wasserwegsamkeiten eine weitere Subrosion der Schichtenfolge begünstigen. Ein Beispiel für ein teilweise subrodiertes Muschelkalkprofil mit einer reduzierten Mächtigkeit von rd. 45 m ist der Abbildung 4 zu entnehmen.

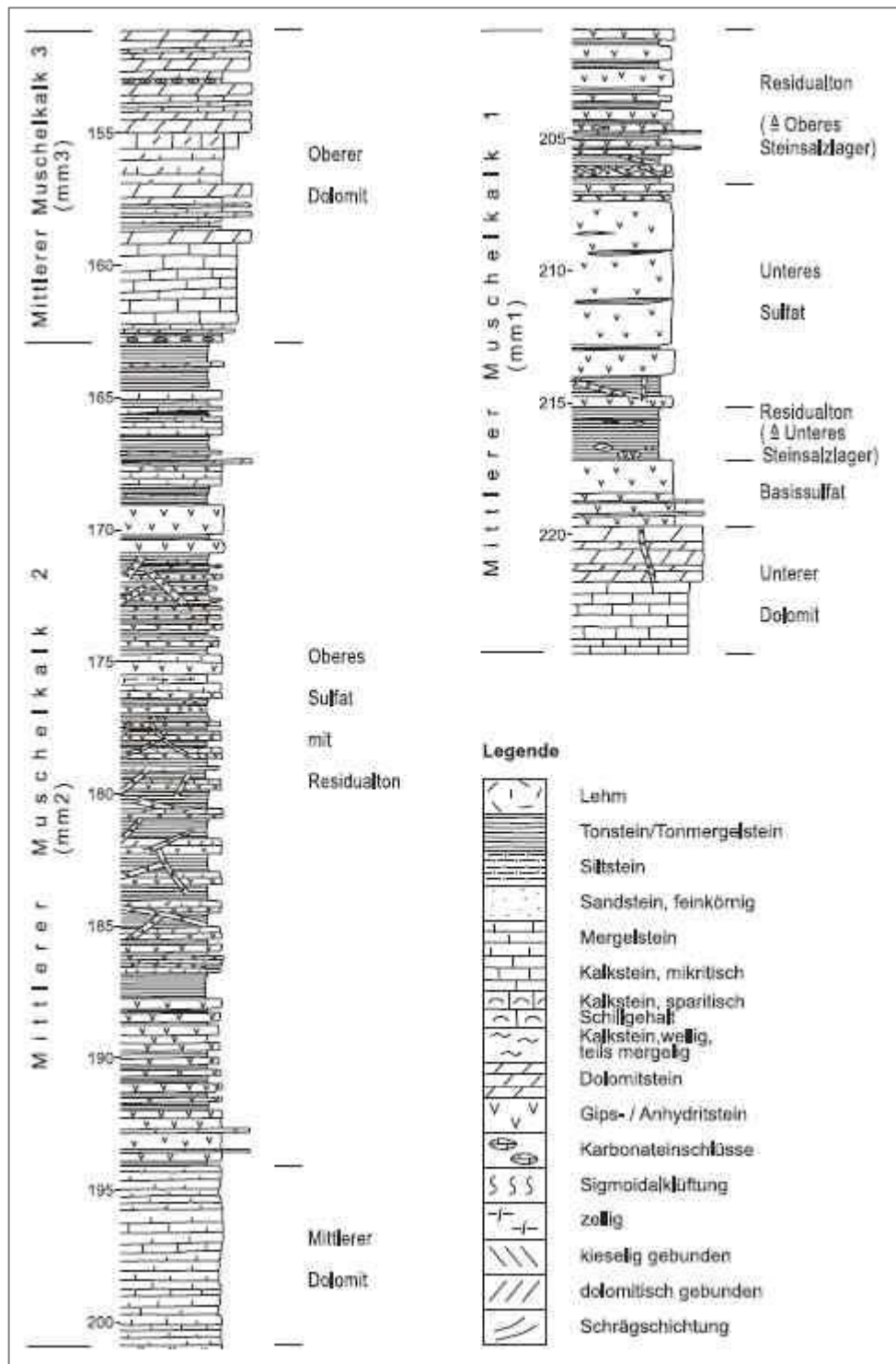


Abbildung 3: Profil des Mittleren Muschelkalks Bohrung Werneck B1 aus [14]

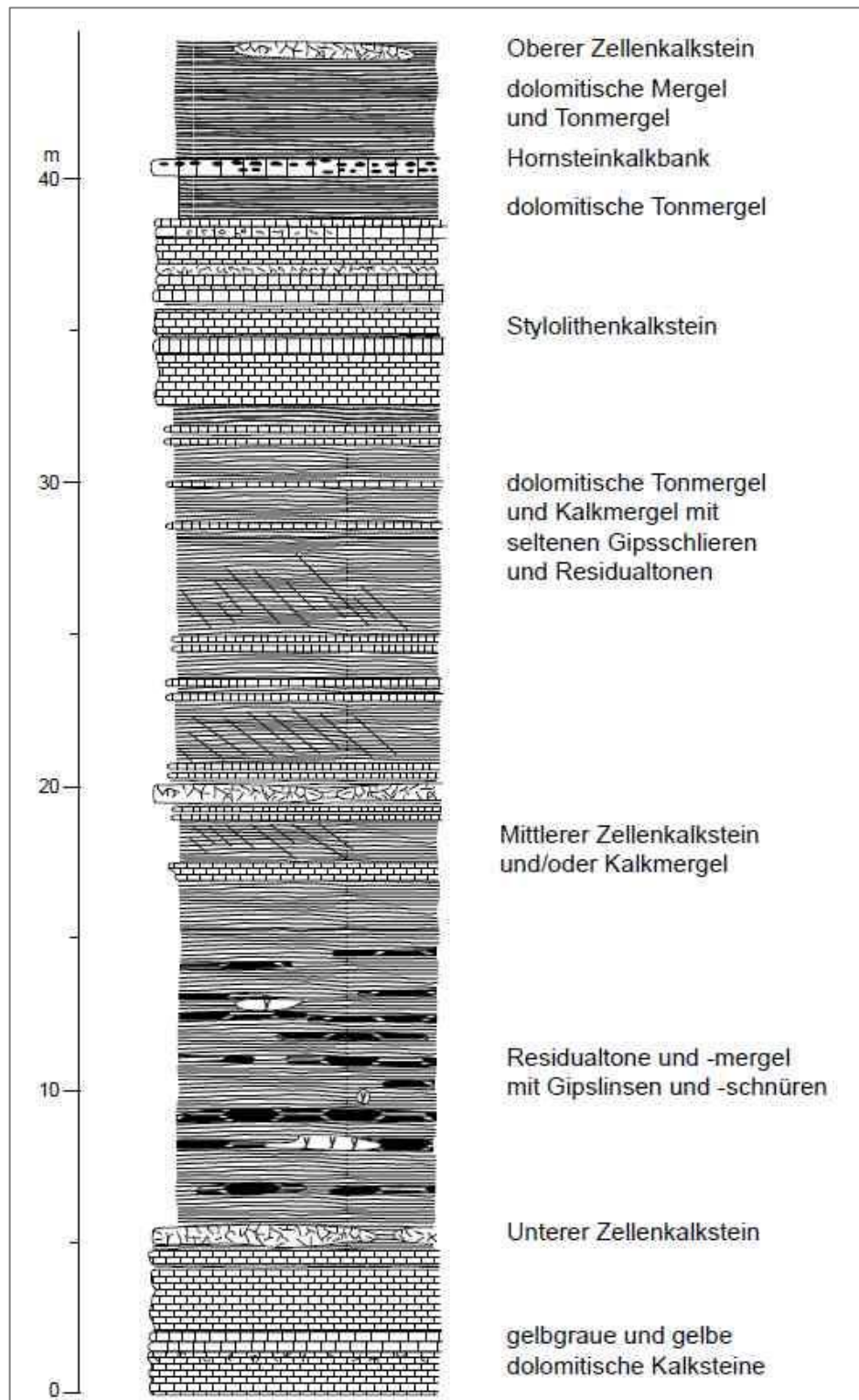


Abbildung 4: Profil des Mittleren Muschelkalks auf Blatt 5924 Gemünden [15]

Die für den Untersuchungsraum aus Kartierungs- und Bohrungsdaten abgeleiteten Mächtigkeiten des Mittleren Muschelkalks liegen verbreitet zwischen 40 und 85 m. Im Bereich des

Schichtausbisses liegen die im Untersuchungsraum minimal zu erwarten Mächtigkeiten bei rd. 20 m die maximale, durch eine Bohrung nachgewiesene Mächtigkeit liegt bei rd. 115 m (Sohlebohrung Kitzingen IV; LfU-ID: 6227BG015001).

Abhängig vom Subrosionsgrad können verschiedene Faziesbereiche des Mittleren Muschelkalks ausgehalten werden. Hierbei wird zwischen einer Residualfazies, einer Sulfatfazies und einer Steinsalzfazies unterschieden. Die Verteilung der verschiedenen Faziesbereiche im Untersuchungsraum ist in der Anlage 3.4 dargestellt.

Die Residualfazies ist durch das Auftreten von Residualtonen gekennzeichnet, die nur noch Reste der Sulfate führen. Im Bereich der Sulfatfazies sind die Steinsalzlager des Mittleren Muschelkalks subrodiert und die Sulfatlager noch zu großen Teilen erhalten. Im Bereich der Steinsalzfazies sind neben den Sulfatlagern auch noch die Steinsalzlager des Mittleren Muschelkalks ganz oder teilweise erhalten. Hierbei ist anzumerken, dass in der Natur keine so scharfen Grenzen zwischen den einzelnen Faziesbereichen vorliegen. Hier sind alle Übergänge zwischen den einzelnen Faziesbereichen denkbar. Darüber hinaus muss man auch kleinräumige Änderungen der Fazies z.B. entlang von Störungen oder Klüftzonen vermuten, die durch die vorhandenen Bohraufschlüsse nicht genauer ausgehalten werden können.

3.1.2.3 Oberer Muschelkalk (mo)

Während des Oberen Muschelkalks wurden im Modellraum unter den Faziesbedingungen eines epikontinentalen Flachmeeres wieder überwiegend kalkige, merglige und tonige Sedimente abgelagert. Die aus den Kartierungsdaten und Bohraufschlüssen für den Untersuchungsraum abgeleiteten Mächtigkeiten liegen verbreitet zwischen 70 und 80 m. Im Bereich der s.g. „Quaderkalkfazies“ liegen teilweise auch deutlich größere Mächtigkeiten, im Untersuchungsraum bis rd. 97 m vor. Die Minimal im Untersuchungsraum vorliegenden Mächtigkeiten liegen bei rd. 61 m.

Der Obere Muschelkalk wird im Untersuchungsraum lithostratigraphisch in den 28 bis 32 m mächtigen Oberen Muschelkalk 1, den 16 bis 20 m mächtigen Oberen Muschelkalk 2 und den 28 bis 35 m mächtigen Oberen Muschelkalk 3 gegliedert. Während der Obere Muschelkalk 1 und 2 im Untersuchungsraum mehr oder weniger einheitlich aufgebaut sind, ist der Obere Muschelkalk 3 räumlich differenziert ausgebildet. Hier ist abweichend von der „normalen“ Fazies im westlich und südlich des Mains die s.g. Quaderkalkfazies ausgebildet (siehe auch Anlage 3.3).

Die Sedimentation im **Oberen Muschelkalk 1 (mo1)** (siehe Abbildung 5) setzt mit dem schwach sparitischen oder oolithischen Wulstkalkstein ein. Darüber folgt der Zeller Tonsteinhorizont. Die Tonsteine des Zeller Tonsteinhorizontes werden durch einige geringmächtige, sparitische Kalksteinbänke wie z.B. die Untere Hauptencrinitenbank unterteilt.

Über der Terebrateldickbank, einer weiteren sparitischen, schillführenden Kalksteinbank, folgen die Plattenkalksteinfoigen 1 und 2, die durch die Obere Hauptencrinitenbank voneinander getrennt werden. Die Plattenkalksteinfoigen werden durch plattige, mikritische Kalk- und Mergelsteine gebildet, in die wiederholt sparitische, schillführende Kalksteinbänke eingeschaltet sind. Den Abschluss des Oberen Muschelkalk 1 bildet mit der Spiriferinabank eine weitere sparitische, schillführende Kalksteinbank.

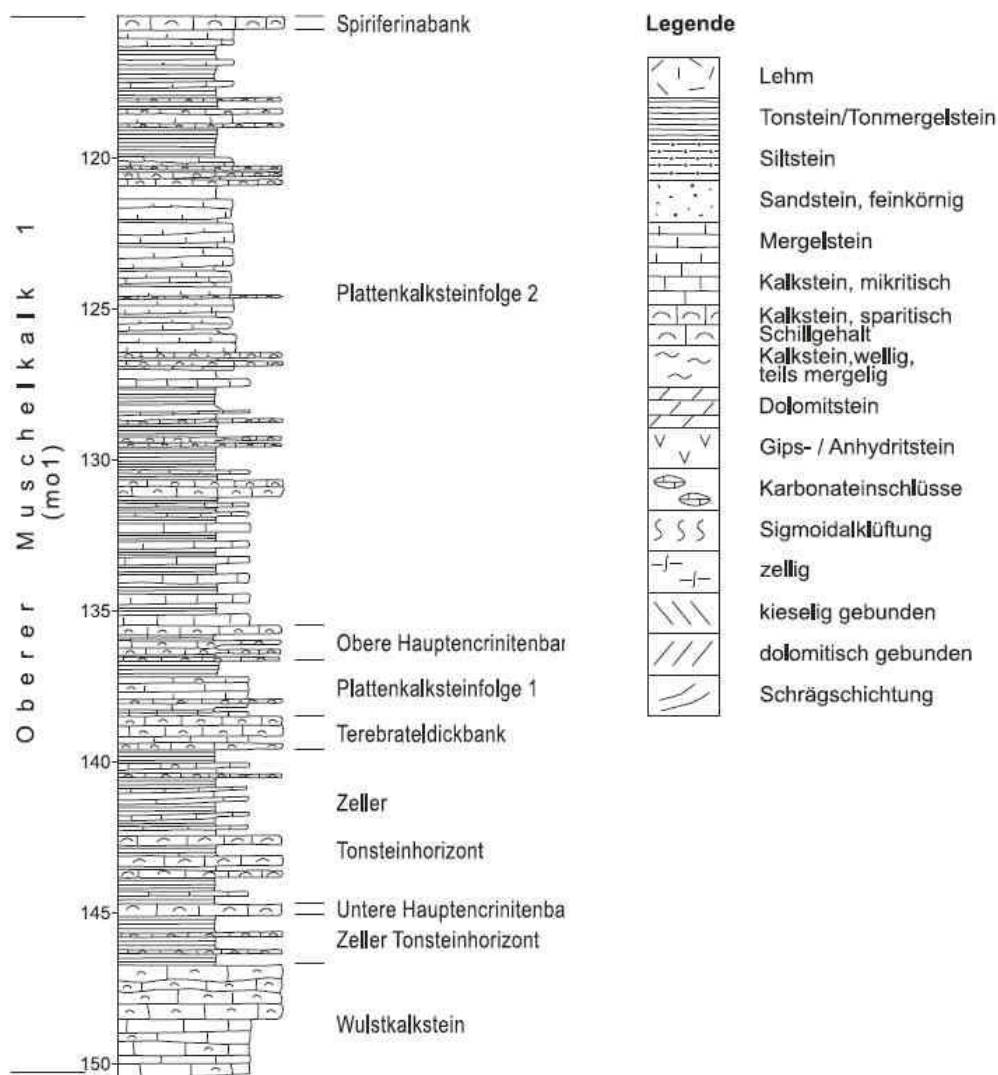


Abbildung 5: Profil des Oberen Muschelkalk 1 Bohrung Werneck B1 [14]

Der **Oberer Muschelkalk 2 (mo2)** baut sich aus den Plattenkalksteinfoigen 3 bis 5 sowie den Tonsteinhorizonten 1 bis 3 auf. Hierbei wechseln die plattigen, mikritische Kalk- und Mergelsteine der Plattenkalksteinfoigen, in die die sparitische, schillführende Kalksteinbänke ein-

geschaltet sind mit den Tonsteinhorizonten. Den Abschluss des Oberen Muschelkalk 2 bildet mit der Cycloidesbank wieder eine sparitische, schillführende Kalksteinbank.

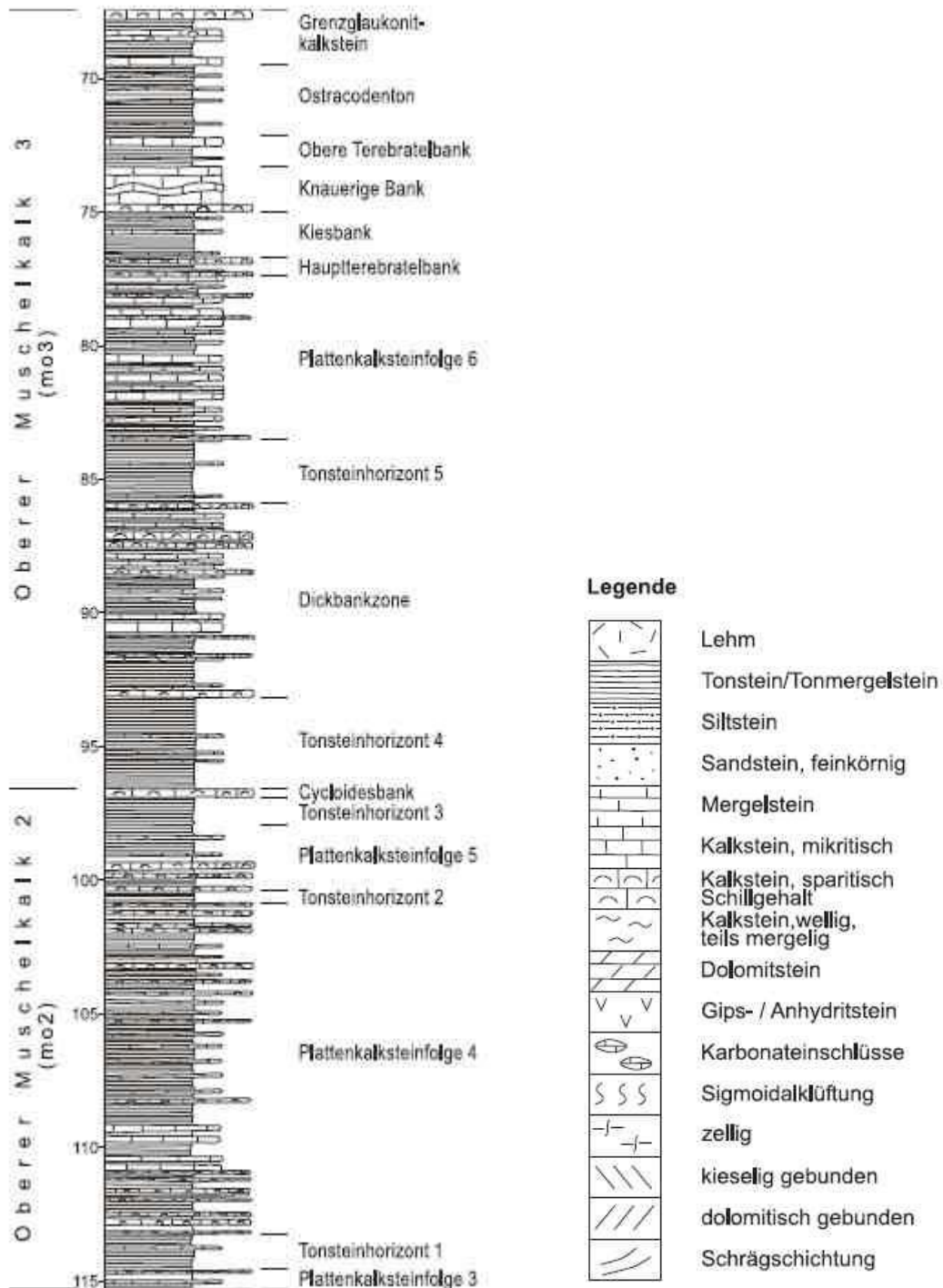


Abbildung 6: Profil des Oberen Muschelkalk 2 und 3 Bohrung Werneck B1 [14]

Der **Obere Muschelkalk 3 (mo3)** wird in der durch die Tonsteinhorizonte 4 und 5, die Plattenkalksteinfole 6, die Dickbankzone, eine Reihe von sparitischen aber auch mikritischen Kalkbänken aufgebaut. Den Abschluss des Profils bilden der Ostracodenton sowie der Grenzglaukonitkalkstein.

Im Oberen Muschelkalk 3 (mo3) ist im Untersuchungsraum zwischen der Quaderkalkfazies im zentralen, südlichen und westlichen Untersuchungsraum und der im Normalprofil beschriebenen Normalfazies¹ im nördlichen und östlichen Untersuchungsraum zu unterscheiden (siehe auch 3.3). [4]

Die Quaderkalkfazies ist gekennzeichnet durch Einschaltungen mächtiger Schüttungen von grob gebankten, schillführenden, sparitischen Kalksteinen, den s.g. Quaderkalkbänken. Diese Einschaltungen kommen dabei vor allem zwischen den Tonsteinhorizont 5 und der Hauptterbratelbank sowie zwischen dem Gelben Kipper und dem Ostracodenton vor. Die Quaderkalkbildungen erreichen im zentralen Verbreitungsgebiet meist Mächtigkeiten zwischen 8 und 12 m, maximal von 16,7 m bei Westheim. Zum Rand des Verbreitungsgebietes werden die Quaderkalke zunehmend geringmächtiger und keilen an der Verbreitungsgrenze schließlich ganz aus. Während der Obere Muschelkalk 3 im Bereich der Normal- und Uffenheimer Fazies maximale Mächtigkeiten von 30 m erreicht, kann er im Verbreitungsgebiet der Quaderkalkfazies bis zu 35 m mächtig werden.

3.1.3 Keuper (k)

Im Untersuchungsraum sind der Untere Keuper sowie der liegende Teil des Mittleren Keupers ausgebildet. Auf Grund des flach nach Südosten gerichteten Schichteneinfallens kommen die Sedimente des Keupers in den Tallagen im westlichen Untersuchungsraum erosionsbedingt nicht vor. Erst in den Hochlagen des zentralen Untersuchungsraums sind die Schichten des Keupers an der Oberfläche ausgebildet. Die größten im Untersuchungsraum erhaltenen Mächtigkeiten der Keupersedimente werden am östlichen Rand gemessen.

3.1.3.1 Unterer Keuper (ku)

Der Untere Keuper (ku) gliedert sich im Untersuchungsraum in die Unteren Tonsteingelbkalkschichten (ku1), den Werksandstein-Bereich (kuW), die Oberen Tonsteingelbkalkschichten (ku2) und den Grenzdolomit (kuD). Im Untersuchungsraum liegen die Mächtigkeiten des Unteren Keupers verbreitet um etwa 35 bis 40 m. Die minimalen Mächtigkeiten im Untersuchungsraum liegen bei rd. 31 m und die maximalen bei mehr als 50 m im Osten/Südosten.

¹ Im nordwestlichen Untersuchungsraum als Ton- oder Tonplattenfazies sowie im östlichen Untersuchungsraum als Uffenheimer-Fazies bezeichnet.

Die **Unteren Tonstein-Gelbkalkschichten (ku1)** besitzen im Untersuchungsraum eine Mächtigkeit von etwa 12 m. Sie bauen sich aus einer Abfolge von schiefrigen Tonsteinen mit Schluffsteinlagen sowie Sand-, Mergel-, Kalk- und Dolomitsteinbänken auf. Als Leithorizonte bemerkenswert sind vor allem Wagners Plattenhorizont und die Hauptquarzitschieferplatten. Der meist 0,2 bis 0,9 m mächtige Wagners Plattenhorizont wird aus einem teils kieseligen sehr harten, teils feinsandigen, teils tonigen teils mergelig oder kalkigen Schluff- bis Tonstein gebildet. Die etwa 0,3 m mächtigen Hauptquarzitschieferplatten werden aus einem kieseligen, sehr harten Schluffstein aufgebaut. Im Hangenden der Abfolge können lokal pyrithaltige Lettenkohlen auftreten.

Der **Werksandstein-Bereich (kuW)** mit verbreiteten Mächtigkeiten im Untersuchungsraum von meist etwa 5 bis 7 m, lokal im Osten/Südosten bis rd. 14 m wird aus einem feinkörnigen, tonigen, glimmerführenden Sandstein gebildet. Die einzelnen Sandsteinbänke werden dabei durch feinsandige Schluff- und schluffigen Tonsteinlagen voneinander getrennt. Innerhalb der Abfolge können lokal pyrithaltige Lettenkohlen auftreten.

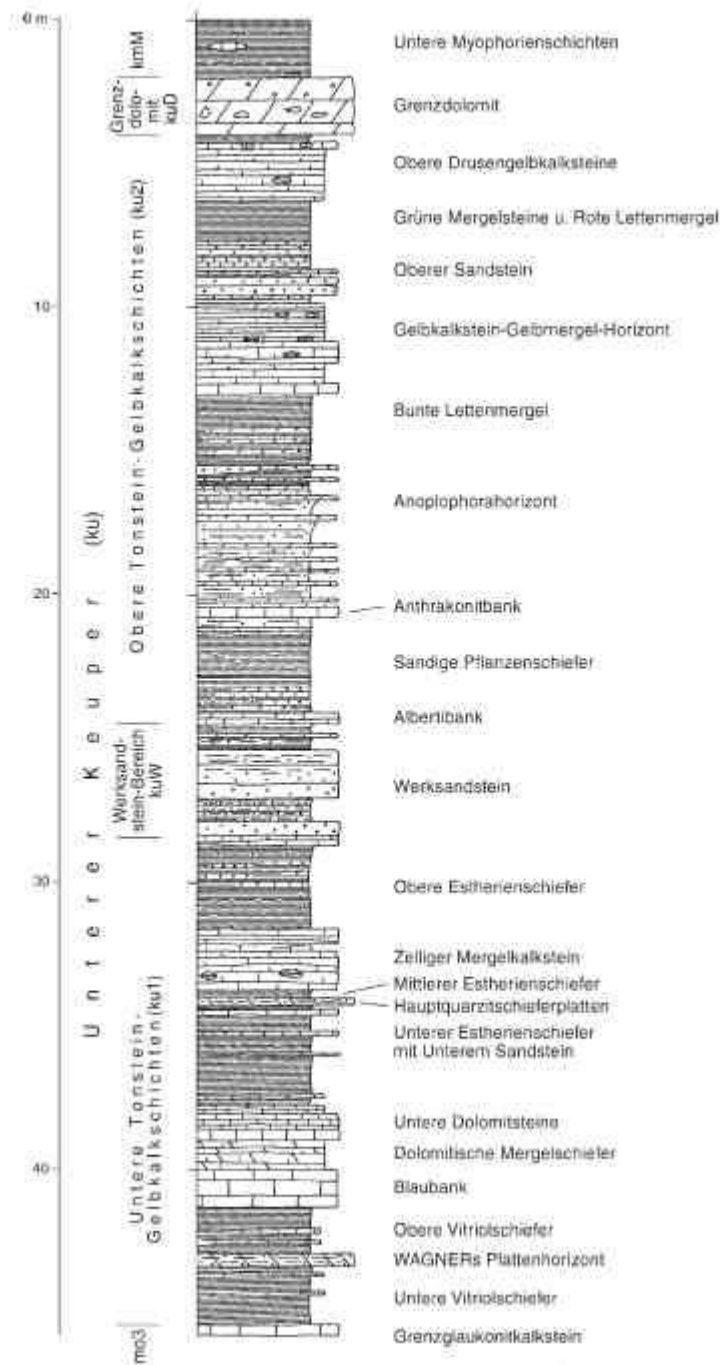


Abbildung 7: Profil für den Unteren Keuper auf Blatt 6126 aus [10]

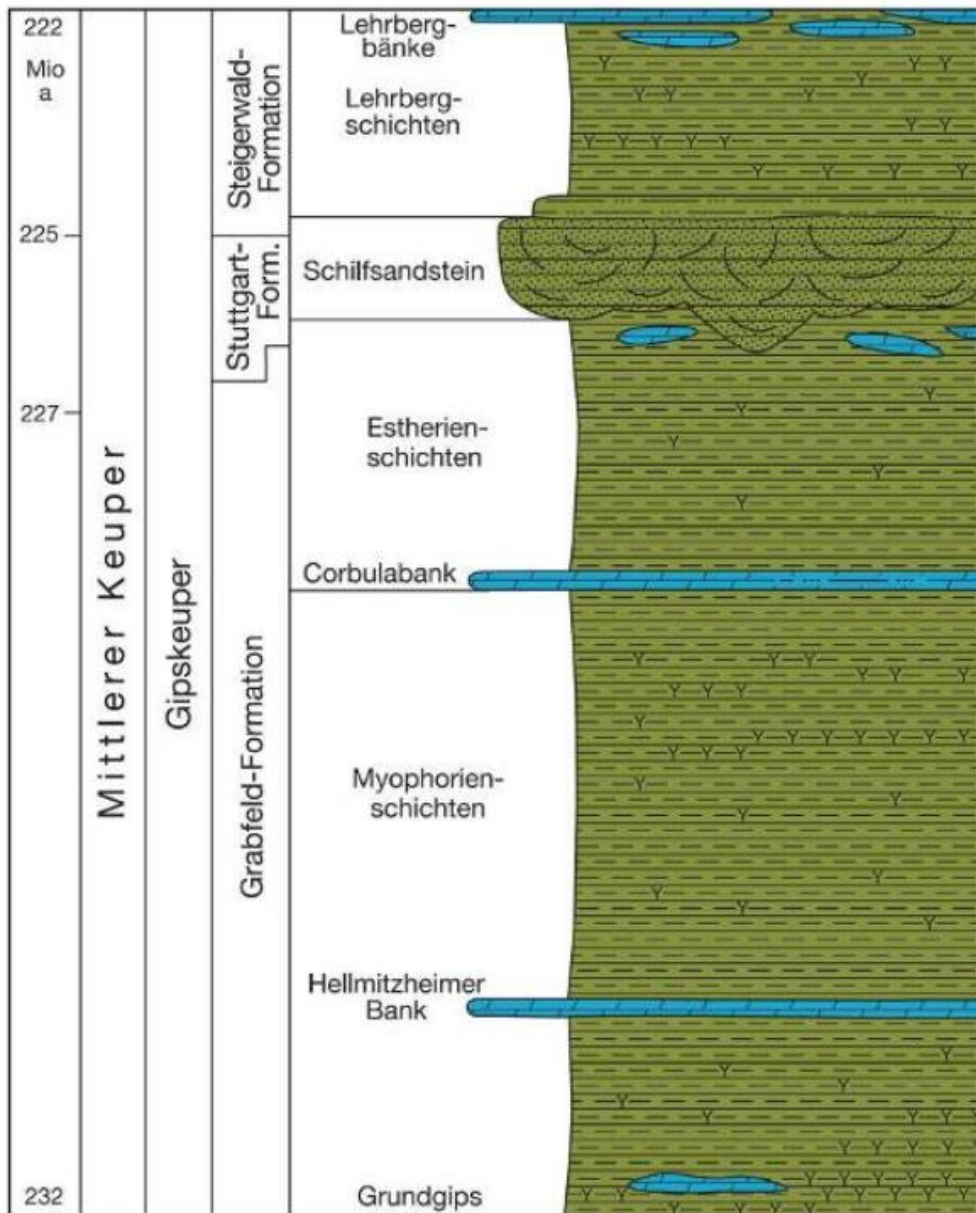
Die **Oberen Tonstein-Gelbkalkschichten (ku2)** besitzen im Untersuchungsraum verbreitet eine Mächtigkeit um etwa 15 bis 16 m. Sie bauen sich aus einer Abfolge von schluffigen, feinsandigen Tonsteinen auf, in die charakteristische Dolomit-, Kalk- Mergel- und Sandsteinbänke eingeschaltet sind. Als wichtigste stratigraphische Leithorizonte werden dabei die Albertibank (0,4 bis 1,0 m mächtiger, Dolomit- oder Kalk(mergel)stein), die Anthrakonitbank (0,2 bis 0,4 m mächtiger, teils dolomitischer Kalkstein), der Anoplophorasandstein (1 bis 4 m mächtiger, fein-

körniger, schluffiger, tonig gebundener Sandstein) und der Obere Sandstein (0,6 bis 1,8 m mächtiger, feinkörniger toniger Sandstein) ausgehalten. Innerhalb der Abfolge treten lokal pyrihaltige Lettenkohlen auf.

Der **Grenzdolomit kuD** besitzt im Untersuchungsraum eine Mächtigkeit von ca. 3 bis 4 m [10]. Er ist als harter Dolomit- oder als dolomitischer Kalkstein ausgebildet.

3.1.3.2 Mittlerer Keuper (km)

Vom Mittleren Keuper ist im Untersuchungsraum erosionsbedingt nur der liegende Teil der Grabfeld-Folge mit den Myophorienschichten im Liegenden und den Estherien-Schichten im Hangenden ausgebildet. Die jüngeren Schichten des mittleren Keupers (Sandsteinkeuper) sind erst am Ostrand des Untersuchungsraumes sowie den östlich anschließenden Bereichen erhalten. Ein Profil durch den mittleren Keuper des östlichen Untersuchungsraumes sowie der östlich anschließenden Gebiete ist der Abbildung 8 zu entnehmen.



Stratigrafie des Gipskeupers
 Sandstein
 ▨ Dolomit
 ——— Tonstein
 Y Gips, Anhydrit

Abbildung 8: Profil durch den Mittleren Keuper [19]

Die **Myophorien-Schichten (kmM)** bauen sich im Wesentlichen aus einer Abfolge von mergeligen (dolomitischen) Tonsteinen auf, in die geringmächtige Steimergelbänke, wie z.B. die Bleiglanzbank sowie meist geringmächtige Gipslagen eingeschaltet sind. Hydrogeologisch von Bedeutung sind die Grundgips-Schichten an der Basis der Abfolge. Die Grundgips-Schichten

werden im Wesentlichen aus massigen Gipsen im Liegenden (Felsengips) sowie plattigen Gipsen im Hangenden (Plattengips) mit zwischengeschalteten Steinmergelbänken (Grottschichten bzw. Grind) und Tonmergeln gebildet. Bereichsweise sind die Grundgipsschichten im Untersuchungsraum auch als Wechselfolge von Gips/Anhydrit und Tonmergeln ausgebildet. Die primär als Gips abgelagerten Sulfate wurden im Laufe der Diagenese zu Anhydrit umgewandelt. Aus diesem Grund sind die Grundgips-Schichten bei mächtiger Überdeckung auch als Anhydrit ausgebildet. In Oberflächennähe ist der Anhydrit unter dem Einfluss des Grundwassers heute wieder zu Gips umgewandelt. Direkt am Schichtausbiss sind für den Bereich der oberflächennah anstehenden Grundgips-Schichten in den Erläuterungen zu den geologischen Karten 1:25.000 auch zahlreiche Karsterscheinungen beschrieben. Dort wo die Sulfate der Grundgips-Schichten der Subrosion zum Opfer gefallen sind, ist dieser Teil der Schichtenfolge als Residualton ausgebildet.

Im Untersuchungsraum sind die Myophorien-Schichten grundsätzlich tonig/mergelig und sulfatisch ausgebildet. Die sandige Fazies der Myophorien-Schichten, der Benker Sandstein ist erst deutlich südöstlich des Untersuchungsraums ausgebildet.

Für die gesamte Abfolge der Myophoriens-Schichten werden im Untersuchungsraum Mächtigkeiten von minimal rd. 60 m im Süden bis zu maximal 83 m im Norden angegeben [1], [3], [4] und [9]. Die Grundgips-Schichten an der Basis der Abfolge besitzen im Untersuchungsraum Mächtigkeiten zwischen 0 m [9] im Nordwesten und 6 bis 8 m [1] u. [3] im Osten.

Die **Estherien-Schichten (kmE)** sind nur am östlichen Rand des Untersuchungsraums ausgebildet. Sie streichen am Westrand des Steigerwaldes an der Erdoberfläche aus. Im Steigerwald selbst werden die Estherien Schichten meist vom Schilfsandstein sowie weiter in östliche Richtung von zunehmend jüngeren Schichten des Keupers überlagert. Im westlichen und zentralen Teil des Untersuchungsraums sind die Schichten erosionsbedingt nicht ausgebildet.

Die Estherien-Schichten bauen sich im Wesentlichen aus einer Abfolge von teils schluffigen, teils glimmerführenden, meist mergeligen, schiefrig bis blättrig verwitternden Tonsteinen mit zwischengeschalteten Steinmergelbänken auf. Die Basis der Schichtenfolge wird mit der Corbula-Bank, einer dolomitisch gebundenen feinsandigen Ton- bis Feinsandsteinlage gebildet. Insgesamt werden für die Estherien-Schichten im Untersuchungsraum Mächtigkeiten von meist etwa 15 bis 50 m [1] u. [3] angegeben.

3.1.4 Quartär

Den hangenden Abschluss der Schichtenfolge bilden die Lockergesteine des Quartärs. Hierbei sind in erster Linie eine quartäre Boden- und Verwitterungszone, äolische Bildungen (Löß/Lößlehm) und fluviatile Bildungen der Flusstäler (Sande und Kiese des Maintals) zu unterscheiden.

Von hydrogeologischer Bedeutung sind vor allem die fluviatilen Sedimente der Flusstäler. Diese bauen sich in der Regel aus einer unterschiedlich mächtigen Abfolge von Kiesen und Sanden im Liegenden und Hochflutsedimenten im Hangenden auf. Die Mächtigkeit der gesamten Abfolge sowie der Kiese und Sande im Liegenden und der Hochflutsedimente im Hangenden variiert relativ kleinräumig zwischen 0 m am Talrand (Schichtausbiss) und bis zu 45 m im Tiefsten einer durch Subrosion des Mittleren Muschelkalks angelegten Rinne bei Sulzfeld. Für die Bereiche ohne fluviatile oder äolische Bildungen wird von einer rd. 3 m mächtigen Verwitterungsdecke ausgegangen. Für die Bereiche mit äolischen Bildungen wird zusätzlich von einer 2 m mächtigen Löss/Lösslehm bzw. Flugsanddecke ausgegangen

Lithologisch sind die fluviatilen quartären Sedimente des Maintals als Sande- und Kiese ausgebildet. Gelegentlich sind in diese fluviatilen Bildungen vom Talrand ausgehende Schüttungen von Hanglehmen eingeschaltet.

3.2 Schichtlagerung / Tektonik

Der Untersuchungsraum liegt großtektonisch im Bereich der Süddeutschen Großscholle. Großräumig liegt im Untersuchungsraum und dessen Umfeld ein flaches von der Spessart-Röhn-Schwelle im Nordwesten nach Südost gerichtetes Schichteinfallen vor. Regional und auch lokal wird dieses generelle Einfallen jedoch auch von regionalen und lokalen tektonischen Strukturen überprägt.

Eine Übersicht über die Schichtlagerung im Untersuchungsraum ist der Anlage 3.6 zu entnehmen. Dort ist die Teufenlage der Schichtgrenze zwischen Oberen Muschelkalk und Unteren Keuper gemeinsam mit den kartierten und vermuteten Störungen sowie den aus der Schichtlagerung abgeleiteten Sattel- und Muldenstrukturen dargestellt. Die Darstellung der Schichtlagerung basiert im Wesentlichen auf den Schichtlagerungskarten der geologischen Karten für die Blätter 6127 (Volkach), 6225 (Würzburg Süd), 6226 (Kitzingen), 6227 Iphofen, 6228 (Wiesentheid), 6323 (Ochsenfurt), 6327 (Markt Einersheim) und 6328 (Scheinfeld), der Höhenlage der auf diesen Kartenblättern kartierten Schichtausbisse, den kartierten Störungen bzw. Verwerfungen sowie den vorliegenden Bohrungsdaten.

Im Bereich des Gewinnungsgebietes Sulzfeld Marktsteft liegt regional ein von Hochlagen im Südwesten auf eine Senkungszone an einer zwischen Kitzingen über Mainbernheim bis westlich Willanzheim verlaufenden Störungszone im Nordosten vor. Lokal wird dieses regionale Schichteinfallen von lokalen Sattelstrukturen z.B. östlich von Erlach, nördlich von Frickenhausen oder südwestlich von Willanzheim sowie von einer zwischen Ochsenfurt, Segnitz, Michelfeld bis südlich Mainbernheim verlaufenden Muldenstruktur überprägt.

Bruchtektonisch auffälligstes Element ist eine von Rottendorf bis nördlich Kitzingen und im weiteren Verlauf von Kitzingen über Mainbernheim bis östlich Wilanzheim verlaufende Störungszone, an der sich teilweise tiefe Grabenstrukturen gebildet haben. Darüber hinaus sind im Untersuchungsraum aber auch zahlreiche weitere, meist Westnordwest-Ostsüdost streichende Störungen, die im Osten und Süden des Untersuchungsraums auch auf ein Nordwest-Südost bis Nordnordwest-Südsüdost gerichtetes Streichen umbiegen kartiert. Kleintektonisch ist in neben der Hauptrichtung der großtektonischen meist um Westnordwest-Ostsüdost streichenden Hauptrichtung eine weitere annähernd rechtwinklig dazu verlaufende, Nordnordost-Südsüdwest streichende Hauptkluftrichtung dokumentiert. Die für den Untersuchungsraum dokumentierten Störungen fallen meist sehr steil zwischen 70 und 80 Grad in unterschiedliche Richtungen ein.

Im Bereich zwischen Mainstockheim im Norden bis südlich Kitzingen zeigen die kartierten Höhen der Schichtausbisse einen sehr deutlichen Höhenversatz. Aus diesem Grund wird in diesem Bereich eine in etwa dem Maintal folgende, Nordnordwest-Südsüdost streichende Störung vermutet.

Oberflächennah sind vor allem entlang des Maintals sowie dessen Nebentälern etwa hangparallel verlaufende Klüfte der Hangzerreißungszonen zu erwarten, die oberflächennah erhöhte Wasserwegsamkeiten bilden können.

Aus den für den Untersuchungsraum dokumentierten, in etwa rechtwinklig zueinander verlaufenden Hauptkluftrichtungen ergibt sich aus hydraulischer Sicht keine bevorzugte richtungsabhängige Wasserwegsamkeit. Für die im Untersuchungsraum kartierten Störungen muss jedoch von einer relevanten Auswirkung auf die Gebirgsdurchlässigkeit ausgegangen werden. Quer zur Störungsrichtung müssen verringerte Durchlässigkeiten angenommen werden. In Störungsrichtung (horizontal und vertikal) sind dagegen entlang der Störungen eher erhöhte Durchlässigkeiten zu erwarten. Aus diesem Grund können sich entlang der Störungszonen bevorzugte Fließwege sowie Verbindungen zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken ergeben. Daten die eine Quantifizierung der Anisotropie der Durchlässigkeitsverteilung im Grundwasserleiter erlauben liegen nicht vor. Für einige wichtige regionale Wassergewinnungen wie z.B. die „Bahnhofsquellen“ in Würzburg oder auch die Brunnen der LWK bei Kitzingen und Albertshofen wird ein Hauptzustrom über bevorzugte Wegsamkeiten entlang der Hauptkluft- und Hauptstörungsrichtung angenommen.

In den Anlagen 3.8.1 (Basis Unterer Muschelkalk), 3.8.2 (Basis Mittlerer Muschelkalk), 3.8.3 (Basis Oberer Muschelkalk), 3.8.4 (Basis Unterer Keuper) und 3.8.5 (Basis Mittlerer Keuper) sind die aus der generellen Schichtlagerung (dokumentiert in Anlage 3.6) sowie der jeweils erbohrten Teufenlage oder kartierten Höhenlage der einzelnen Schichten abgeleiteten Teufenlagen der genannten stratigraphischen Schichten im Untersuchungsraum dokumentiert. Die in Anlage 3.8.6 dokumentierte Teufenlage der Quartärbasis ist im Verbreitungsgebiet der fluviati-

len Sedimente des Maintals aus den vorhandenen Bohrungsdaten abgeleitet. Für die Bereiche ohne Überdeckung wird von einer 3 m mächtigen quartären Verwitterungsdecke ausgegangen, die hier beim Schichtaufbau mit zum Quartär gezählt wird. In den Bereichen mit äolischen Deckschichten (Löss, Lösslehm oder Flugsand) wird zusätzlich zur Verwitterungsdecke von einer 2 m mächtigen quartären Überdeckung ausgegangen.

In den Anlagen 3.7.1 und 3.7.2 sind ergänzend zu den Basiskarten der verschiedenen stratigraphischen und hydrostratigraphischen Einheiten die Lagerungsverhältnisse im Modellraum in Form von Profilschnitten dargestellt. Darüber hinaus sind die Lagerungsverhältnisse für den Nahbereich der Gewinnung Sulzfeld / Marktsteft, speziell der Anschluss der quartären Rinnestruktur an den Mittleren Grundwasserleiter im Muschelkalk (MGWL) in Form von drei Detailschnitten in den Anlagen 3.7.3, 3.7.4 und 3.7.5 dargestellt.

4 Modellraum

4.1 Abgrenzung des Bilanz- und Modellraums

Die Begrenzung des eigentlichen Bilanz- und Modellraumes erfolgt entlang von hydraulischen Grenzen, über die hinaus im Idealfall kein Grundwasseraustausch erfolgt. Festlegung der Grenzen von Bilanz- und Modellraum erfolgte in einem iterativen Vorgehen unter Beachtung der geologischen und hydraulischen Gegebenheiten, die erst in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Für eine klare begriffliche Definition des Bilanz- und Modellraumes in den folgenden Erläuterungen wird die Abgrenzung von Bilanz- und Modellraum schon an dieser Stelle beschrieben. Für den vorliegenden Fall bieten sich die folgenden Grenzen zur Begrenzung von Bilanz- und Modellraum an (siehe auch Anlage 1.5):

- Im Liegenden wird der Bilanz- und Modellraum durch die Oberen Röttonsteine begrenzt, die im Allgemeinen nur eine geringe Durchlässigkeit besitzen.
- Im Hangenden wird der Bilanz- Modellraum an der Geländeoberkante als Oberkante aller denkbaren Grundwasserleiter begrenzt.
- Im Südwesten bilden der Breitbach von Obernbreit bis zur Mündung bei Marktbreit sowie der Main zwischen der Mündung des Breitbaches bei Marktbreit bis nach Eibelsstadt die Grenze des Bilanz- und Modellraumes. Das ist möglich, da Breitbach und Main in diesem Bereich den relevanten Vorfluter bilden, der hier auch einen guten hydraulischen Anschluss an das Grundwasser im Muschelkalk hat.
- Im Nordwesten wird der Modellraum an einer zwischen Eibelsstadt im Südwesten bis westlich Mainstockheim im Nordosten verlaufenden Trennstromlinie begrenzt.
- Im Norden bei Albertshofen erfolgt auf dem Niveau des MGWL ein Zustrom in den Bilanz- und Modellraum und im weiteren Verlauf eine von Buchbrunn bis westlich Mainstockheim sowie eine von Albertshofen bis Dornheim verlaufende Trennstromlinie die Grenzen von Bilanz- und Modellraum.

- Im Südosten bildet eine zwischen dem Breitbach bei Obernbreit bis Dornheim verlaufende Trennstromlinie die Grenzen von Bilanz- und Modellraum.

Insgesamt umfasst der oben beschriebene Modellraum eine Fläche von rd. 235 km². Im vorliegenden Fall sind Bilanz- und Modellraum identisch.

4.2 Vertikale Strukturierung, Hydrostratigraphie

Der aus den Schicht für Schicht abgelagerten Sedimenten aufgebaute Modellraum kann auf Grundlage der hydraulischen Eigenschaften der abgelagerten Sedimente (abgeleitet aus den Beschreibungen dieser Schichten in den Erläuterungen zu den geologischen Karten) in die im Folgenden aufgeführten hydrostratigraphischen Einheiten (=Modellschichten) gegliedert werden.

Die Grundwasserleiterbasis für die Grundwässer im Muschelkalk des Untersuchungsraums wird durch die Grundwassergeringleiter der Oberen Röttonsteine im hangenden Teil des Oberen Buntsandsteins gebildet.

Im Hangenden der Oberen Röttonsteine bildet die gesamte Schichtenfolge des Unteren Muschelkalks gemeinsam mit dem etwa 3,5 m mächtigen Unteren Dolomit des Mittleren Muschelkalks ein gemeinsames Grundwasserstockwerk. Dieser Grundwasserleiter wird im Folgenden als **Unterer Grundwasserleiter (UGWL)** im Muschelkalk bezeichnet. Dieses Grundwasserstockwerk weist im Untersuchungsraum eine Mächtigkeit zwischen etwa 88 bis 96 m auf. Die Basisteufe dieses Grundwasserleiters (=Basis des Unteren Muschelkalks) ist in der Anlage 3.8.1 dargestellt.

Das Basissulfat, das Untere Steinsalzlager, das Untere Sulfat, das Obere Steinsalzlager, der Mittlere Dolomit und das Obere Sulfat des Mittleren Muschelkalks bzw. deren Residualbildungen bilden einen Grundwassergeringleiter zwischen dem Unteren und Mittleren Grundwasserleiter im Muschelkalk (UGWL und MGWL). Die Mächtigkeit dieses Teils der Schichtenfolge, die im Folgenden als **Grundwassergeringleiter im Mittleren Muschelkalk (GWGL mm)** bezeichnet wird (Basisteufe siehe Anlage 3.9.1) variiert zwischen minimal etwa 15 m im subrodierten Profil am Schichtausbiss und rd. 101 m bei vollständiger Erhaltung des Profils unter mächtiger Überdeckung.

Im Hangenden des Oberen Sulfats im Mittleren Muschelkalk befindet sich das **Mittlere Grundwasserstockwerk im Muschelkalk (MGWL)** (Basisteufe siehe Anlage 3.9.2). Es beginnt im Liegenden mit dem Oberen Dolomit des Mittleren Muschelkalks. Die Basis des Mittleren Grundwasserstockwerks liegt damit im Untersuchungsraum etwa 12 m unter der Basis des Oberen Muschelkalks. Im Hangenden reicht das Mittlere Grundwasserstockwerk bis zum

Top der Plattenkalksteinfole 3. Diese liegt im Mittel etwa 32 m (minimal rd. 25 m, maximal rd. 42 m) über der Basis des Oberen Muschelkalks. Die Mächtigkeit des Mittleren Grundwasserstockwerks im Muschelkalk liegt damit im Mittel bei etwa 44 m (minimal rd. 36 m, maximal rd. 54 m).

Die Tonsteinhorizonte 1 bis 4 mit den dazwischengeschalteten Plattenkalksteinfole 4 und 5 sowie der Cycloidesbank werden zum **Grundwassergeringleiter im Oberen Muschelkalk (GWGL mm)** (Basisteufe siehe Anlage 3.9.3) zwischen dem Mittleren (MGWL) und Oberen (OGWL) Grundwasserstockwerk im Muschelkalk zusammengefasst. Im Mittel liegt die Mächtigkeit dieses Teils der Schichtenfolge bei etwa 20 m (minimal rd. 15 m, maximal rd. 26 m).

Über dem Grundwassergeringleiter im Oberen Muschelkalk (GWGL mm) bildet die Schichtenfolge von der Dickbankzone im Liegenden bis zum Grenzglaukonitkalkstein mit dem Grenzbonebed an der Grenze zwischen Oberen Muschelkalk und Unteren Keuper im Hangenden das **Obere Grundwasserstockwerk im Muschelkalk (OGWL)** (Basisteufe siehe Anlage 3.9.4). Die Mächtigkeit des OGWL liegt im Mittel bei etwa 26 m (minimal rd. 21 m, maximal rd. 33 m).

Die Unteren Tonstein-Gelbkalkschichten des Unteren Keupers bilden den im Untersuchungsraum rd. 12 m mächtigen **Unteren Grundwassergeringleiter im Unteren Keuper (GWGL ku1)** (Basisteufe siehe Anlage 3.8.4)

Die im Mittel etwa 8 m (minimal rd. 5 m, maximal rd. 14 m) mächtige Werksandsteinzone des Unteren Keupers (Basisteufe siehe Anlage 3.9.5) bilden das **Grundwasserstockwerk im Unteren Keuper (GWL ku)**.

Über den Werksandsteinen bilden die im Mittel 18 m (minimal rd. 11 m, maximal rd. 29 m) mächtigen Oberen Tonstein-Gelbkalkschichten (Basisteufe siehe Anlage 3.9.6) den **Oberen Grundwassergeringleiter im Unteren Keuper (GWGL ku2)**.

Der etwa 3 m mächtige Grenzdolomit im hangenden Teil des Unteren Keupers (Basisteufe siehe Anlage 3.9.7) und die in oberflächennähe verkarsteten im Untersuchungsraum etwa 8 m mächtigen Grundgipsschichten an der Basis des Mittleren Keupers bilden den **Grundwasserleiter des Unteren/Mittleren Keupers (GWL ku-km)**.

Die 40 bis 75 m mächtigen Myophorienschichten oberhalb der Grundgipsschichten (Basisteufe siehe Anlage 3.9.8) sowie die darüber befindlichen Estheriensschichten bilden im Untersuchungsraum den **Grundwassergeringleiter des Mittleren Keupers (GWGL km)**.

Über den Festgesteinen von Muschelkalk und Keuper befinden sich noch die Lockergesteine des Quartärs. Hierbei ist in erster Linie zwischen einer quartären Verwitterungs- und Boden-

zone, äolischen Bildungen (Löss, Lösslehm und Flugsand) sowie den fluviatilen Bildungen der Täler zu unterscheiden.

Die meist geringmächtigen äolischen Bildungen des Quartärs sowie die oberflächennahe Verwitterungszone liegen verbreitet über dem Grundwasserspiegel und besitzen deshalb in der Regel keine Bedeutung für die Grundwasserhydraulik im Modellraum. Aus diesem Grund werden sie im Folgenden nicht weiter betrachtet. Für die Prozesse in der ungesättigten Zone, wie z.B. den Vorgang der Grundwasserneubildung und auch den Nitrateintrag aus dem Boden in das Grundwasser sind diese Bildungen jedoch zu beachten.

Im Bereich der Flusstäler erreichen die fluviatilen quartären Sedimente Mächtigkeiten von bis zu rd. 45 m bei Sulzfeld. Im Bereich außerhalb der Flusstäler wird einheitlich von einer Mächtigkeit der quartären Verwitterungs- und Bodenzone von im Mittel 3 m und für die äolischen Bildungen von 2 m ausgegangen. Die Teufenlage der Quartärbasis im Modellraum ist der Anlage 3.8.6 zu entnehmen. Die quartäre Rinnenstruktur des Maintales, in dem die Brunnen der Gewinnung Sulzfeld / Marktsteft verfiltert sind ist für den Nahbereich der Gewinnung zwischen Marktbreit und Kitzingen in der Anlage 3.8.7 dargestellt. Die durch Subrosionsvorgänge im Mittleren Muschelkalk bedingte Rinnenstruktur, in der das Quartär bei Sulzfeld eine maximale Mächtigkeit von rd. 45 m erreicht, lässt sich im Maintal etwa für den Bereich zwischen den Staustufen Kitzingen und Marktbreit aushalten. In den ober- und unterstromig anschließenden Bereichen ist diese Subrosionsstruktur nicht mehr nachweisbar. Dort sind die Quartärmächtigkeiten mit Werten von meist deutlich unter 10 m wesentlich geringer.

Hydrogeologisch von Bedeutung sind die fluviatilen Sedimente der Flusstäler die als jüngstes Grundwasserstockwerk zwischen dem Grundwasserleitern der umgebenden Festgesteine und den Vorflutern vermitteln. Auf Grund von meist relativ hohen Durchlässigkeiten, einem vergleichsweise hohen Speichervermögen des Porengrundwasserleiters, der stützenden Wirkung der Oberflächengewässer auf den Grundwasserstand mit der Möglichkeit der Bildung von Uferfiltrat und meist günstigen Beschaffenheitsdaten wird dieser **quartäre Grundwasserleiter (GWL q)** dort wo er wassererfüllt und in ausreichender Mächtigkeit ausgebildet ist, wie im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft oft für die Grundwassergewinnung genutzt.

4.3 Horizontale Strukturierung

Bei der horizontalen Strukturierung des Modellraums wird im Wesentlichen die Verteilung der geohydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters (k_f -Wert/Transmissivität sowie Speicherkoeffizient/nutzbare Porosität) aus den zur Verfügung stehenden Daten abgeleitet. Datengrundlage dafür sind Angaben aus der Literatur z.B. zu geohydraulischen Eigenschaften, Pumpversuchsauswertungen aber auch Annahmen auf Grundlage von Gesteinsbeschreibungen und Erfahrungen vergleichbarer Einheiten.

Die aus dem Untersuchungsraum vorliegenden Angaben zu den aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeiten (k_f -Werte und Transmissivitäten) sind in der Anlage 3.10.1 sowie der Tabelle 1 zusammengestellt bzw. zusammengefasst.

Tabelle 1: Aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Werte [m/s]

GWL	Anmerkung	Minimum	Q1-Quartil	Median	Mittelwert	Q3-Quartil	Maximum
GWL q	6 Werte	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
GWL ku	1 Wert	$1,7 \cdot 10^{-4}$					
MGWL GWGL mo OGWL	5 Werte	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
MGWL+ GWGL mo	9 Werte	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$
MGWL	17 Werte	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$

Aus dem **Unteren Grundwasserleiter, UGWL** liegen für den Untersuchungsraum keine aus Pumpversuchen ermittelten Daten zu k_f -Werten oder Transmissivitäten vor. Da dieser Kluft-/Karstgrundwasserleiter im Untersuchungsraum nicht zu Tage tritt und er verbreitet unter einer mächtigen Überdeckung jüngerer Schichten liegt, wird von eher geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten (geschätzt $1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, im Mittel $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) ausgegangen.

Für den **Grundwassergeringleiter im Mittleren Muschelkalk, GWGL mm** liegen ebenfalls keine aus Pumpversuchen ermittelten Daten zu k_f -Werten oder Transmissivitäten vor. Auf Grund der erwarteten lithologischen Ausbildung werden für diese Einheit äußerst geringe bis sehr geringe Durchlässigkeiten ($< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) erwartet. Hierbei sind die äußerst geringen Durchlässigkeiten in den Bereichen mit noch vorhandenen Sulfat- und Steinsalzlagerstätten und die etwas größeren Durchlässigkeiten in den Bereichen mit subrodierten Sulfat und Steinsalzlagerstätten bzw. in Störungsnähe zu erwarten.

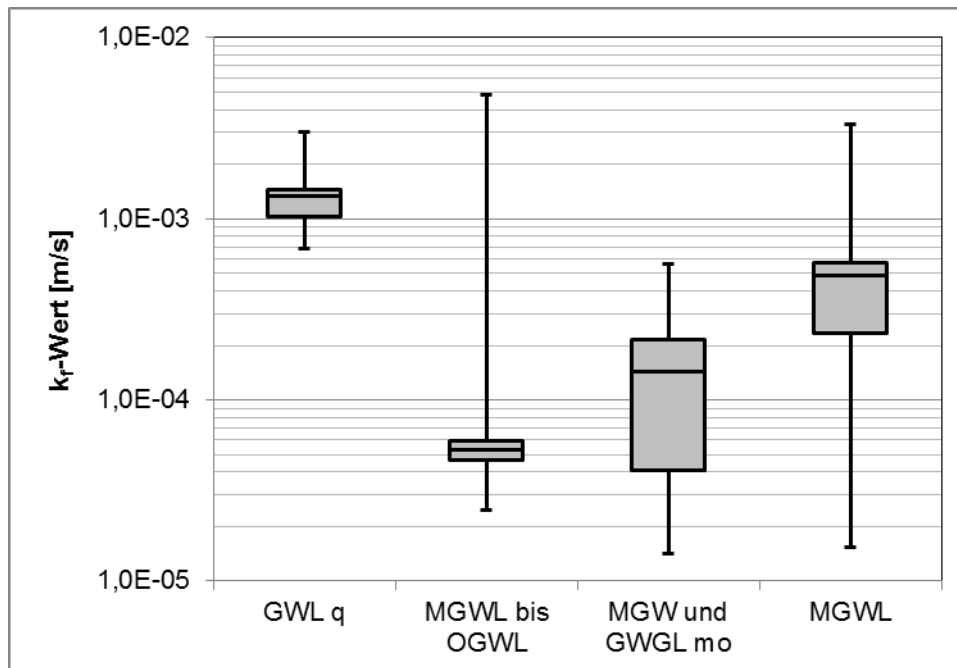


Abbildung 9: Aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Werte

Für den **Mittleren Grundwasserleiter MGWL** im Muschelkalk liegen insgesamt 17 aus Pumpversuchen ermittelte k_f -Werte vor. Die Werte variieren dabei zwischen $1,5 \cdot 10^{-5}$ und $3,3 \cdot 10^{-3}$ m/s. Der Median liegt bei $4,8 \cdot 10^{-4}$ m/s und der Mittelwert bei $6,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Im Untersuchungsraum bildet der MGWL damit den bedeutsamsten Grundwasserleiter, der auch für den Grundwasserzustrom zu der quartären Rinnenstruktur bei Sulzfeld/Marktsteft bestimmend ist.

Innerhalb des MGWL sind vertikal deutliche Unterschiede in der Durchlässigkeitsverteilung zu erwarten. Die höchsten Durchlässigkeiten werden im Niveau des Oberen Dolomits erwartet, wenn dieser in Folge der Subrosion der liegenden Sulfate und der auch noch auf diesen stratigraphischen Niveau primär vorkommenden Sulfatzwischenlagen als s.g. Zellenkalk ausgebildet ist. Mit dem Zeller Tonsteinhorizont existiert jedoch auch noch innerhalb des MGWL ein Niveau in dem eher geringe Durchlässigkeiten zu erwarten sind.

Die Daten wurden hinsichtlich eines signifikanten Zusammenhanges zwischen den ermittelten k_f -Werten und der Überdeckungsmächtigkeit untersucht (siehe Abbildung 10). Ein solcher Zusammenhang kann jedoch nicht nachgewiesen werden. Offensichtlich wird die Verteilung viel stärker von anderen, schwer zu erfassenden Faktoren, wie z.B. dem hydraulischen Anschluss der jeweiligen Bohrung an das Kluftnetz bzw. die Karsthohlräume bestimmt.

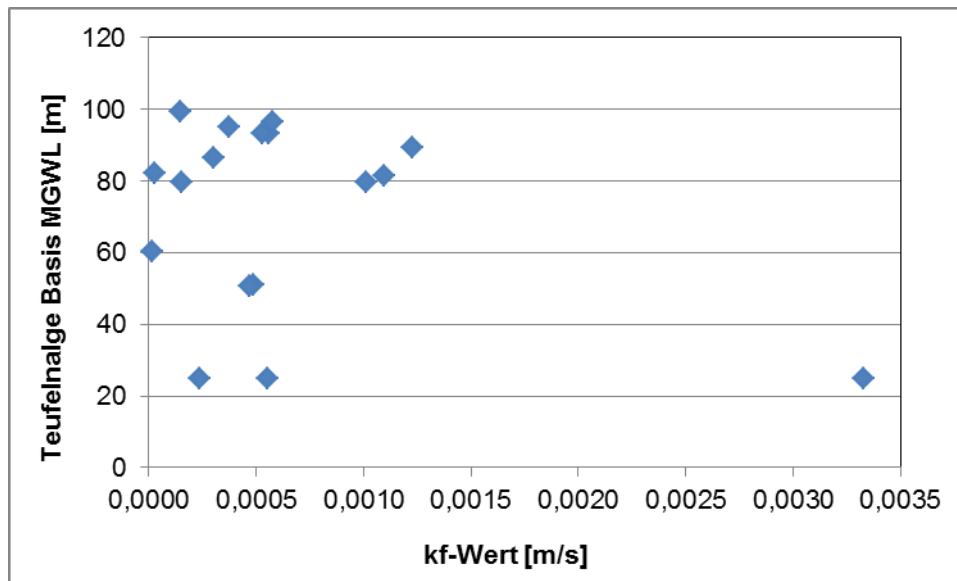


Abbildung 10: Plot der k_f -Werte des MGWL gegen die Teufenlage der GWL-Basis

Grundsätzlich ergeben sich aus dem geringen Gefälle der Grundwasseroberfläche in Mainnähe, vor allem im südlichen Maindreieck Hinweise auf eine hohe Durchlässigkeit in diesem Bereich. Mit zunehmender Entfernung vom Main werden dann eher geringere Durchlässigkeiten im MGWL erwartet. Ursächlich dafür dürfte der Subrosionszustand der Evaporite im Liegenden des MGWL sein. Dort wo die Evaporite subrodiert sind, ist die stärkste Auflockerung durch den Versturz des Hangenden der Evaporite im MGWL zu erwarten. Je weniger weit die Subrosion fortgeschritten ist, umso geringer werden die erwarteten Durchlässigkeiten im MGWL.

Vom **Grundwassergeringleiter im Oberen Muschelkalk, GWGL mo** liegen nur Daten von mischverfilterten Grundwasseraufschlüssen vor. Aus diesem Grund kann für diesen Horizont keine Durchlässigkeit direkt aus den Messwerten abgeleitet werden. Auf Grund der lithologischen Ausbildung handelt es sich bei dieser hydrostratigraphischen Einheit um eine Abfolge von Tonsteinen mit zwischengeschalteten Plattenkalksteinfohlen. Insgesamt wird für diese hydrostratigraphische Einheit von geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s) ausgegangen.

Auch vom **Oberen Grundwasserleiter, OGWL** im Muschelkalk liegen nur Daten von mischverfilterten Grundwasseraufschlüssen vor. Auf Grundlage der lithologischen Ausbildung wird von mäßigen bis mittleren k_f -Werten ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-3}$ m/s) ausgegangen.

Für den Grundwasserleiter im **Unteren Keuper, GWL ku** existiert im Untersuchungsraum ein aus Pumpversuchsdaten abgeleiteter k_f -Wert in Höhe von $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/s. Das erscheint auf Grundlage der lithologischen Ausbildung am oberen Ende des plausiblen Bereichs. Insgesamt

wird im Modellraum von geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $2 \cdot 10^{-4}$ m/s) ausgegangen.

Für die beiden **Grundwassergeringleiter im Unteren Keuper ku1 und ku2** wird auf Grundlage der lithologischen Ausbildung von geringen Durchlässigkeiten ($1 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) ausgegangen.

Der **Grundwasserleiter an der Grenze Unterer/Mittlerer Keuper, GWL ku-km** ist durch stark variable Durchlässigkeiten geprägt. Für den Grenzdolomit im Unteren Keuper werden auf Grundlage der lithologischen Ausbildung geringe bis mäßige Durchlässigkeiten ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s) erwartet. Die Grundgipsschichten des Mittleren Keupers können abhängig vom Subrusionsgrad äußerst geringe ($< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s) bis hohe ($> 1 \cdot 10^{-3}$ m/s) k_f -Werte aufweisen. Die hohen Durchlässigkeiten werden hierbei im Bereich des Schichtausbiss und die geringeren Durchlässigkeiten bei mächtiger Überdeckung erwartet.

Für die überlagernden **Grundwassergeringleiter des Mittleren Keupers, GWGL km** werden auf Grund der lithologischen Ausbildung geringe bis sehr geringe k_f -Werte ($1 \cdot 10^{-9}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) erwartet.

Aus dem **quartären Grundwasserleiter, GWL q** liegen insgesamt 6 aus Pumpversuchen ermittelte Durchlässigkeitswerte vor. Die Werte variieren zwischen rd. 0,7 und $3,0 \cdot 10^{-3}$ m/s in einem relativ engen Bereich. Im Mittel liegt die ermittelte Durchlässigkeit bei $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die vorliegenden Messwerte repräsentieren die Durchlässigkeit der fluviatilen, quartären Ablagerungen des Maintales bei Sulzfeld/Marktsteft. Für die Bereiche ohne fluviatile Sedimente, in denen entweder nur eine quartäre Verwitterungsdecke oder äolische Sedimente über einer quartären Verwitterungsdecke ausgebildet sind, wird auf Grundlage der Lithologie von geringen bis mäßigen Durchlässigkeiten ($1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s) ausgegangen.

Für die Kluft- und Karstgrundwasserleiter des Modellraums sind grundsätzlich **Auswirkungen der Bruchtektonik** auf die Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters des Gebirges zu erwarten. In Richtung der Störungen werden hierbei erhöhte Durchlässigkeiten und quer zur Störung geringere Durchlässigkeiten als im Mittel erwartet. Daraus resultiert eine Anisotropie des Grundwasserleiters. Für diese wird eine um mindestens den Faktor 2 höhere Durchlässigkeit in Längsrichtung der Störungen erwartet als quer zur Störungsrichtung.

Auf Grund des **geschichteten Aufbaus** der Grundwasserleiter von Muschelkalk und Keuper wird vertikal eine um den Faktor 10 geringere Durchlässigkeit erwartet wie horizontal.

Für den quartären Grundwasserleiter wird von isotropen Verhältnissen ausgegangen.

Ausgehend von den o.g. Messwerten sowie den Annahmen zur Verteilung der Durchlässigkeiten in den verschiedenen hydrostratigraphischen Einheiten wurde für die Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter des Muschelkalks die in Anlage 3.10.3 dargestellte Zonierung der Parameterverteilung für den Modellraum abgeleitet. Die für die einzelnen Zonen erwarteten k_f -Werte, als Startparameter für die Grundwassermodellierung sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Für die hydrostratigraphischen Einheiten in Keuper und Quartär war keine belastbare Zonierung der Durchlässigkeit abzuleiten. Aus diesem Grund wird für diese Schichten eine jeweils einheitliche Durchlässigkeit als Startparameter für die Grundwassermodellierung vorgeschlagen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Erwartete k_f -Werte als Startparameter für die Grundwassermodellierung

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
	k_f -Wert [m/s]							
GWL q	$1,5 \cdot 10^{-3}$							
GWGL km	$1 \cdot 10^{-8}$							
GWL ku-km	$1 \cdot 10^{-4}$							
GWGL ku2	$1 \cdot 10^{-6}$							
GWL ku	$1 \cdot 10^{-4}$							
GWGL ku1	$1 \cdot 10^{-6}$							
OGWL	$1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	
GWGL mo	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	
MGWL	$3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
GWGL mm	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$
UGWL	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$

Die größten Durchlässigkeiten (Zone 1 der Durchlässigkeitsverteilung) werden dort erwartet wo der Main sich direkt in den MGWL eingeschnitten hat und die Subrosion des MGWL am weitesten vorangeschritten ist. Das im Maintal unterstromig der Schleuse Kitzingen der Fall. Aus diesem Grund erstreckt sich die Zone 1 der Durchlässigkeitsverteilung mit den größten erwarteten Durchlässigkeiten im Bereich des Maintales unterhalb der Schleuse Kitzingen entlang des Mains bis zur Grenze des Untersuchungsraums bei Randersacker.

Nördlich der Schleuse Kitzingen liegt der MGWL deutlich unter dem Mainniveau und wird vom Main durch den „GWGL mm“ hydraulisch vom Main getrennt. Damit ergibt sich für den Bereich nördlich der Schleuse Kitzingen bis Dettelbach eine deutlich geringere anzunehmende Durchlässigkeit (Zone 4 der Durchlässigkeitsverteilung).

Die geringste Durchlässigkeit (Zonen 6 bis 8 der Durchlässigkeitsverteilung) werden für den östlichen Teil des Untersuchungsraums angenommen, da der MGWL hier unter einer mächtigen Überdeckung liegt und in einigen Bohrungen auch noch eine nicht oder nur wenig subro-

dierte Ausbildung des Mittleren Muschelkalks mit den darin enthaltenen Steinsalz- und Sulfatlagern nachgewiesen ist.

Im nördlichen Bereich des Maindreiecks zwischen Kitzingen und Würzburg liegen zwar teilweise auch noch relativ mächtige Überdeckungen des MGWL vor, jedoch ist dieser in diesem Bereich deutlich weiter subrodiert als im östlichen Untersuchungsraum. Aus diesem Grund werden hier auch verbreitet höhere Durchlässigkeiten erwartet als im östlichen Untersuchungsraum (Zonen 4 bis 5 der Durchlässigkeitsverteilung).

Im südlichen Teil des Maindreiecks zwischen Marktsteft und Eibelstadt wird für den MGWL von einer relativ weit vorgeschrittenen Subrosion ausgegangen. Entsprechende Hinweise dafür ergeben sich auch aus dem meist geringen Gefälle der Grundwasseroberfläche in diesem Bereich. Aus den genannten Gründen werden für diesen südlichen Teil des Maindreiecks verbreitet relativ hohe Durchlässigkeiten erwartet (Zonen 2 bis 3 der Durchlässigkeitsverteilung).

Die für den MGWL erwartete Zonierung der Durchlässigkeiten beruht damit im Wesentlichen auf dem Subrosionsgrad der Evaporite des Mittleren Muschelkalks. Da mit der Subrosion des Mittleren Muschelkalks auch eine Auflockerung der Schichten im Hangenden einhergeht, besitzt die für den MGWL erwartete Zonierung der Durchlässigkeiten (Anlage 3.10.3) auch für die Schichten im Hangenden des MGWL Gültigkeit. Hierbei sind entsprechend der lithologischen Ausbildung natürlich in den verschiedenen Grundwasserleitern und Grundwassergeingleitern abweichende Durchlässigkeiten (Tabelle 2) angenommen.

Aus der Zonierung der Durchlässigkeiten alleine ergeben sich noch keine bevorzugten Wasserwegsamkeiten, wie sie z.B. Entlang von Störungen erwartet werden. Dafür müssen die Durchlässigkeiten richtungsgebunden betrachtet werden. In Störungsrichtung, horizontal und vertikal werden um mindestens den Faktor 2 höhere Durchlässigkeiten erwartet als im Mittel. Horizontal quer zur Störung werden dagegen um den Faktor 2 kleinere Durchlässigkeiten erwartet wie im Mittel. Die Störungsbereiche, für die eine solche Anisotropie erwartet wird, sind in der Anlage 3.10.3 dargestellt. Damit ergeben sich bei gemeinsamer Betrachtung von Anisotropie und Durchlässigkeitsverteilung die erwarteten höheren Wasserwegsamkeiten entlang von Störungszonen.

Messwerte zu **Speicherkoeffizienten und Porositäten bzw. Kluftvolumina** liegen nicht vor. Aus diesem Grund müssen für diese Größen im hydrogeologischen Modell Annahmen auf Grundlage der Lithologie getroffen werden. Die für die GWGL anzunehmenden nutzbaren Porositäten liegen bei $\ll 1\%$. Für die im Untersuchungsraum überwiegend als Kluftgrundwasserleiter anzusprechenden Grundwasserleiter UGWL, OGWL und GWL k_u werden nutzbare Kluftvolumina (Porositäten) um etwa 2 % erwartet. Für den MGWL und den GWL k_{u-km} werden nutzbare Kluftvolumina (Porositäten) zwischen etwa 2 % in nicht verkarsteten Berei-

chen bis Werte um 5 % in verkarsteten Bereichen erwartet. Für den quartären Grundwasserleiter werden nutzbare Porenvolumen von etwa 20 % erwartet.

Im ungespannten Grundwasserleiter werden spezifische Speicherkoeffizienten in Höhe der nutzbaren Porosität erwartet. Für die gespannten Grundwasserleiter sind spezifische Speicherkoeffizienten zwischen $5 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ zu erwarten.

5 Grundwasserhydraulik

Die Brunnen der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft sind im quartären Grundwasserleiter des Maintals (GWL q) verfiltert. Über diesen quartären Grundwasserleiter erfolgt die brunnennahe Anströmung der Gewinnungsanlagen. Da jedoch die mit quartären Sedimenten gefüllte Rinnestruktur des Maintals im Bereich der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft in den Mittleren Grundwasserleiter MGWL des Muschelkalks einbindet erfolgt ein wesentlicher Zustrom zu den Brunnen der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft über den MGWL. Dieser MGWL bildet im Untersuchungsraum den Hauptgrundwasserleiter.

Da der quartäre Grundwasserleiter GWL q und der Mittlere Grundwasserleiter MGWL im Muschelkalk die für den Zustrom zu den Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft bedeutsamsten Grundwasserleiter sind, erfolgt die Beschreibung der Grundwasserhydraulik schwerpunktmäßig für diese beiden Grundwasserleiter. Die darüber und darunter befindlichen weiteren hydrostratigraphischen Einheiten werden in diesem Zusammenhang jedoch auch beschrieben und beachtet, wenn diese für den Zustrom zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft und die Grundwasserbilanz im Modellraum relevant sind. Das betrifft die hangenden Stockwerke des OGWL und des GWL ku, aus denen auch eine Speisung des MGWL erfolgen kann. Darüber hinaus sind auch Wechselwirkungen mit dem UGWL zumindest für den Bereich des Maintales im südwestlichen Untersuchungsraum denkbar.

Ergänzend zu den Grundwasserständen werden in diesem Kapitel auch die Wasserstände des Mains mit beschrieben, da diese das wesentliche Vorflutniveau für den Modellraum bilden.

5.1 Mainwasserstände

Die Wasserstände des Mains werden im Untersuchungsraum durch die Stauhaltungen des Mains bestimmt. Die Stauziele als angestrebte Mindestwasserstände für die einzelnen Stau-stufen im Bereich des Modellraums sind in der Tabelle 3 zusammengefasst. Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass sich auch noch innerhalb der Staustufen ein geringes Gefälle der Mainwasserstände einstellt. Darüber hinaus sind die angegebenen Werte als Min-

destwasserstände für die einzelnen Stauhaltungen zu verstehen, so dass der Wasserstand im Gewässer bei mittleren Verhältnissen noch etwas höher liegt. Deutliche Abweichungen der Mainwasserstände innerhalb der Stauhaltungen werden nur bei Hochwasserereignissen gemessen. Die im Bereich des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft in der Stauhaltung Marktbreit bei verschiedenen Abflussereignissen vorliegenden Grundwasserstände sind darüber hinaus den Gewässerschnitten in der Anlage 2.5 zu entnehmen.

Tabelle 3: Stauhaltungen des Mains im Bereich des Modellraums

Stauhaltung	Main-km	Stauziel [m NN]
Dettelbach	295,398	187,70
Kitzingen	283,979	182,20
Marktbreit	275,681	178,54
Goßmannsdorf	269,028	175,23
Randeracker	258,885	171,83
Würzburg	252,512	168,53

Im Bereich der Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft, etwa bei Main-km 280,5 bis 281,0 ergibt sich bei mittleren (MQ) und niedrigen (MNQ) Abflüssen ein Mainwasserstand von rd. 178,8 m NN. Bei höheren Abflüssen werden dagegen teilweise deutlich höhere Mainwasserstände erwartet. Bei MHQ liegt der Wasserstand im Bereich der Brunnen bei rd. 180,3 m NN (siehe auch Anlage 2.5).

Zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung von Wasserständen und Abfluss im Main sind die Ganglinien der Wasserstände und Abflüsse für die ober- und unterstromig des Untersuchungsraums gelegenen Mainpegel Schweinfurt Neuer Hafen und Würzburg in den Anlagen 4.2.1.2 und 4.2.1.3 dargestellt. Für den Untersuchungsraum selbst liegen keine zeitlich so hoch auflösenden Daten von Abflüssen und Wasserständen des Mains vor. Durch die FWF werden die Wasserstände am Pegel Sulzfeld im wöchentlichen Rhythmus aufgezeichnet. Die Daten des Pegels Sulzfeld (Mainwasserstände) sind in der Anlage 4.2.1.1 dargestellt.

Das Vorflutniveau des Mains (gemessen am Pegel Sulzfeld; Messreihe vom 21.01.1974 bis 21.10.2002 und 03.01.2008 bis 21.12.2010; siehe auch Anlage 4.2.1) liegt auf Grund der Stauhaltung des Mains bei Niedrig- und Mittelwasser relativ konstant bei Werten zwischen etwa 178,70 und 178,9 mNN. Bei einzelnen Hochwasserereignissen werden kurzfristig auch höhere Wasserstände (maximal im betrachteten Zeitraum 180,70 mNN am 02.04.1979) gemessen. Die sehr selten gemessenen niedrigeren Wasserstände (minimal im betrachteten Zeitraum 178,11 mNN am 02.09.1991) werden auf Wartungs- bzw. Bauarbeiten an der unterstromig gelegenen Schleuse/Staustufe Marktbreit (Stauziel 178,54 mNN) zurückgeführt.

5.2 Unterer Grundwasserleiter UGWL im Muschelkalk

Der Untere Grundwasserleiter UGWL im Muschelkalk ist im Modellraum flächendeckend ausgebildet. Im Bereich des Maintales unterstromig von Kitzingen wird davon ausgegangen, dass der UGWL über den in diesen Bereich weitgehend subrodierten und zumindest bereichsweise als Grundwasserleiter ausgebildeten GWGL mm mit dem überlagernden MGWL ein gemeinsames Grundwasserstockwerk bildet. Die Grundwasserströmung in diesem Bereich entspricht der in Anlage 4.1.1 dargestellten Grundwasserströmung für den MGWL. In diesem Bereich werden für den UGWL auch die höchsten Durchlässigkeiten, vor allem für den Unteren Dolomit des Mittleren Muschelkalks (Zellenkalkbildung) erwartet.

Außerhalb des Maintales wird der UGWL vom MGWL durch den als Grundwassergeringleiter ausgebildeten GWGL mm hydraulisch voneinander getrennt. Aber auch hier sind entlang von Störungszonen hydraulische Fenster zwischen den beiden Grundwasserleitern denkbar. Echte Daten, die solche Verbindungen hydraulisch oder auch hydrochemisch belegen können liegen jedoch für den Modellraum nicht vor.

Für den UGWL liegen aus dem Modellraum keine Daten vor, die das Erstellen eines Grundwassergleichenplans oder die Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstände auf diesem Niveau erlauben. Auf Grund der Tatsache, dass der UGWL bis auf den Bereich des Maintales im Modellraum flächendeckend vom hangenden MGWL durch den als Geringleiter ausgebildeten GWGL mo getrennt ist und außerhalb des Maintales auch nur geringe Durchlässigkeiten zu erwarten sind, werden im Niveau des UGWL außerhalb des Maintales vor allem stagnierende Wässer mit sehr langen Verweilzeiten und einer hohen Mineralisation erwartet.

5.3 Mittlerer Grundwasserleiter MGWL im Muschelkalk

Die für den MGWL erwartete Grundwasserströmung ist in der Anlage 4.1.1 für eine Stichtagsmessung vom September 2013 dokumentiert. Zur Beurteilung der zeitlichen Grundwasserstandsentwicklung in diesem Grundwasserleiter liegen die Messwerte der etwas weiter vom Main entfernt liegenden Messstellen WÜ-MU-7 (seit Nov. 2003) in der Gemeinde Ochsenfurt und von der Messstelle MU 14 (seit Jan. 2010) in der Gemeinde Seinsheim vor (siehe Anlage 4.2.2.1). Aus dem main- und fassungsnahen Bereich liegen die Grundwasserstandsganglinien der Messstellen M1 und M2 bei Marktsteft (siehe Anlage 4.2.2.2) sowie der Messstellen M3 und M4 bei Sulzfeld vor.

Abseits des Maintales variieren die Grundwasserstände im Jahresverlauf erheblich. Die Differenz zwischen den tiefsten und höchsten gemessenen Wasserständen an den beiden beobachteten Messstellen liegt bei rd. 8,5 m (MU 14) bzw. rd. 4,4 m (WÜ-MU-7). Beide Messstellen zeigen einen ausgeprägten jahreszeitlichen Gang der Grundwasserstände mit steigenden

Wasserständen im Winterhalbjahr und fallenden Wasserständen im Sommerhalbjahr. Im Spätsommer bzw. Herbst werden an beiden Messstellen jeweils relativ ähnliche Wasserstände (± 1 m) gemessen, die in etwa das Niveau der benachbarten Vorfluter anzeigen. Abhängig von der Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr variieren dagegen die höchsten Grundwasserstände des Jahres zwischen den einzelnen Jahren erheblich um mehrere Meter. Die Werte der Stichtagsmessung vom September 2013, für die der Grundwassergleichenplan in Anlage 4.1.1 abgeleitet wurde liegen in etwa auf dem Niveau der mittleren für diese beiden Standorte gemessenen Wasserstände. Bei ausgesprochen trockenen Verhältnissen werden noch um etwa 1,3 m (MU 14) bzw. etwa 1,0 m (WÜ-MU-7) niedrigere Grundwasserstände erwartet. Bei ausgesprochen feuchten Verhältnissen können auch deutlich höhere Wasserstände (rd. 7,1 m bei MU 14 bzw. rd. 3,4 m bei WÜ-MU-7) auftreten.

Die Grundwasserstandsentwicklung an den vier mainnahen Messstellen M1 bis M4 (Anlagen 4.2.2.2 und 4.2.2.3) im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft ist sehr eng an die Entwicklung der Grundwasserstände im quartären Grundwasserleiter gekoppelt (siehe auch Anlagen 4.2.4.1 und 4.2.4.2). Damit wird die Grundwasserstandsentwicklung des MGWL in diesem Bereich vor allen vom Vorflutniveau des Mains sowie hier in unmittelbarer Brunnennähe von den entnahmebedingten Grundwasserstandsabsenkungen bestimmt. Bei einzelnen Hochwasserereignissen können die Grundwasserstände gegenüber dem mittleren Verhältnissen um bis zu etwa 2,5 m ansteigen. Bei extrem hohen Entnahmeraten und gleichzeitig hydrologisch eher trockenen Verhältnissen können die Wasserstände an diesen brunnennahen Messstellen gegenüber mittleren Verhältnissen auch um bis zu etwa 2 m tiefer liegen.

Die Grundwasserströmung im MGWL (siehe Anlage 4.1.1) ist großräumig auf den Main als Hauptvorfluter ausgerichtet. Hierbei besteht im Maintal zwischen Dettelbach und Albertshofen sowie unterstromig der Schleuse Kitzingen ein direkter hydraulischer Anschluss des MGWL an das Quartär des Maintales und damit auch ein Anschluss an den Main als Hauptvorfluter. Im Bereich zwischen Albertshofen und der Staustufe Kitzingen besitzt der MGWL keinen direkten hydraulischen Anschluss an das Mainquartär. In diesem Bereich liegt der MGWL etwas tiefer und wird noch vom hangenden Grundwassergeringleiter (GWGL mo) vom Mainquartär hydraulisch getrennt. Diese hydraulischen Gegebenheiten führen dazu, dass an den Brunnen der LKW in der Mainstockheimer Straße (M5, M6 und M7) Grundwässer gefördert werden die ältere Uferfiltratanteile beinhalten. Diese Uferfiltratanteile infiltrieren nördlich der Gewinnungen wo der MGWL Anschluss an das Mainquartär besitzt in den MGWL und strömen dann unter der Bedeckung mit dem GWGL mo den Brunnen zu. Damit ergibt sich für diesen mainnahen Bereich ein Randzustrom auf dem Niveau des MGWL in den Modell- und Bilanzraum. Aus dem Potentialgefälle des Grundwassers (0,001) in diesem Bereich, dem dort erwarteten k_f -Wert für den MGWL ($1 \cdot 10^{-4}$ m/s), der erwarteten Anstrombreite (rd. 1.500 m) und der Mächtigkeit des MGWL (rd. 44 m) ergibt sich ein Randzustrom in Höhe von rd. 6,6 l/s bzw. rd. 210.000 m³/a.

Auffällig ist ein relativ geringes Gefälle der Grundwasseroberfläche im Bereich des Maindreiecks westlich des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft. Das wird als Hinweis auf eine relativ hohe Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in diesem Bereich gewertet.

Im Bereich des Maindreiecks westlich des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft zeigen die Grundwassergleichen eine Scheitelung des Grundwassers zwischen einem nach Osten zum Main oberstromig von Marktbreit entwässernden Bereich und einem nach Südwesten zum Main unterstromig von Marktbreit entwässernden Bereich. Im dargestellten Zustand für den Stichtagszeitraum vom September 2013 liegt die Wasserscheide in etwa im Bereich der A3. Diese Grenze kann sich jedoch auch bei anhaltend hohen Grundwasserentnahmen und/oder hydrologisch feuchten Bedingungen auch weiter in westliche Richtung verschieben.

In diesem westlichen Zustrom zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft ist neben einer rechtwinklig zum Grundwassergefälle gerichteten Grundwasserströmung entlang von Störungen oder in der ungesättigten Zone auf Schichtflächen auch ein Zustrom quer zum Grundwassergefälle aus mehr nordwestlicher Richtung denkbar.

Im östlichen Teil des Untersuchungsraum liegen vergleichsweise wenige Grundwasseraufschlüsse im MGWL vor. Aus diesem Grund sind die Grundwassergleichen in diesem Bereich noch durch vergleichsweise große Unsicherheiten gekennzeichnet. Grundsätzlich wird für diesen östlichen Bereich von einer von Südosten bis Osten auf den Main im Westen ausgerichteten Grundwasserströmung ausgegangen. Da der MGWL östlich des Mains nicht direkt an der Oberfläche ansteht, erfolgt der Zustrom zu diesem Grundwasserleiter aus den hangenden Grundwasserstockwerken des OGWL und des GWL ku über die zwischengeschalteten Geringleiter GWGL mo und GWGL ku1.

Im östlichen Zustrom zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft ist neben einer rechtwinklig zum Grundwassergefälle gerichteten Grundwasserströmung entlang von Störungen auch ein Zustrom quer zum Grundwassergefälle aus mehr südöstlicher Richtung denkbar.

5.4 Oberer Grundwasserleiter (OGWL) im Muschelkalk

Die Grundwasserströmung im OGWL ist in der Anlage 4.1.2 dargestellt. Im westlichen Teil des Modellraumes liegt der OGWL deutlich über dem Niveau des MGWL, der dort einen Anschluss an den Main als Hauptvorfluter hat. Da der Grundwasseringeleiter GWGL mo zwischen MGWL und OGWL in diesem westlichen Bereich des Modellraums durch die Auslaugung der Evaporite des Mittleren Muschelkalks offensichtlich sehr stark geklüftet ist, fließt der überwiegende Teil des hier neu gebildeten Grundwassers durch den GWGL mo direkt dem MGWL zu und der OGWL fällt trocken. Nur im äußersten Westen des Modellraums, bei Lindelbach sowie den westlich anschließenden Bereichen sind im Niveau des OGWL einige

Quellaustritte dokumentiert, die dort auf eine lokale Schichtwasserführung auf diesem Niveau zurückgeführt wird.

Im östlichen Modellraum fällt die Grundwasserleiterbasis des OGWL unter das Vorflutniveau und der OGWL ist dort ganz oder teilweise wassererfüllt. Die Grundwasserströmung ist in diesem östlichen Bereich des Modellraumes großräumig etwa von Südost nach Nordwest gerichtet. Auffällig ist hierbei die Tatsache, dass die Grundwasserströmung im Bereich zwischen Hohenfeld im Norden und Marktbreit im Süden auf einen trocken gefallen Bereich des Grundwasserleiters ausgerichtet ist, ohne dass dort eine wesentliche Grundwasserentnahme stattfindet oder die Entlastung in einen Vorfluter möglich ist. Auch für diesen Bereich ist davon auszugehen, dass der GWGL mo im Liegenden des OGWL durch die Subrosion der Evaporite im Liegenden Mittleren Muschelkalk sehr stark geklüftet ist. Damit erfolgt in diesem Bereich eine Grundwasserströmung aus dem OGWL über den GWGL mo in den Liegenden MGWL, der dort ein niedrigeres Druckpotential besitzt.

Grundwasserstandsganglinien für das Niveau des OGWL liegen aus dem Modellraum nicht vor. Ähnlich wie für den MGWL im Liegenden werden vor allem sich im Jahresrhythmus ändernde Grundwasserstände mit steigenden Wasserständen im Winterhalbjahr und fallenden Wasserständen im Sommerhalbjahr sowie vergleichsweise geringen Veränderungen zwischen den verschiedenen Jahren erwartet.

5.5 Grundwasserleiter GWL ku im Unteren Keuper

Die Grundwasserströmung im GWL ku (Werksandstein des Unteren Keuper) ist in der Anlage 4.1.3 dargestellt. Der erstellte Gleichenplan für den Modellraum basiert dabei im Wesentlichen auf dem Niveau der Quellen und Vorfluter. Werte von Brunnen oder Grundwassermessstellen liegen im Modellraum nur von zwei Orten vor, an denen die Grundwasserstände außerhalb des Stichtagszeitraums (Oktober 2013) gemessen wurde.

Im Modellraum ist der GWL ku erosionsbedingt nur im Bereich der Hochlagen ausgebildet. Dort bildet der GWL ku ein hangendes Grundwasserstockwerk, das in der Regel auf relativ kurzen Weg über den Schichtausbiss zu den lokalen Vorflutern hin entwässert. Im Maintal sowie den größeren Nebentälern ist dieses Grundwasserstockwerk nicht ausgebildet. Aus bilanztechnischer Sicht sind die Abflüsse aus dem hangenden Stockwerk des Keupers eher als Zwischenabfluss mit sehr kurzen Verweilzeiten im Grundwasserleiter zu interpretieren, der nach Berücksichtigung des Baseflow-Index nicht mehr in der ausgewiesenen Grundwasserneubildung enthalten ist. Die in den Anlagen 6.1 bis 6.3 ausgewiesene Neubildung ist demzufolge als Grundwasserneubildung auf dem Niveau des OGWL, des MGWL und im Maintal des Quartärs zu verstehen.

Ganglinien, die eine Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstände auf diesem Niveau erlauben würden liegen für den Bilanz- und Modellraum nicht vor. Auf Grund der Entwässerung des Grundwasserleiters, die meist auf kurzen Wege zu den lokalen Vorflutern am Schichtausbiss hin erfolgt, wird davon ausgegangen, dass es einen jahreszeitlichen Gang der Grundwasserstände mit steigenden Grundwasserständen im Winterhalbjahr und fallenden Grundwasserständen im Sommerhalbjahr gibt. Größere Veränderungen der Grundwasserstände zwischen den einzelnen Jahren werden nicht erwartet.

5.6 Quartärer Grundwasserleiter des Maintals

Die Brunnen des Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft erschließen ausnahmslos den quartären Grundwasserleiter des Maintals. Zur Beschreibung der Grundwasserhydraulik in der Quartärrinne im Zustrom/Umfeld der Brunnen des Gewinnungsgebiets Sulzfeld/Marktsteft existieren eine Reihe von Grundwassermessstellen, an denen vom Betreiber, der FWF regelmäßig die Grundwasserstände gemessen werden. Die Lage der Messstellen der FWF sind dem Lageplan in Anlage 1.4 sowie Einzelheiten zum Ausbau der Messstellen der tabellarischen Zusammenstellung in Anlage 2.2 zu entnehmen. Darüber hinaus existierten in der Vergangenheit eine Reihe weiterer Messstellen die heute aufgegeben bzw. zurückgebaut sind. Von den 41 aktuell durch die FWF zur Überwachung der Grundwasserstände betriebenen Vorfeldmessstellen sind 37 im Quartär des Maintals verfiltert. Nur die Messstellen M1 und M2 auf Marktstefter Seite und die Messstellen M3 und M4 auf Sulzfelder Seite sind im Muschelkalk (MGWL) im Liegenden der quartären Talfüllung verfiltert.

Die Grundwasserstände an den Messstellen auf Marktstefter Seite im Nahbereich des Mains (B19, N12, N13 u. N14; siehe Anlage 4.2.3.1) variieren zwischen minimal rd. 177,7 m NN bei hohen Entnahmen und hydrologisch trockenen Bedingungen und maximal rd. 180,1 m NN in der Folge von Hochwasserereignissen. Bestimmend für die Grundwasserstandsentwicklung diesem Bereich sind in erster Linie die Wasserstände im Main, die im Detail durch die Entnahmebedingten Grundwasserstandsabsenkungen überprägt werden.

Die brunnennahen Quartärmessstellen auf Marktstefter Seite (z.B. B15 und B7; siehe Anlage 4.2.3.2) variieren zwischen minimal rd. 177,1 m NN bei hohen Entnahmen und hydrologisch trockenen Bedingungen und maximal rd. 181,0 m NN in der Folge von Hochwasserereignissen. Auch in diesem brunnennahen Bereich wirkt sich der nahe Main stabilisierend auf die Grundwasserstandsentwicklung aus, so dass die Entnahmebedingten Variationen der Grundwasserstände moderat ausfallen.

Auch im östlichen und nordöstlichen Zustrom zu den Brunnen (z.B. N1, N2, N8; siehe Anlage 4.2.3.3) wird die Grundwasserstandsentwicklung durch die Entwicklung der Mainwasserstände und entnahmebedingte Grundwasserstandsveränderungen geprägt. Die Grundwasser-

stände variieren in diesem Bereich zwischen rd. 177,7 m NN bei hohen Entnahmen und hydrologisch trockenen Bedingungen und maximal rd. 181,7 m NN in der Folge von Hochwasserereignissen.

Im südöstlichen Zustrom zu den Brunnen (z.B. B3, N9, N10 und N11; siehe Anlage 4.2.3.4) werden mit größer werdender Entfernung zu den Brunnen und auch zum Main relativ kleine Variationen des Grundwasserspiegels zwischen rd. 177,9 m NN bei hohen Entnahmen und hydrologisch trockenen Bedingungen und maximal rd. 180,1 m NN in der Folge von Hochwasserereignissen gemessen.

Auch auf der Sulzfelder Seite wird die Grundwasserstandsentwicklung von der Entwicklung der Mainwasserstände und Entnahmebedingten Grundwasserstandsvariationen bestimmt. Die Wasserstände variieren dabei zwischen minimal rd. 175,2 m NN an brunnennahen Messstellen (z.B. N12) bei hohen Entnahmen und hydrologisch trockenen Bedingungen und maximal rd. 181,7 m NN in der Folge von Hochwasserereignissen.

Eine detaillierte Dokumentation der während des zwischen Ende Juli 2018 und Anfang Mai 2019 durchgeführten kontrollierten Brunnenbetriebs ist im Anhang 1 (Dokumentation kontrollierter Brunnenbetrieb) diesem Bericht beigelegt.

Neben den aktuellen Betriebsdaten und den Daten des in den Jahren 2018/2019 durchgeführten kontrollierten Brunnenbetriebs gibt es auch einige Daten älterer Pumpversuche die zu Grundwassergleichenplänen ausgewertet werden können.

In der Anlage 4.1.4.1 sind die Grundwassergleichen einer Stichtagsmessung vom 01.06.1965 im Umfeld des HFB Sulzfeld dargestellt. Für die Entnahmen denen der Gleichenplan zugrunde liegt werden am HFB Sulzfeld 128 - 246 l/s und für den Brunnen S1 (Vertikalfilterbrunnen Sulzfeld) 25,4 - 67,8 l/s angegeben. Weiter Angaben zum durchgeführten Pumpversuch liegen nicht vor. Im Bereich der Filterstränge des HFB Sulzfeld werden am 01.06.1965 Grundwasserstände von rd. 176 m NN gemessen. Das ist etwa 2,8 m niedriger als der Mainwasserstand, der im Bereich des Gewinnungsgebietes meist in einem Bereich um etwa 178,8 m NN liegt. Der gemeinsame Absenktrichter beider Brunnen reicht im Osten bis zum Main, so dass aus hydraulischer Sicht neben dem landseitigen Zustrom auch ein Zustrom von Mainuferfiltrat zu den Brunnen möglich ist. Denkbar ist auch bereits für diesen Strömungszustand eine Unterströmung des Mains von der Marktsteft Seite zu den beiden auf Sulzfelder Seite liegenden Brunnen.

Ein weiterer Gleichenplan (siehe Anlage 4.1.4.2) im Bereich des HFB Sulzfeld kann für den 03.07.1973 bei Entnahmen aus dem Brunnen HFB Sulzfeld in Höhe von 180 l/s und dem Brunnen S1 (Vertikalfilterbrunnen Sulzfeld) in Höhe von 48 l/s erstellt werden. Auch für diesen Strömungszustand ergibt sich für die Brunnen Sulzfeld ein Zustrom sowohl aus Richtung des

Mains wie auch ein landseitiger Zustrom von Westen. Auch für diesen Strömungszustand ist eine Unterströmung des Mains von der Marktstefter Seite zu den beiden auf Sulzfelder Seite liegenden Brunnen denkbar. Der Wasserspiegel im Bereich der Filterstränge des HFB Sulzfeld liegt mit rd. 176,2 m NN etwa 2,6 m unter dem Wasserstand des Mains (etwa 178,8 m NN).

Im Jahr 2005 wurde ein Gruppenpumpversuch mit den damals neu errichteten Versuchsbrunnen N1, N2 und S2 (damals S1) sowie den bestehenden Brunnen S1 (damals Vertikalfilterbrunnen Sulzfeld), HFB Sulzfeld und HFB Marktsteft durchgeführt. Die Grundwasserstände kurz vor dem Ende (19.12.2005) der zwischen dem 29.11.2005 und 20.12.2005 durchgeführten Phase II des Pumpversuchs (Maximalbetrieb) sind in der Anlage 4.1.4.3 dargestellt. Die den Grundwasserständen zu Grunde liegenden Entnahmen beliefen sich auf 89 l/s am HFB Marktsteft, 200 l/s am HFB Sulzfeld, 31 l/s am Br. S1, je 30 l/s an den Br. S2 und N1 sowie 23 l/s am Br. N2. An den neuen Brunnen wurden dabei Betriebswasserstände von 173,30 m NN (N2), 173,47 m NN (N1) und 175,62 m NN (S2) gemessen. Damit besteht auch für diese neuen Brunnen ein vom Main auf die Brunnen ausgerichtetes Potentialgefälle. Die Grundwassergleichen in Anlage 4.1.4.3 zeigen für alle Brunnen auf Sulzfelder Seite einen Zustrom zu den Brunnen sowohl aus westlicher (landseitiger) als auch aus östlicher (mainseitiger) Richtung. Das wird auch durch die während des Pumpversuchs gemessenen Beschaffenheitsdaten bestätigt. Auf Grund der auch noch in mainnähe messbaren, relativ deutlichen Grundwasserabsenkung ist auch für diesen Strömungszustand von einer Unterströmung des Mains auszugehen.

Im Zeitraum zwischen dem 30.07.2018 und dem 07.05.2019 wurde im Gewinnungsgebiet Sulzfeld Marktsteft ein 3-stufiger kontrollierter Brunnenbetrieb durchgeführt. Die mittleren Entnahmen der Einzelbrunnen während der 1. Pumpstufe (30.07.2018 bis 21.03.2019), der 2. Pumpstufe (21.03.2019 bis 02.05.2019) sowie der 3. Pumpstufe (02.05.2019 bis 07.05.2019) sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Entnahmen während des kontrollierten Brunnenbetriebs²

Stufe	Entnahme	HFB M	HFB S	N1	N2	S1	S2	Summe
1. Pump- stufe	Summe [m ³]	972.979	1.768.379	639.618	396.694	552.242	643.331	4.973.242
	Mittel [m ³ /d]	4.153	7.548	2.730	1.693	2.357	2.746	21.227
	Mittel [m ³ /h]	173	314	114	71	98	114	884
2. Pump- stufe	Summe [m ³]	320.854	683.541	196.088	77.297	103.052	187.965	1.568.796
	Mittel [m ³ /d]	7.643	16.283	4.671	1.841	2.455	4.478	37.371
	Mittel [m ³ /h]	318	678	195	77	102	187	1.557
3. Pump- stufe	Summe [m ³]	56.341	82.579	23.993	10.503	12.974	23.827	210.217
	Mittel [m ³ /d]	11.175	16.379	4.759	2.083	2.573	4.726	41.696
	Mittel [m ³ /h]	466	682	198	87	107	197	1.737
Summe	Summe [m ³]	1.350.174	2.534.498	859.699	484.493	668.268	855.123	6.752.255
	Mittel [m ³ /d]	4.800	9.010	3.056	1.722	2.376	3.040	24.003
	Mittel [m ³ /h]	200	375	127	72	99	127	1.000

Die Grundwasserstände vor Beginn des kontrollierten Brunnenbetriebs (25.07.2018; siehe Anlage 4.1.4.4), am Ende der 1. Pumpstufe (12.03.2019; siehe Anlage 4.1.4.5), am Ende der 2. Pumpstufe (01.05.2019; siehe Anlage 4.1.4.6) sowie am Ende der 3. Pumpstufe (07.05.2005; siehe Anlage 4.1.4.7) wurden jeweils zu einem Grundwassergleichenplan für den quartären Grundwasserleiter ausgewertet. Die Entnahmen repräsentieren dabei die zukünftig höchsten denkbaren Entnahmeraten³ für den Dauerbetrieb (Stufe 1), für die Abdeckung der Spitzenlast an verbrauchsreichen Tagen (Stufe 3) oder für einen erhöhten Bedarf über einen Zeitraum von rd. 50 Tagen (Stufen 2 und 3) zur Ermittlung des 50-Tage-Zustrombereichs.

In allen für den kontrollierten Brunnenbetrieb dokumentierten Strömungszuständen erfolgt im quartären Grundwasserleiter ein Zustrom zu den Brunnen auf Sulzfelder Seite sowohl aus Richtung des Mains wie auch von der Landseite her und aus nördlicher Richtung, etwa entlang der mit quartären Sedimenten gefüllten, durch Subrosionsvorgänge im unterlagernden Mittleren Muschelkalk gebildeten tiefgreifenden Rinnenstruktur. Im Bereich der Sulzfelder Brunnen ist von einer Unterströmung des Mains von der Marktsteft Seite zur Sulzfelder Seite hin auszugehen.

² Dokumentiert sind hier die übermittelten Entnahmen (Stundenwerte) der Einzelbrunnen.

³ Abhängig vom zukünftigen Aufbereitungsverfahren, das noch nicht feststeht, sind ggf. auch noch geringere Maximalmengen denkbar.

Der Horizontalfilterbrunnen Marktsteft (HFB M) wird bei allen dokumentierten Strömungszuständen des kontrollierten Brunnenbetriebs sowohl von der Mainseite (aus Westen) wie auch aus von der Landseite (aus Osten) her angeströmt. Auch auf dieser Seite erfolgt ein Zustrom zum Brunnen entlang der mit quartären Sedimenten gefüllten Rinnenstruktur aus südöstlicher Richtung. Eine Unterströmung des Mains im quartären Grundwasserleiter erfolgt hier nicht, da der Main südöstlich des Brunnens direkt über den Festgesteinen des Muschelkalks fließt und dort kein Quartär ausgebildet ist. Im Niveau des MGWL ist jedoch auch für den Zustrom zum Marktstefter Brunnen eine Unterströmung des Mains, hier von West nach Ost denkbar.

Die mit quartären Sedimenten gefüllte Rinnenstruktur im Maintal bildet im Vergleich zum Umfeld einen Bereich mit erhöhten Durchlässigkeiten. Im Nahbereich der Brunnen strömen so bei einem entsprechenden Gradienten der Grundwasseroberfläche in Rinnenrichtung wesentliche Zustromanteile über die Rinnenstruktur den Brunnen zu. In größerer Entfernung zu den Brunnen wird von einer auf den Main ausgerichteten Grundwasserströmung ausgegangen. Da dieser Druckgradient quer zum Verlauf der Quartärrinne liegt, kann die Rinnenstruktur in diesen Bereichen nicht als bevorzugte Wasserwegsamkeit wirksam werden.

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass in den Bereichen in denen die quartäre Rinnenstruktur ausgebildet ist und ein hydraulischer Anschluss zwischen MGWL und quartärem Grundwasserleiter besteht, der wesentliche Mengenumsatz über das Quartär erfolgt, da dort die größere Durchlässigkeit vorliegt.

Eine zusammenfassende Abschätzung des möglichen Einzugsgebietes der Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft unter Berücksichtigung aller beteiligten Grundwasserstockwerke erfolgt in Kapitel 5.8.

5.7 Grundwasserstandsdifferenzen

In der Anlage 4.2.4.1 sind exemplarisch für die Marktstefter Seite die Grundwasserstandsganglinien der benachbarten Messstellen M2 (MGWL) und B15 (GWL q) sowie in der Anlage 4.2.4.2 exemplarisch für die Sulzfelder Seite die Grundwasserstandsganglinien der benachbarten Messstellen M3 (MGWL) und TD1 bis TD3 (GWL q) gegenübergestellt. Im Nahbereich der Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft ergibt sich ein geringer vom Muschelkalk im Liegenden (MGWL) auf den quartären Grundwasserleiter (GWL q) im Hangenden ausgerichteter Gradient der Grundwasserstände. Damit erfolgt die Grundwasserströmung aus dem MGWL in den GWL q, der zum einen Anschluss an die Vorfluter besitzt und in dem zum anderen auch die Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft verfiltert sind.

Die vorliegenden Ganglinienvergleiche belegen die enge hydraulische Koppelung der beiden Grundwasserleiter (MGWL und Quartär) in diesem Bereich. Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände erfolgt nahezu gleichförmig. Bei geringen Entnahmen aus den Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft stellen sich sowohl im MGWL wie auch im Quartär Grundwasserstände in der Nähe des Vorflutniveaus ein. Bei höheren Entnahmen wird der Grundwasserstand im Entnahmegrundwasserleiter (Quartär) deutlich unter das Niveau des Mainwasserstandes abgesenkt. Durch den zwar geringen aber eindeutig nachweisbaren Fließwiderstand zwischen Quartär und MGWL reagieren die Grundwasserstände im MGWL etwas gedämpft auf die erhöhten Grundwasserentnahmen. Dadurch stellt sich ein deutlicher vom MGWL zum Entnahmegrundwasserleiter, dem Quartär gerichteter Druckgradient ein. Da gerade bei hohen Entnahmen der Wasserstand im Quartär unter den Wasserstand im Main aber auch unter den Wasserstand im MGWL abgesenkt wird, erfolgt bei der vorhandenen mehr oder weniger engen Koppelung der Systeme sowohl ein Zustrom aus dem Main wie auch aus dem MGWL in das Quartär (Entnahmestockwerk).

Innerhalb des Quartärs belegen die tiefendifferenzierten Messstellen TD1 bis TD3, hier in Brunnennähe einen von Oben (Main) nach Unten (Filterbereich der Brunnen) ausgerichteten Druckgradienten. Damit ist für diesen brunnennahen Bereich auch direkt ein Grundwasserszustrom von Uferfiltrat aus dem Main zu den Brunnen nachweisbar.

Auch abseits der Gewinnungsanlagen ist im Maintal grundsätzlich von einer vom Muschelkalk MGWL bzw. OGWL auf den GWL q (mit Vorflutanschluss) ausgerichteten Grundwasserströmung auszugehen. Im Bereich der Hochlagen abseits des Maintals und der größeren Nebentäler erfolgt dagegen eine Grundwasserströmung von den oberflächennahen Grundwasserleitern, denen die Grundwasserneubildung zu Gute kommt in die tieferen Grundwasserleiter, die so über die Durchsickerung der Grundwassereringleiter und hangender Grundwasserstockwerke gespeist werden.

5.8 Mögliches Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft

Die Ableitung des möglichen Einzugsgebietes der Gewinnung Sulzfeld Marktsteft erfolgte auf Grundlage des Grundwassergleichenplans für das Quartär am Ende der 3. Pumpstufe des kontrollierten Brunnenbetriebs (Anlage 4.1.4.7), dem Gleichenplan für den MGWL (Anlage 4.1.1) und dem Gleichenplan für den OGWL (Anlage 4.1.2). Diese Grundwassergleichenpläne wurden zur Ableitung des Einzugsgebietes der Gewinnung in den Anlagen 4.1.5.1 und 4.1.5.2 nochmals gemeinsam dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde dabei auf die Beschriftung der Gleichen oder sogar die Darstellung einzelner Messwerte verzichtet.

Da die Brunnen der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft im Quartär verfiltert sind, ist das primäre Einzugsgebiet der Gewinnungsanlage zunächst im Quartär des Maintales zu suchen. Zur Er-

mittlung des möglichen Einzugsgebietes im Mainquartär wurden die Daten der Grundwasserstandsmessung zum Ende der dritten Pumpstufe des kontrollierten Brunnenbetriebs (am 07.05.2019) und der daraus abgeleitete Grundwassergleichenplan (siehe Anlage 4.1.4.7) herangezogen. Aus der Auswertung der Stichtagsmessung ergibt sich für den quartären Grundwasserleiter des Maintales ein primäres, sich bei maximal denkbarer Grundwasserförderung einstellendes Einzugsgebiet mit einer Fläche von rd. 3,0 km² (siehe Anlage 4.1.5.1).

Für den brunnennahen Zustrom der Brunnen sind neben dem hydraulischen Gradienten auch die erhöhten Wasserwegsamkeiten entlang der quartären Rinnenstruktur des Maintales (siehe Anlage 3.8.7 und Kapitel 4.2) mitbestimmend. Entlang dieser, dem Maintal folgenden Rinnenstruktur können bei einem entsprechenden hydraulischen Gradienten relativ große Wassermengen strömen. Das ist auch im unmittelbaren Nahbereich der Gewinnungsanlagen der Fall. Hier besteht bereichsweise ein auf die Brunnen ausgerichteter hydraulischer Gradient entlang der Rinnenstruktur. In den Bereichen ober- und unterstromig der Gewinnung Sulzfeld / Marktsteft, in denen die Grundwasserstände nicht mehr wesentlich von der Grundwasserentnahme beeinflusst sind, muss von einem vom Rinnenrand auf den Main als Hauptvorfluter ausgerichteten hydraulischen Gradienten ausgegangen werden. Da der hydraulische Gradient in diesen Bereichen nicht mehr längs sondern quer zur quartären Rinnenstruktur verläuft, ist diese Rinnenstruktur trotz höherer Durchlässigkeit als im umgebenden Festgesteinsgrundwasserleiter (MGWL) kein bevorzugter Strömungsweg für das Grundwasser.

Da das Quartär des Maintales im Bereich der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft einen engen hydraulischen Anschluss an den MGWL besitzt (siehe auch Anlagen 3.7.3, 3.7.4 und 3.7.5) und die enge hydraulische Koppelung zwischen Quartär und Muschelkalk, mit einer Speisung des Quartärs aus dem Muschelkalk nachweisbar ist, sind auch wesentliche Teile des Einzugsgebietes der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft im MGWL östlich und westlich des Mains zu suchen.

Als Zustrombereich des MGWL wird der gesamte Zustrom aus dem Muschelkalk aus östlicher und westlicher Richtung zum quartären Einzugsgebiet angenommen. Aus geohydraulischen Berechnungen (GWL Mächtigkeit rd. 40 m, GW-Gefälle rd. 0,001, Zustrommenge bis maximal rd. 6,8 Mio. m³/a) ergibt sich für das eigentliche Maintal mit einer sehr hohen Durchlässigkeit ($3 \cdot 10^{-3}$ m/s für Zone 1) rechnerisch ein deutlich kleinerer Zustrombereich von etwa 900 m aus Ost und West. Unter Ansatz der k_f -Werte für die Zonen 2 und 3 etwas außerhalb des eigentlichen Maintals ($1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $5 \cdot 10^{-4}$ m/s) ergibt sich eine rechnerische Anstrombreite zwischen etwa 2.700 und 5.400 m je Mainseite. Unter Beachtung der Unsicherheiten bei den k_f -Werten ist der aus dem Quartäreinzugsgebiet abgeleitete Zustrombereich damit als plausibel zu bezeichnen.

Unter Ansatz der Zustrombreite aus dem MGWL in das Quartäreinzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft und dem Grundwassergleichenplan für den MGWL (siehe Anlage 4.1.1)

ergibt sich für den MGWL ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von rd. 23 km² westlich des Mains und rd. 22 km² östlich des Mains.

Anders als an der nördlichen Grenze des Modellraums, besitzt der MGWL an der nördlichen Grenze des Einzugsgebietes der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft über das Mainquartär einen hydraulischen Anschluss an den Hauptvorfluter Main. Aus diesem Grund wird unmittelbar nördlich des Einzugsgebietes der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft von einer von Westen und Osten zum Main hin gerichteten Grundwasserströmung ausgegangen. Damit wird der Modellraum im Norden von Trennstromlinien begrenzt. Ein mainparalleler Zustrom über die dargestellten Grenzen des Einzugsgebietes ist damit nicht gegeben. Ergänzend ist jedoch anzumerken, dass die Lage der nördlichen Einzugsgebietsgrenze nicht über alle Zeiträume als konstant anzunehmen ist. Dargestellt ist der für die maximalen Entnahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs erwartete Verlauf der nördlichen Einzugsgebietsgrenze. Bei geringeren Entnahmen, wie sie z.B. in der Vergangenheit getätigt wurden, ist ein kleineres Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft mit einer weiter südlich liegenden Einzugsgebietsgrenze zu erwarten.

Da der MGWL in dem Zustrombereich zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft zum überwiegenden Teil vom OGWL überlagert wird und aus hydraulischen Gesichtspunkten mit einem immer noch relativ durchlässigen Geringleiter zwischen den beiden Grundwasserleitern eine Speisung des MGWL aus dem OGWL zu erwarten ist, muss auch der Zustrombereich aus dem OGWL in das Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft im MGWL mit zum Gesamteinzugsgebiet gezählt werden. Westlich des Mains ist vor allen ein Abfluss auf Schichtflächen (von Ost nach West) sowie entlang von Störungszonen im Niveau des OGWL denkbar. Damit vergrößert sich hier das mögliche Einzugsgebiet der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft deutlich um etwa 29 km² nach Westen. Östlich des Mains erfolgt die Strömung im OGWL, abgeleitet aus den Grundwassergleichenplan für den MGWL (siehe Anlage 4.1.2) mehr aus südlicher Richtung. Dazu kommen noch denkbare Zuströme über Kluft- und Störungszonen, die das Einzugsgebiet noch weiter nach Süden und Südosten erweitern. Insgesamt erweitert sich damit das Einzugsgebiet der Fassung im Osten um weitere rd. 58 km².

In der Summe ergibt sich ein damit etwa 135 km² großes denkbares Einzugsgebiet (siehe Anlage 4.1.5.2 und Tabelle 5) für das Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft. Die Mittlere Grundwasserneubildung in diesem Einzugsgebiet liegt bei rd. 285 l/s.

Tabelle 5: Teileinzugsgebiete der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft und GW-Neubildung

Teileinzugsgebiet	Fläche	Grundwasserneubildung
Einzugsgebiet Quartär	3,0 km ²	6,2 l/s
Einzugsgebiet im MGWL (West)	22,6 km ²	49,8 l/s
Einzugsgebiet im MGWL (Ost)	22,0 km ²	52,3 l/s
Einzugsgebiet im UGWL (Ost)	27,1 km ²	53,6 l/s
Schichteinfallen West	29,4 km ²	68,3 l/s
Schichteinfallen Ost	31,3 km ²	54,7 l/s
Summe Einzugsgebiet	135,4 km²	284,9 l/s

Für das Einzugsgebiet des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft ergibt sich unter Ansatz einer maximalen Jahresförderung von 8,0 Mio. m³/a die folgende Grundwasserbilanz:

- Zustrom aus der Grundwasserneubildung	285 l/s	9,0 Mio. m ³ /a
- Zustrom aus Uferfiltrat	40 l/s	1,3 Mio. m ³ /a
- Grundwasserentnahmen	254 l/s	8,0 Mio. m ³ /a
- Grundwasserabstrom	71 l/s	2,3 Mio. m ³ /a

Bei geringeren Jahresentnahmen erfolgt am Rand des für die Maxiamlentnahmen von rd. 8,0 Mio. m³/a ermittelten Einzugsgebietes ein verstärkter Grundwasserabstrom zum Main als Hauptvorfluter.

6 Grundwasserbeschaffenheit

6.1 Rohwasserbeschaffenheit Brunnen

Zur Beurteilung der Beschaffenheit der aus den Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft geförderten Grundwässer wurden die Analysendaten in Form von Piper-, Kreis- und Schoellerdiagrammen ausgewertet (siehe Anlagen 5.3).

Die in den Rohwässern gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten zwischen rd. 1.050 µS/cm und rd. 1.700 µS/cm spiegeln die hohe Gesamtmineralisation der Wässer wieder. Dominierende Ionen sind bei den Kationen das Calcium und bei den Anionen Hydrogencarbonat und Sulfat. Daher sind die Rohwässer überwiegend als erdalkalisch hydrogencarbonatisch-sulfatisch einzustufen. Lediglich die Rohwässer der Brunnen S1 und S2 zeigen infolge des Einfluss des aus dem mittleren Muschelkalk gelösten Steinsalzes teilweise, die des Horizontalbrunnen Marktsteft (HFB M) generell höhere Chlorid- und Natriumgehalte, weshalb die Wässer als sulfatisch-chloridische erdalkalisch mit höherem Alkalianteil (Piper-Feld e) anzusprechen sind.

Die höheren Natrium- und Chlorid-Anteile werden auf einen verstärkten Zustrom von Wässern zurückgeführt, die durch die Lösung von Steinsalz des Mittleren Muschelkalks beeinflusst sind. Solche Wässer werden vor allem im östlichen/südöstlichen Zustrom zu den Brunnen aber auch in den tiefsten Zustrombereichen des MGWL erwartet. Der HFB M erhält seinen Zustrom vor allem aus diesem östlichen bis südöstlichen Zustrom. Die Brunnen S1 und S2 fassen auf der Sulzfelder Seite eher den Zustrom aus tiefer liegenden Bereichen des MGWL, während die oberflächennäheren Zustromanteile dort vor allem durch den Horizontalfilterbrunnen Sulzfeld (HFB S) gefasst werden. Diese Trennung wird besonders bei hohen Fördermengen wirksam, so dass bei steigenden Entnahmemengen die Natrium- und Chloridgehalte zunehmen.

Die pH-Werte liegen mit rd. 7,0 und rd. 7,3 im neutralen bis schwach basischen Bereich. Die Gesamthärten bewegen sich rd. 29°dH bis 40°dH, die Karbonathärten zwischen rd. 28°dH und rd. 34°dH auf. Somit sind die Wässer als hart zu bezeichnen.

Die Nitratgehalte liegen im Rohwasser seit dem Jahr 2009 zwischen rd. 25 und rd. 45 mg/l. Somit unterschreiten die Konzentrationen seit dem Jahr 2009 generell den Grenzwert nach TrinkwV (50 mg/l). In der Vergangenheit wurden jedoch auch schon teilweise höhere Gehalte gemessen. Langfristig ist an allen Brunnen eine Abnahme der Nitratkonzentrationen zu verzeichnen.

Bei den Pflanzenschutzmitteln bzw. deren Metaboliten sind vor allem die Parameter N,N-Dimethylsulfamid⁴, Desphenylchloridazon und Methyldesphenylchloridazon⁵ auffällig. Diese Stoffe wurden in den Brunnen mit Gehalten bis 2 µg/l nachgewiesen. Im Reinwasser des Wasserwerks nach der Aufbereitung der Wässer waren diese Parameter nicht mehr auffällig. Das Vorkommen dieser Stoffe belegt einen Zustrom aus dem Bereich landwirtschaftlicher Nutzflächen im Einzugsgebiet der Gewinnung.

Bei den in den Rohwässern nachgewiesenen Parametern Acesulfam, Amidotrizoesäure und Gadolinium handelt es sich um anthropogene Spurenstoffe, die im Abwasser vorkommen und bei der Klärung der Abwässer nicht oder nur sehr gering eliminiert werden. Die Herkunft dieser Stoffe im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft kann auf verschiedene Quellen zurückgeführt werden. Hierbei ist zuerst der Zustrom von Uferfiltrat aus dem Main, das im Nahbereich der Brunnen in den Grundwasserleiter infiltriert zu nennen. Darüber hinaus treten diese Parameter jedoch auch teilweise im landseitigen Zustrom der Brunnen auf. Mögliche Quellen in diesem landseitigen Zustrom können versickerte Abwässer aus undichten Kanälen im Einzugsgebiet, aus kleineren Bächen und Gräben des Einzugsgebietes ins Grundwasser infiltrierende ab-

⁴ Metabolit des bis 2007 u.a. im Weinbau eingesetzten Fungizids Tolyfluanid

⁵ Metabolite B und B1 des überwiegend im Rübenanbau eingesetzten Herbizids Chloridazon

wasserbeeinflusste Oberflächenwässer oder auch aus der Beregnung mit Main oder Mainuferfiltrat stammende Wässer im Einzugsgebiet sein.

Eine ausführliche Dokumentation zu den im Gewinnungsgebiet analysierten Pflanzenschutzmitteln sowie den als Abwassermarkern genutzten anthropogenen Spurenstoffen enthält die als Anhang 1 beigefügte Dokumentation des kontrollierten Brunnenbetriebs.

6.2 Grundwasserbeschaffenheit im Muschelkalk

Zur Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit im Muschelkalk, der u.a. im Bereich des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft in die mit quartären Sedimenten gefüllte Rinne des Maintales entwässert, wurden die vorliegenden Beschaffenheitsdaten der Messstellen/Brunnen des südlichen Untersuchungsraums:

- Ochsenfurt
 - o Br.Forst
 - o Zeubelried
 - o Zeubelrieder Moor 1 und 2
- Frickenhausen
 - o Br. Mönchshof
- Kitzingen
 - o K1 bis K6
 - o R1
 - o S1
- Eibelstadt
 - o Br. Eibelstadt
- Sulzfeld / Marktsteft
 - o Messstellen M1 bis M4
 - o Brunnen Moser Michelfeld und Brunnen Hildnerhof

in der Anlage 5.1.1 zu Piper-, Schoeller- und Kreisdiagrammen ausgewertet. Diese Aufschlüsse erschließen alle den MGWL, der auch bei Sulzfeld/Marktsteft in die Quartärrinne hin entwässert, in der die Brunnen des Gewinnungsgebietes verfiltert sind. In der Regel sind die aus dem GWL 2 beprobten Grundwässer durch hohe Calcium-, Sulfat- und Hydrogencarbonatkonzentrationen gekennzeichnet. Dem entsprechend sind die Wässer als überwiegend hydrogencarbonatische-sulfatische erdalkalische Wässer (Piper-Feld b) oder als überwiegend sulfatische erdalkalische Wässer (Piper-Feld c) anzusprechen. Hierbei werden die hohen Calcium- und Sulfatkonzentrationen auf die Subrosion der Sulfate des Mittleren Muschelkalks im Liegenden des Grundwasserleiters zurückgeführt.

Der pH-Wert der aus dem GWL 2 beprobten Grundwässer liegt relativ einheitlich im neutralen bis schwach basischen Bereich, bei Werten zwischen 7,0 und 7,3. Die Gesamthärte liegt durchgängig bei vergleichsweise hohen Werten zwischen 30 und 50 °dH. Die Karbonathärte liegt in der Regel bei Werten zwischen 14 und 19°dH. Aus den vorliegenden Daten ergeben sich keine Anzeichen auf einen Zustrom von Ionenaustauschwässern, wie sie bei extrem langen Verweilzeiten im Grundwasserleiter (fossile Wässer) typisch wären. Der Gesamtmineralstoffgehalt ist mit Werten zwischen 850 und 1.600 mg/l insgesamt relativ hoch.

Die Grundwasserproben der Messstellen/Brunnen S1 (Kitzingen), M1 und M2 (Marktsteft) fallen durch vergleichsweise hohe Natrium- und Chloridkonzentrationen auf. Dem entsprechend sind diese Wässer als überwiegend sulfatische-chloridische erdalkalische Wässer mit erhöhtem Alkaligehalt (Piper-Feld e) anzusprechen. Diese hydrochemische Charakteristik wird auf eine Lösung des im Mittleren Muschelkalk vorhandenen Steinsalzes zurückgeführt, wobei natürlich auch an diesen Messstellen hohe Calcium- und Sulfatgehalte von der Sulfatlösung aus dem Mittleren Muschelkalk vorliegen. An den Messstellen K4 sowie Klinge 4 (Kitzingen) und M3 (Sulzfeld) werden leicht erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen gemessen, so dass die dort beprobten Wässer einen Mischtyp zwischen den mehr sulfatisch und den mehr chloridisch geprägten Wässern darstellen.

Im Muschelkalkbereich westlich (rechts) des Mains (z.B. Br. Forst, Zeubelried, Zeubelrieder Moor 1 und 2, Br. Mönchshof, K1 bis K3, K6, R1 und Br. Eibelstadt) werden vor allem die calcium- / sulfatgeprägten Grundwässer angetroffen. Diese Charakteristik wird darauf zurückgeführt, dass in diesen Bereichen das Steinsalz des Mittleren Muschelkalks bereits weitestgehend vollständig subrodiert ist. Nur an den Brunnen/Messstellen K4, S1, und M3 werden auch erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen gemessen, die auf noch nicht subrodierte Reste des Steinsalzlagers im Mittleren Muschelkalk in deren Zustrombereichen zurückgeführt werden.

Aus dem Muschelkalkbereich östlich (links) des Mains liegen nur die Messwerte der Messstellen M1 und M2 vor. Diese repräsentieren den Zustrom zur Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft im Niveau des GWL 2 aus östlicher Richtung. Im Gegensatz zum Zustrom aus westlicher Richtung treten hier die erhöhten Natrium- und Chloridkonzentrationen auf, die auf die Subrosion des Steinsalzlagers im Mittleren Muschelkalk östlich des Mains zurückgeführt werden. Die Messstellen/Brunnen K4, S1 und M3 an denen westlich des Mains auch erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen gemessen wurden liegen alle in unmittelbarer Nähe des Mains. Als Ursache für die an diesen Brunnen erhöhten Natrium- und Chloridkonzentrationen ist ein Zustrom aus dem Bereich östlich des Mains, also eine Mainunterströmung im Niveau des MGWL anzunehmen.

Die Nitratgehalte an den aus dem Muschelkalk (MGWL) beprobten Brunnen und Messstellen liegen zwischen 18 und 60 mg/l (Mittelwerte) hierbei treten die geringeren Konzentrationen

(< 30 mg/l) an den Messstellen M1, M2, M3 und S1 auf, die auch durch die erhöhten Natrium- und Chloridkonzentrationen aus der Steinsalzlaugung gekennzeichnet sind. Mit Ausnahme des Br. Mönchshof im Maintal bei Frickenhausen (28 mg/l) liegen die Nitratgehalte im Bereich westlich des Mains verbreitet im Bereich zwischen 40 und 60 mg/l. Diese Nitratgehalte zwischen 40 und 60 mg/l repräsentieren den Zustrom zur Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft im Niveau des GWL 2 aus westlicher Richtung. Aus östlicher Richtung sind im Zustrom zur den Brunnen der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft auf dem Niveau des GWL 2 Nitratgehalte im Bereich zwischen 20 und 30 mg/l (M1 und M2) nachgewiesen.

Pflanzenschutzmittel bzw. deren Abbauprodukte Dimethylsulfamid, Desphenylchloridazon und Methyldesphenylchloridazon sind in den im MGWL verfilterten Messstellen und Brunnen des südlichen Modellraums sowohl im östlichen wie auch westlichen Zustrom zu den Brunnen mit Gehalten von bis zu 1,4 µg/l nachweisbar.

Für die Abwassermarker Acesulfam und Amidotrizoesäure ist festzustellen, dass östlich des Mains an den Brunnen Kitzingen, Eibelstadt sowie Ochsenfurt nur geringe Konzentrationen von unter 50 ng/l, für Gadolinium von < 1 ng/l gemessen wurden. An den Messstellen M1 bis M4 im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft sind die Konzentrationen mit Messwerten bis rd. 130 ng/l (Amidotrizoesäure, Acesulfam) bzw. rd. 6 ng/l für Gadolinium etwas höher. Das Vorkommen der Abwassermarker in diesen Messstellen wird hierbei in erster Linie auf Oberflächen-Wasser bzw. Abwasserbeeinflussung aus dem landseitigen Zustrom und nicht auf Uferfiltrat aus dem Main zurückgeführt.

Beschaffenheitsdaten der Muschelkalkgrundwässer aus dem nördlichen Untersuchungsraum liegen von den folgenden Brunnen vor:

- Albertshofen
 - o Br. III (MGWL)
- Kitzingen
 - o Br. MIV (MGWL – GWGL mo)
 - o Br. M5 (MGWL – OGWL)
 - o Br. M7 (MGWL – OGWL)
 - o Br. C „Tännig“ (MGWL – OGWL)

Bis auf den Br. III Albertshofen, der dem MGWL zugeordnet wird erschließen diese Brunnen im nördlichen Untersuchungsraum im Oberen Muschelkalk sowohl den hangenden Teil des MGWL, wie auch den hangenden GWGL mo und den OGWL. Die Piper-, Schöller- sowie Kreisdiagramme für die Grundwasseraufschlüsse des nördlichen Modellraums sind der Anlage 5.1.2 zu entnehmen.

Die pH-Werte der Brunnen im nördlichen Modellraum sind mit rd. 7,2 bis 7,3 im neutralen bis schwach basischen Bereich. Die elektrischen Leitfähigkeiten bewegen sich zwischen rd. 500

und rd. 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Insgesamt weisen die Grundwässer eine ähnliche Beschaffenheit auf, wie im südlichen Modellraum. Sie sind als erdalkalische-hydrogencarbonatisch-sulfatische Wässer zu charakterisieren. Die Nitratgehalte bewegen sich an den betrachteten Brunnen zwischen etwa 20 und 30 mg/l.

Aus Auswertungen von Spurenstoffanalysen aus den Brunnen M5 bis M7 wurden in [17] Zu-stromanteile von Uferfiltratwässern mit längeren Verweilzeiten abgeleitet. Diese Uferfiltratanteile mit längeren Verweilzeiten werden auf den Randzustrom zum Modellraum aus nördlicher Richtung zurückgeführt. Die in den Brunnen gemessenen Konzentrationen von Pflanzenschutzmitteln bzw. deren Metabolite belegen zumindest eine teilweise die Herkunft der geförderten Wässer aus dem Bereich landwirtschaftlicher Nutzflächen.

6.3 Grundwasserbeschaffenheit im Keuper

Die Beurteilung der Grundwasserbeschaffenheit basiert auf Grundlage der Analysenwerte für die Quellen

- Qu2 / Dettelbach
- Ochsenrainquelle / Ochsenfurt
- Tiefenstockheim / Seinsheim
- Wiesengrundquelle / Mainstockheim

Deren Wässer sind als erdalkalisch hydrogencarbonatisch bis hydrogencarbonatisch-sulfatisch zu charakterisieren (siehe Anlage 5.1.3). Die pH-Werte bewegen sich im neutralen bis schwach basischen Bereich. Die Nitratkonzentrationen liegen mit etwa 60 bis 70 mg/l deutlich über dem Grenzwert nach TrinkwV (50 mg/l).

Hinsichtlich der betrachteten Pflanzenschutzmittelmetabolite ist festzustellen, dass die gemessenen Konzentrationen mit bis zu rd. 1,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ relativ deutlich sind. Für die betrachteten Abwassermarker können aufgrund fehlender Analysenwerte keine Aussagen getroffen werden.

6.4 Quartär

Die Grundwässer der Quartärmessstellen sind anhand ihrer pH-Werte mit rd. 7 bis rd. 7,8 als neutral bis schwach basisch einzustufen. Sie zeigen entsprechend unterschiedlicher Zustromanteile (Muschelkalk, Main) eine große Bandbreite der Wasserbeschaffenheit von erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatischen Wässern bis hin zu erdalkalisch, überwiegend sulfatische-chloridische Wässer mit höherem Alkalianteil (Piper-Felder a, b, c, d und e; siehe auch Anlagen 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3 und 5.2.4).

Dabei sind die Grundwasserqualitäten der Messstellen B15 und N1 Marktsteft mit ihrem hohen Natrium- und Chloridgehalten sowie den hohen elektrischen Leitfähigkeiten zwischen rd. 1.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und rd. 2.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durch den Zustrom salzhaltigen Grundwassers aus dem mittleren Muschelkalk beeinflusst.

Die auf Sulzfelder Seite in den Messstellen N3neu, N4, N5, N6 und GP17 angetroffenen erdalkalisch hydrogencarbonatisch-sulfatischen Grundwässer repräsentieren vorrangig den landseitigen Zustrom aus dem Muschelkalk. Linksmainisch zeigen die Marktstefter Messstellen N10 und N11 eine ähnliche Charakteristik. Sie weisen jedoch mit Leitfähigkeiten von rd. 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis rd. 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ etwas geringere Gesamtmineralisationen als die Messstellen auf Sulzfelder Seite auf (Leitfähigkeiten: rd. 1.100 bis rd. 1.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Die Grundwässer der mainnahen Messstellen S1a, N12, N1a, TD1 bis TD3 Sulzfeld sowie N14 Marktsteft charakterisieren vor allem durch den Main beeinflusste Grundwasserqualitäten. Sie zeigen verglichen zu den durch den Muschelkalk beeinflussten Messstellen geringere Gesamtmineralisationen mit elektrischen Leitfähigkeiten von etwa 600 bis 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Grundwässer sind vorrangig als erdalkalisch hydrogencarbonatisch-sulfatisch mit teilweise geringfügig höheren Alkalianteilen zu charakterisieren.

Für Nitrat ist im Allgemeinen mit zunehmendem Uferfiltratanteil eine Abnahme der Nitratgehalte feststellbar. An den im linksmainischen Zustrom gelegenen Quartärmessstellen bewegen sich diese etwa zwischen 60 und 110 mg/l. Auf Sulzfelder Seite sind die Werte mit bis zu rd. 70 mg/l etwas geringer. An den mainnahen Messstellen liegen diese im Bereich von bis zu rd. 35 mg/l.

Hinsichtlich analysierter Pflanzenschutzmittel und deren Metabolite ist festzuhalten, dass die höchsten Gehalte im Zustrom an den Sulzfelder Messstellen mit bis zu 2,6 $\mu\text{g}/\text{l}$ relativ deutlich sind. Auf Marktstefter Seite bewegen sich die PBSM-Gehalte an den mainferneren Messstellen mit bis zu 0,8 $\mu\text{g}/\text{l}$ auf einem etwas geringeren Niveau. Mit zunehmendem Uferfiltratanteil nehmen die Gehalte von Pflanzenschutzmitteln und deren Metaboliten im Allgemeinen ab. In mainnähe liegen die Gehalte bei Werten bis zu rd. 0,35 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Für die anthropogenen, abwasserrelevanten Spurenstoffe ist festzuhalten, dass an den mainnahen Messstellen, die im Bereich des Uferfiltratzustroms zu den Brunnen liegen die höchsten Gehalte mit ≤ 500 ng/l (Acesulfam), ≤ 350 ng/l (Amidotrizoesäure) und ≤ 170 ng/l (Gadolinium) analysiert werden. Mit abnehmenden Uferfiltratanteilen nehmen die Gehalt im Allgemeinen ab. Vereinzelt höhere Befunde, wie bspw. an den Marktstefter Messstellen für Gadolinium (bis 205 ng/l), werden auf den Einfluss umliegender Ortschaften (Kanalisation, Oberflächengewässer) im Einzugsgebiet zurückgeführt.

Die im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs gewonnenen Daten zu anthropogenen Spurenstoffen im Oberflächenwasser des Mains, in den Brunnen sowie den im Brunnenumfeld vorhandenen Grundwassermessstellen wurden genutzt um die Uferfiltratanteile im Förderwasser der Brunnen abzuschätzen. Leider kommen im Gewinnungsgebiet die als Abwassermarker nutzbaren Spurenstoffe nicht nur im Main vor, sondern waren auch teilweise im landseitigen Zustrom nachweisbar. Darüber hinaus können die Spurenstoffuntersuchungen, gerade im Grenzbereich der Nachweisbarkeit erhebliche Unschärfen aufweisen. Das konnte bei den Untersuchungen durch die mehrfache Analyse ein und derselben Proben sehr deutlich nachgewiesen werden. Hier sind teilweise Unterschiede um den Faktor 2 nach Unten wie nach Oben aufgetreten. Aus diesem Grund sind die aus den Spurenstoffgehalten ermittelten Uferfiltratanteile auch noch mit erheblichen Unschärfen behaftet. Eine ausführliche Dokumentation der im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs erhobenen Beschaffenheitsdaten ist dem Anhang 1 (Dokumentation kontrollierter Brunnenbetrieb) zu diesem Bericht zu entnehmen.

Aus den Beschaffenheitsdaten der Brunnen sowie der für die verschiedenen Zustrombereiche ermittelten Grundwasserbeschaffenheit lassen sich Rückschlüsse auf die Zustromanteile der Brunnen aus den verschiedenen Zustrombereichen gewinnen. Dabei wird zwischen den folgenden Zustrombereichen unterschieden:

- Zustrom aus den Muschelkalk (MGWL)
 - o Zustrom von unten aus dem liegenden Teil des MGWL
 - o Zustrom von der Seite aus dem hangenden Teil des MGWL
- Uferfiltrat aus dem Main
- Grundwasserneubildung im Quartärbereich des Maintales.

Einzelheiten zu den aus den Beschaffenheitsdaten abgeschätzten Zustromanteilen sind in der Anlage 5.4 dokumentiert. Die für die maximalen Jahresentnahmen im Mittel erwarteten Zustromanteile zu den einzelnen Brunnen sind in der Tabelle 6 zusammengefasst. Bei kurzfristig höheren Spitzenentnahmen werden höhere Uferfiltratanteile sowie höher Anteile von Wässern aus dem liegenden Teil des MGWL erwartet (siehe auch Anlage 5.4)

Tabelle 6: Für maximale Jahresentnahmen erwartete Zustromanteile

Zustromkomponente	HFB M	HFB S	N1	N2	S1	S2
Zustrom aus dem liegenden MGWL West	0%	60%	8%	18%	0%	0%
Zustrom aus dem liegenden MGWL Ost	50%	0%	0%	0%	29%	30%
Zustrom aus dem hangenden MGWL West	0%	19%	82%	73%	68%	45%
Zustrom aus dem hangenden MGWL Ost	22%	0%	0%	0%	0%	0%
Zustrom aus Uferfiltrat	25%	18%	7%	6,5%	0%	22%
Zustrom aus GWN über Quartär	3%	3%	3%	3%	3%	3%

Unter Ansatz der beim kontrollierten Brunnenbetrieb (Stufe 1) realisierten Entnahmeverteilung zwischen den Einzelbrunnen (HFB M 19,6%, HFB S 35,5%, N1 12,9%, N2 8,0%, S1 11,1% und S2 12,9) sowie einer zukünftig angestrebten maximalen Jahresentnahme von 8 Mio. m³/a (rd. 254 l/s) erfolgt die Bilanzdeckung zu rd. 41% (rd. 103 l/s) aus dem liegenden MGWL, zu rd. 41% (rd. 104 l/s) aus dem hangenden MGWL, zu rd. 16 % (rd. 39 l/s) aus Uferfiltrat und zu rd. 3% (rd. 8 l/s) aus der Grundwasserneubildung über dem Quartärbereich des Maintals. Bei einer dauerhaften Ausschöpfung dieser Jahresentnahmen in Höhe von rd. 8 Mio. m³/a wird von einem weiteren Anstieg des Uferfiltratanteils auf Werte bis etwa 20 % ausgegangen. Dem entsprechend verringern sich nach einem vollständigen Austausch der in der quartärrinne Strömenden Grundwässer vor allem die Anteile des Zustroms aus dem hangenden Teil des MGWL.

Im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs wurde für den Parameter Dimethylsulfamid bei einzelnen Rohwasseranalysen der gesundheitliche Orientierungswert (GOW-Wert) des Umweltbundesamtes in Höhe von 1,0 µg/l überschritten. Die während des kontrollierten Brunnenbetriebs gemessenen Konzentrationen liegen in den Brunnen bei maximal 1,4 µg/l und in den landseitigen Zustrommessstellen bei maximal 2,3 µg/l. Im Reinwasser am Wasserwerksausgang wird der GOW-Wert immer sicher eingehalten.

An den Brunnen mit einem hohen Uferfiltratanteil (HFB S, N1 und S2) wird beim Parameter Oxipurinol teilweise der gesundheitliche Orientierungswert des Umweltbundesamtes in Höhe von 0,3 µg/l überschritten. Die während des kontrollierten Brunnenbetriebs gemessenen Konzentrationen liegen in den Brunnen bei maximal 0,73 µg/l. Im Reinwasser am Wasserwerksausgang wird der GOW-Wert immer sicher eingehalten.

7 Grundwasserbilanzierung

7.1 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung aus der Versickerung von Niederschlagswasser für den Modellraum wurde den aus dem Bodenwasserhaushalt mit dem Modellsystem GNBW ermittelten und den seitens des LfU übergeben Daten entnommen. Hierbei wird aus dem Bodenwasserhaushalt zunächst eine Sickerwassermenge berechnet und über Abflussdaten der Oberflächengewässer der s.g. Zwischenabfluss mit sehr kurzen Verweilzeiten von dem eigentlichen unterirdischen Abfluss (=Grundwasserneubildung) getrennt.

Dabei zeigt Anlage 6.1 die zeitliche Entwicklung der Grundwasserneubildung im Modellraum auf der Grundlage von Jahressummen. In Anlage 6.2 ist die mittlere Grundwasserneubildung für den gesamten vorliegenden Zeitraum von 1951 bis 2015, in Anlage 6.3 ist die Grundwas-

serneubildung in trockenen Zeiträumen am Beispiel der Jahre von 1971 bis 1973 in der Fläche dargestellt.

Im langjährigen Mittel (1951 bis 2015) lag die Grundwasserneubildung im Modellraum bei rd. 2,1 l/s·km². Maximal wurden dabei rd. 5,3 l/s·km² im Jahr 1965, minimal rd. -0,2 l/s·km² im Jahr 1967 ermittelt. Die Bewertung der Grundwasserneubildung für hydrologisch trockene Verhältnisse erfolgt auf Grundlage des 3-Jahres Mittels für den Zeitraum 1971 bis 1973. In trockenen Zeiträumen liegt die Grundwasserneubildung im Modellraum bei rd. 1,1 l/s·km². Damit liegt diese rd. 47% unter der mittleren Grundwasserneubildung.

Hinsichtlich der räumlichen Verteilung ist festzustellen, dass auch bei der mittleren Grundwasserneubildung für die Talniederungen eine Grundwasserzehrung (negative Grundwasserneubildung; Verdunstung > Grundwasserneubildung) berechnet wird. Großflächig liegt die mittlere Grundwasserneubildung im Modellraum im Bereich von 1 bis 3 l/s·km² (siehe Anlage 6.2), in trockenen Jahren bei rd. <1 bis 2 l/s·km² (Anlage 6.3) Im Südwesten des Untersuchungsraumes liegt die mittlere Grundwasserneubildung im Zeitraum 1951 bis 2015 kleinflächig zwischen rd. 8 und > 10 l/s·km². Hier steht zumeist der Muschelkalk an der Oberfläche an, der günstige Voraussetzungen für hohe Grundwasserneubildungsmengen besitzt.

Auf Grund der hydraulischen Situation im Untersuchungsraum mit dem Werksandstein im Unteren Keuper als hangendes Grundwasserstockwerk, über das überwiegend der in der Grundwasserneubildungsberechnung nicht enthaltene Zwischenabfluss abgeführt wird, sind die aufgeführten Neubildungsmengen als Grundwasserneubildungsmengen auf das Niveau des OGWL oder dort wo dieser erodiert ist auf dem Niveau des MGWL und im Maintal auf das Quartär zu beziehen.

7.2 Grundwasserentnahmen

Die Grundwasserentnehmer des Modellraums mit den vorliegenden Jahresentnahmen der Jahre 1992 bis 2016 sind in der Anlage 4.3.1 in Tabellenform aufgeführt. In der Anlage 4.3.2 ist die räumliche Verteilung der Grundwasserentnahmen für das Jahr 2016 im Modellraum dargestellt. In der Summe belaufen sich die Entnahmen für den Modellraum für das Jahr 2016 (beste/vollständigste Datengrundlage) auf rd. 6,0 Mio. m³/a.

Die größten Entnahmeraten entfielen dabei auf die Brunnen der FWF im Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft mit rd. 4,0 Mio. m³/a, „Klinge“ rd. 0,6 Mio. m³/a, „Zeubelrieder Moor“ rd. 0,4 Mio. m³/a, Br. C „Tännig“ rd. 0,4 Mio. m³/a und „Mainstockheimer Straße“ rd. 0,3 Mio. m³/a.

Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserentnahmen für das Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft ist in den Anlagen 4.3.3 (Jahresentnahmen für den Zeitraum von 1974 bis 2018) und 4.3.4 (Tagesentnahmen während des kontrollierten Brunnenbetriebs) dargestellt.

Nachdem in den Jahren zwischen 1974 und 1992 mit Gesamtmengen zwischen etwa 5,3 und 8,3 Mio. m³/a relativ große Grundwassermengen aus dem Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft gefördert wurden, lagen die jährlichen Entnahmemengen in den Jahren zwischen 1993 und 2015 mit Werten zwischen etwa 2,4 und 3,5 Mio. m³/a deutlich niedriger. In den Jahren 2016 und 2017 wurde mit jeweils rd. 4,0 Mio. m³/a wieder etwas mehr gefördert. Im Jahr 2018 war dann die Jahresentnahme mit etwa 5,6 Mio. m³/a noch etwas größer.

Die Entnahmeraten aus den Brunnen des Gewinnungsgebietes Sulzfeld/Marktsteft für verschiedene Entnahmestände wurden bereits bei der Grundwasserhydraulik in Kapitel 5.6 (siehe auch Tabelle 4) zur Interpretation der Grundwassergleichenpläne beschrieben. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle auf eine wiederholte Beschreibung verzichtet.

7.3 Austausch mit Oberflächengewässern

Für den Modellraum lassen sich die Austauschmengen des Grundwassers mit dem Oberflächenwasser nicht direkt aus Messdaten wie z.B. Abflussmessungen ableiten. Dafür sind zum einen die Abflussmengen im Main in Relation zu den Unsicherheiten bei Abflussmessungen viel zu groß und zum anderen liegt der Main über weite Strecken am Modellrand und er erhält in diesem Bereich einen Zustrom sowohl aus dem Modellraum von Norden als auch aus dem südlich anschließenden Bereich außerhalb des Modellraums. Für die kleineren Gewässer im Modellraum ist zwar eine belastbarere Ermittlung von Austauschmengen mit dem Grundwasser theoretisch denkbar, es liegen jedoch keine entsprechenden Daten vor. Aus diesen Gründen ist für den Austausch mit den Oberflächengewässern nur eine qualitative Beschreibung aber keine genauere Quantifizierung möglich.

Im Normalfall fungieren die Gewässer des Modellraums als Vorfluter für die Grundwässer aus dem jeweiligen Einzugsgebiet. Infiltrationen aus den Gewässern können überall dort erfolgen, wo der Grundwasserstand unter dem Wasserstand im Gewässer liegt. Das ist für den Modellraum vor allen an den folgenden Orten zu erwarten:

- Übertritt der Bäche aus dem Bereich des Unteren Keupers in den Bereich des Muschelkalks
- Im oberstromigen Bereich der Mainstautufen (Umströmung der Staustufen im Grundwasser)
- Im Bereich von entnahmebedingten Grundwasserabsenkungen wie z.B. im Gewinnungsgebiet Sulzfeld / Marktsteft.

Die Abschätzung der Austauschmengen mit den Oberflächengewässern kann nur für den Nahbereich der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft aus den vorliegenden Beschaffenheitsdaten und für den gesamten Modellraum aus Bilanzbetrachtungen erfolgen.

Im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebs wurden die in Tabelle 7 aufgeführten Uferfiltratanteile und -mengen ermittelt. Für das Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft wurde dabei ein Uferfiltratanteil von rd. 16 % und eine Uferfiltratmenge von rd. 44 l/s nachgewiesen.

Tabelle 7: Uferfiltratanteile für den kontrollierten Brunnenbetrieb

Brunnen	Entnahmerate Mittelwert über alle 3 Pumpstufen des kontrollierten Betriebs [l/s]	Aus Beschaffenheitsdaten für Q₃₆₅ abgeleiteter Uferfiltratanteil [%]	Uferfiltrat- zustrom [l/s]
HFB M	55,6	25,0	13,9
HFB S	104,2	18,0	18,8
N1	35,3	7,0	2,5
N2	20,0	6,5	1,3
S1	27,5	0,0	0,0
S2	35,3	22,0	7,8
Gewinnungsgebiet	277,8	15,9	44,2

Für die zukünftig maximal angestrebte Jahresentnahme in Höhe von bis zu 8 Mio. m³/a ergibt sich ein Uferfiltratzustrom in Höhe von rd. 40 l/s. Für das zur Bilanzierung genutzte Jahr 2016 ergibt sich bei einer Förderung von rd. 4 Mio. m³/a aus dem Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft bei einem Uferfiltratanteil von rd. 16 % ein Uferfiltratzustrom in Höhe von etwa 20 l/s.

Aus den Bilanzbetrachtungen ergibt sich unter Ansatz der langjährigen mittleren Grundwassererneubildung, ermittelt für den Zeitraum von 1951 bis 2015 und der Entnahmen für das Jahr 2016 in der Summe eine Abstrommenge in die Gewässer in Höhe von 331 l/s. Dazu kommt noch die nicht zu messende Menge „X“, die z.B. im Oberlauf der Bäche oder aus dem Main bei der Umströmung der Staustufen zunächst ins Grundwasser infiltriert und an anderer Stelle wieder von den Gewässern aufgenommen wird.

7.4 Grundwasserzustrom

Am nördlichen Modellrand wird im Bereich des Mains auf dem Niveau des MGWL, der in diesem Bereich keinen direkten hydraulischen Anschluss an den Main besitzt ein \pm mainparalleler Zustrom zum Modellraum erwartet.

Die Zustrommengen in diesem Bereich können über das Gesetz von Darcy aus Fließquerschnitt, Gefälle und Durchlässigkeit abgeschätzt werden. Aus einer Anstrombreite von rd. 1.500 m, einer Mächtigkeit des MGWL von rd. 44 m einem Grundwassergefälle von 0,001 und einer Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s ergibt sich ein Zustrom zum Modellraum in Höhe von rd. 6,6 l/s bzw. rd. 210.000 m³/a.

7.5 Grundwasserbilanz für den Bilanz und Modellraum

Die aufgestellte Grundwasserbilanz (siehe Tabelle 8) basiert auf den Entnahmen für das Jahr (2016, beste/vollständigste vorliegende Datenbasis) und der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung, ermittelt für den Zeitraum von 1951 bis 2015.

Tabelle 8: Bilanzierung für den Modellraum [l/s]

Bilanzgröße	Zustrom	Abstrom
Grundwasserneubildung (Mittel 1951 – 2015)	495	-
Randzustrom zum Bilanz- und Modellraum	7	-
Grundwasserentnahme (Daten 2016; beste Datenbasis)	-	191
Austausch mit Oberflächengewässern	X + 20	X + 331
Bilanzsumme	X + 522	X + 522

Der Zustrom zum Modellraum ergibt sich aus der Grundwasserneubildung durch die Versickerung von Niederschlagswasser in Höhe von rd. 495 l/s (Mittelwert 1951 – 2015) und den im Bereich der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft infiltrierenden Uferfiltratmengen in Höhe von rd. 20 l/s (ca. 16 % der Entnahmen aus dem Gewinnungsgebiet, hier für das Jahr 2016). Dazu kommen noch nicht messbare Infiltrationsmengen (Menge „X“) aus Oberflächengewässern, die z.B. im Oberlauf der Bäche oder bei der Umströmung der Staustufen des Mains aus dem Main ins Grundwasser infiltrieren und ein Randzustrom im Norden von rd. 7 l/s.

Messbare Abströme aus dem Modellraum sind die Entnahmen aus Brunnen und Quellen, das waren in den für die Bilanzierung genutzten Jahr 2016 insgesamt 191 l/s. Der restliche Abstrom erfolgt zu den Gewässern. Das sind die aus Bilanzbetrachtungen ermittelten 331 l/s zuzüglich der an anderer Stelle infiltrierten nicht messbaren Menge „X“. Insgesamt beläuft sich damit im Modellraum die Bilanzsumme auf 522 l/s + „X“.

8 Vorgaben für das numerische Grundwasserströmungsmodell

Die Voraussetzungen für die Abbildung der Zustromverhältnisse im Zustrom zum Gewinnungsgebiet Sulzfeld/Marktsteft sind abhängig von den verschiedenen Bereichen des Grundwasserzustroms sehr unterschiedlich.

Der quartäre Grundwasserleiter des Maintals und die dort vorliegenden hydraulischen Gegebenheiten können sehr gut mit einem numerischen Grundwasserströmungsmodell wiedergegeben werden. Das ist damit zu begründen, dass zum einen sehr viel Informationen für den Aufbau und die Anpassung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells vorliegen und zum anderen die gängige Modellierungssoftware auch für die Abbildung solcher Porengrundwasserleiter sehr gut geeignet ist. Damit kann ein numerisches Grundwasserströmungsmodell ein geeignetes Werkzeug für die Abbildung der Verhältnisse im quartären Teil des Einzugsgebietes der Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft bilden. Für diesen ist eine vergleichsweise hohe Aussagekraft eines numerischen Grundwasserströmungsmodells zu erreichen. In diesem Teil des Modellraums sind auch kleinräumige/lokale Aussagen aus den Modellergebnissen belastbar abzuleiten.

Die Karst- und Kluftgrundwasserleiter des Muschelkalks sind alleine von der Art des Grundwasserleiters her schon deutlich schwieriger im numerischen Modell abzubilden. Das liegt zum einen daran, dass die Verteilung der Durchlässigkeiten im Gebirge durch Karsthohlräume und Klüfte sehr unterschiedlich ist und auch richtungsgebundene Anisotropien zu erwarten sind. Um dafür kleinräumige Vorgaben im numerischen Modell machen zu können fehlen die dafür notwendigen Daten. Darüber hinaus ist auch so die Datendichte für die Muschelkalkgrundwasserleiter des Modellraums deutlich geringer als für das quartär des Maintales. Auf Grund der Charakteristik des Grundwasserleiters mit einer sehr heterogenen Verteilung der Durchlässigkeiten ist dieses Datendefizit z.B. durch weitere Bohrungen auch nicht deutlich zu vermindern. Aus diesem Grund wird die Abbildung der hydraulischen Verhältnisse im Festgesteinseinzugsgebiet auch immer mit deutlichen Unschärfen behaftet sein. Für diesen Teil des Einzugsgebietes sind großräumige Betrachtungen z.B. zur Grundwasserbilanz ohne weiteres möglich. Kleinräumige Betrachtungen sind dagegen für den Karst- und Kluftgrundwasserleiter des Muschelkalks nur mit deutlichen Unschärfen denkbar.

Die räumliche Auflösung des numerischen Modells sollte sich an der Belastbarkeit der zur Verfügung stehenden Daten orientieren. Im Nahbereich der im Mainquartär verfilterten Brunnen ist zur Bearbeitung relevanter Fragestellungen wie z. B. die Lage der 50-Tage Linie eine räumliche Auflösung des Modells von wenigen Metern sinnvoll. Im weiteren Zustrombereich der Gewinnungen aus den Kluft- und Karstgrundwasserleitern ist die Datendichte für so eine detaillierte Abbildung der Verhältnisse nicht gegeben. Für die in diesem weiteren Zustrom mit dem numerischen Modell zu bearbeitenden Fragestellungen (Lage des Einzugsgebietes) ist

demnach eine deutlich größere räumliche Ausdehnung von mehreren hundert Metern ausreichend.

Für die Abbildung der hydraulischen Verhältnisse im ungesättigten Bereich, wie z.B. dem Abfluss auf Schichtflächen in Richtung des Schichteinfallens sind numerische Grundwasserströmungsmodelle grundsätzlich nicht geeignet. Diese Zustrombereiche sind somit mit dem numerischen Modell nicht sinnvoll abzubilden. Auch das hangende Grundwasserstockwerk im Unteren Keuper mit den darunter vorkommenden ungesättigten (trockenen) Bereichen ist nicht ohne weiteres in einem numerischen Grundwasserströmungsmodell abzubilden.

Die Abbildung der hydraulischen Situation sollte im numerischen Modell alleine für die Grundwasserleiter MGWL, OGWL und Quartär sowie den Grundwassergeringleiter GWGL mo erfolgen. Die Modellbasis bildet dabei die Basis des MGWL. Die Modelloberkante wird durch die Oberkante des MGWL bzw. dort wo dieser erodiert ist durch die Geländeoberfläche gebildet. Die Schichtlagerung für diese Grundwasserleiter/Grundwassergeringleiter ist ausführlich in Kapitel 4.2 und den Anlagenreihen 3.8 und 3.9 dokumentiert.

Da über den hangenden Grundwasserleiter im unteren Keuper im Wesentlichen der Zwischenabfluss abgeführt wird, der in der ausgewiesenen Grundwasserneubildung nicht mit enthalten ist, ist für das numerische Modell die aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell ermittelte Grundwasserneubildung (siehe Kapitel 7.1) anzusetzen.

Auf Grundlage der aus den Gleichenplänen abgeleiteten hydraulischen Situation für den Modellraum ergibt sich im Niveau des MGWL im Maintal bei Albertshofen ein Zustrom zum Modellraum aus nördlicher Richtung in Höhe von rd. 7 l/s. Ansonsten ist der Modellraum allseitig von no-flow Randbedingungen umschlossen.

Die Verteilung der geohydraulischen Parameter, einschließlich der erwarteten Anisotropie im Nahbereich von Störungen sollte als Starbedingung für das numerische Modell gemäß Kapitel 3.10 (Anlage 3.10.3 und Tabelle 2) erfolgen. Da die geohydraulischen Parameter aus den vorliegenden Daten vor allem für die Karst- und Kluffgrundwasserleiter des Muschelkalks nur mit vergleichsweise großen Unsicherheiten abgeleitet werden können, sind relativ große Variationen der geohydraulischen Parameter für die Modellkalibrierung möglich.

Die Grundwasserentnahmen sind entsprechend (Kapitel 7.2 u. Anlagen 4.3.1 bis 4.3.4) als innere Randbedingung im numerischen Modell abzubilden.

Die Gewässer des Modellraums sind ebenfalls als innere Randbedingung im numerischen Modell zu berücksichtigen. Hierbei besitzt für die Zustromverhältnisse zur Gewinnung Sulzfeld/Marktsteft der Main im Bereich der Stauhaltung Marktbreit als Hauptvorfluter eine wesentliche Bedeutung. Die Sohl-tiefen des Mains sind für ausgewählte Querprofile in der Anlage 2.5

dargestellt. Die im numerischen Modell für die Stauhaltung Marktbreit anzusetzenden Mainwasserstände sind den Daten der Pegel Kitzingen UP, Sulzfeld und Marktbreit OP, ausführlich dokumentiert im Anhang 1 (kontrollierter Brunnenbetrieb) zu entnehmen.

Im Rahmen älterer Modelluntersuchungen wurden für den Main Leakagekoeffizienten zwischen $1 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ in Stillwasserbereichen und $5 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ im Bereich der Fahrrinne plausibilisiert. Aus den Daten des kontrollierten Brunnenbetriebs mit einer sehr deutlichen Absenkung des Grundwasserstands unter den Mainwasserstand und in Relation dazu recht begrenzten Uferfiltratanteilen im Förderwasser der Brunnen ergeben sich Hinweise auf eine im Nahbereich der Brunnen weitestgehend vollständig kolmatierte Mainsohle. Für diesen Bereich wird von Leakagefaktoren um $1 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ ausgegangen. Eine so starke Kolmation ist für den brunnen nahen Bereich durchaus plausibel zu erklären, da hier durch den hydraulischen Gradienten vom Main zum Grundwasser die im Main enthaltenen Schwebstoffe die Durchlässigkeit der Mainsohle sehr deutlich vermindern können. Ähnlich wie bei den geohydraulischen Parametern der Grundwasserleiter lassen sich die Leakagekoeffizienten der Mainsohle ebenfalls nur mit relativ großen Unsicherheiten aus den vorhandenen Daten ableiten. Aus diesem Grund können auch Variationen der Leakagekoeffizienten für die Modellkalibrierung genutzt werden.

Flächendeckende Grundwasserstandsdaten für den Modellraum liegen nur für die Stichtagsmessung vom September 2013 vor. Die für diesen Stichtag dokumentierten Grundwasserstände im Muschelkalkzustrom zur Gewinnung Sulzfeld Marktsteft kommen den mittleren Wasserständen in diesem Bereich sehr nahe. Aus diesem Grund sollte die erste stationäre Anpassung des numerischen Modells unter Ansatz mittlerer hydrologischer Verhältnisse und der Grundwasserentnahmen in diesem Zeitraum auch an die Messwerte der Stichtagsmessung vom September 2013 erfolgen.

Für den Nahbereich des Gewinnungsgebietes bietet sich eine weitere Detailanpassung für die im Rahmen des kontrollierten Brunnenbetriebes (Anhang 1) erhobenen Daten an. Hier sollte zunächst eine stationäre Anpassung an den Ausgangszustand vor Versuchsbeginn erfolgen. Darauf aufbauend kann eine instationäre Anpassung auf Grundlage der drei Pumpstufen des kontrollierten Brunnenbetriebs erfolgen. Neben den Wasserständen sind in der Anpassung auch die aus den Beschaffenheitsdaten abgeleiteten Uferfiltratanteile aus dem Main im numerischen Modell für die Anpassung zu nutzen. Für die instationäre Anpassung an die Daten des kontrollierten Betriebs wird eine zeitliche Auflösung auf Tagesschrittbasis vorgeschlagen. Mit einer solchen zeitlichen Auflösung sind die später durch das Modell zu beantwortenden Fragestellungen z.B. Lage der 50-Tage Linie mit hinreichender Genauigkeit zu bearbeiten.

Sachbearbeiter:

Dipl.-Geol. G. Lehmann

Dr. rer. nat. (Dipl.-Geol.) S. Dietz

Koblenz, im Oktober 2019

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

i. A.



Dipl.-Ing. agr. Rolf Menden

i. A.



Dipl.-Geol. Gunnar Lehmann