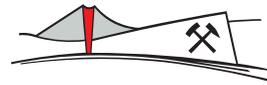
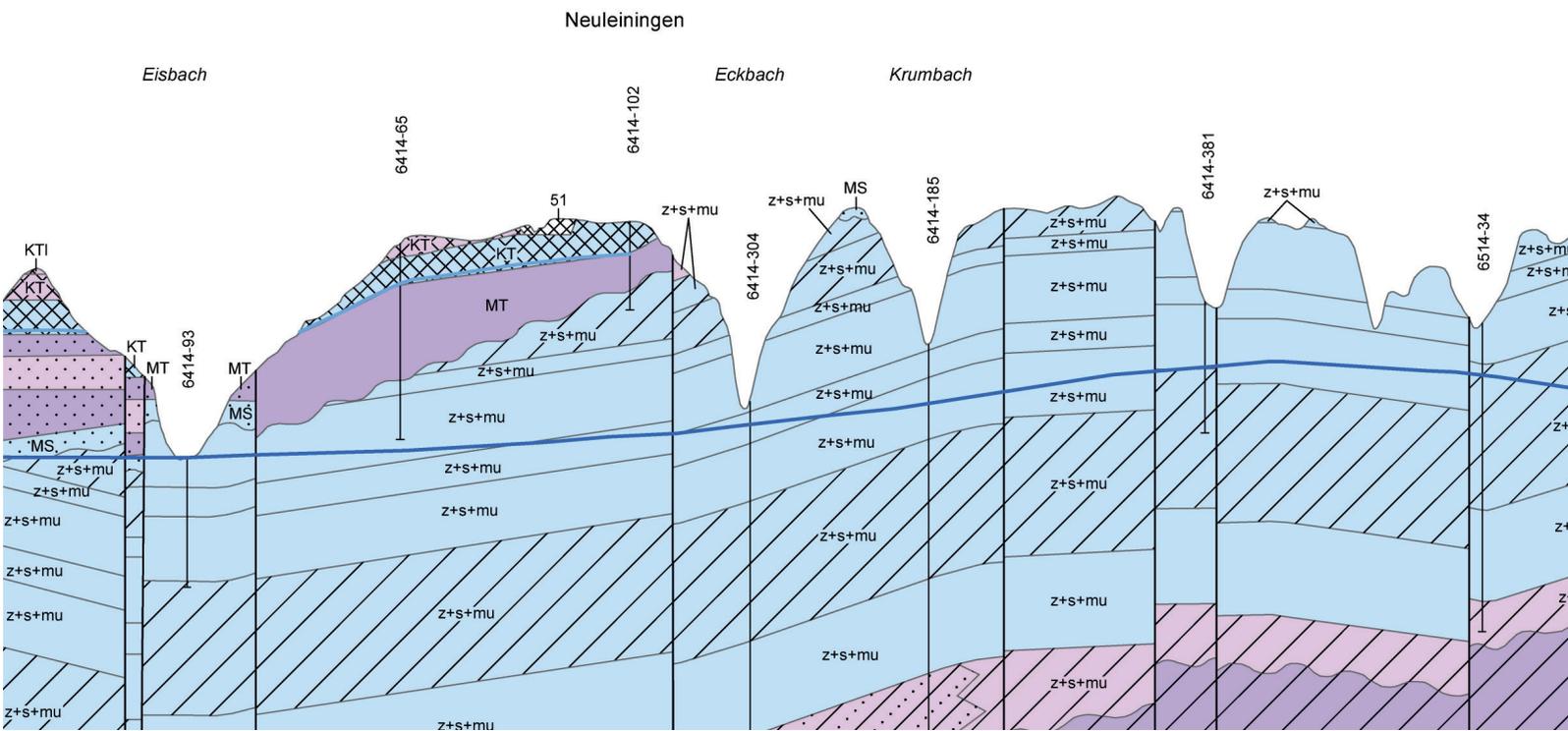


Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt



MESSEN
BEWERTEN
BERATEN



Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz

Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt

Projektleitung

Dr. Frank Bitzer
(LGB)

Bearbeitung:

Dr. Frank Bitzer, Dr. Ulrich Dehner, Dr. Werner R. Franke, Thomas Wiesner
(LGB)

Christof Baumeister, Wolfgang Schwebler
(LfU)

IMPRESSUM

- Herausgeber:** Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB)
Emy-Roeder-Str. 5·55129 Mainz
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU)
Kaiser-Friedrich-Str. 7·55116 Mainz
- Redaktion:** Dr. Frank Bitzer (LGB)
- Digit. Kartografie:** Christine Rosenbach, Thomas Wiesner (LGB)
- Fotos:** Dr. Frank Bitzer, Dr. Ulrich Dehner, Dr. Stephanus Sauer, A. Wehinger (LGB)
- Satz:** Tatjana Schollmayer (LfU)
- Druck:**
- Auflage:** 80 Exemplare

© 2016

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung der Herausgeber

VORWORT

Der Raum Grünstadt bietet günstige Standortbedingungen. So hat sich dieses Gebiet zu einem bedeutenden Siedlungs- und Wirtschaftsraum entwickelt. Besonders die über dem Landesdurchschnitt liegende Bevölkerungsdichte sowie die Zunahme von Gewerbe und Industrie führten in der Vergangenheit zu einer deutlich steigenden Nutzung der Grundwasservorkommen.

Die Bewirtschaftung der Gewässer und damit auch des Grundwassers hat zum Ziel, die Ressource Wasser für den Menschen und für den Naturhaushalt dauerhaft zu erhalten. Sie ist Bestandteil der Daseinsvorsorge.

Eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung erfordert den Ausgleich verschiedener Interessen an der Gestaltung und Nutzung der Gewässer. Das an das neue Wasserhaushaltsgesetz angepasste und am 30. Juli 2015 in Kraft getretene neue Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz (LWG) stellt im Rahmen der Gewässerbewirtschaftung den Vorrang der öffentlichen Trinkwasserversorgung vor anderen Nutzungen fest. Die Qualität und Sicherheit des Wassers, als Lebensmittel Nr. 1, genießt oberste Priorität. In der Region wird der Trinkwasserbedarf praktisch vollständig aus Grundwasserentnahmen gedeckt.

Mit dem nun vorliegenden Bericht „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt“ sind wesentliche geowissenschaftliche Grundlagen erarbeitet und zusammengestellt worden, die notwendige Voraussetzung für eine moderne Grundwasserbewirtschaftung sind. Mit diesen Grundlagen kann eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers durch die Gebietskörperschaften im wasserwirtschaftlich intensiv genutzten Raum geplant werden.

Die Bearbeitung der HGK Grünstadt wäre in diesem Umfang, insbesondere hinsichtlich der Isotopen- und Spurenstoffuntersuchungen, ohne die großzügige finanzielle und die personelle Unterstützung der örtlichen Wasserversorgungsunternehmen sowie die anteilige Kostenübernahme durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF) nicht möglich gewesen.

Allen, die an diesem geowissenschaftlich-wasserwirtschaftlichen Gemeinschaftsprojekt mitgewirkt haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.



PROF. DR. GEORG WIEBER
LEITER DES LANDESAMTES FÜR
GEOLOGIE UND BERGBAU
RHEINLAND-PFALZ



DR.-ING. STEFAN HILL
PRÄSIDENT DES LANDESAMTES
FÜR UMWELT
RHEINLAND-PFALZ

INHALT

Verzeichnis der Anlagen	6
1 Einführung (Bitzer, Schwebler)	7
2 Untersuchungsgebiet (Wiesner, Schwebler)	9
2.1 Lage und geografische Übersicht	9
2.2 Naturräumliche Gliederung	11
2.2.1 Rheinhessisches Tafel- und Hügelland	11
2.2.2 Haardtrand und Vorderpfälzer Tiefland	13
2.2.3 Pfälzerwald	13
2.2.4 Nordpfälzer Bergland und Kaiserslauterer Senke	14
2.3 Landnutzung	14
2.4 Klimatische Verhältnisse	15
3 Böden (Wiesner, Dehner)	18
3.1 Böden im Untersuchungsgebiet	18
3.1.1 Böden aus holozänen Sedimenten (LE 1-4)	19
3.1.2 Böden aus pleistozänen Sedimenten (LE 5-10)	19
3.1.3 Böden aus Gesteinen und Sedimenten des Tertiärs (LE 11-12)	19
3.1.4 Böden aus Gesteinen des Buntsandsteins und Zechsteins (LE 13-18)	20
3.1.5 Böden aus Gesteinen des Rotliegend (LE 19-20)	21
3.2 Bodenphysikalische Einstufung	21
4 Geologie und Hydrogeologie (Bitzer)	24
4.1 Stratigrafie	25
4.2 Tektonik	27
4.3 Hydrogeologische Einheiten	31
4.3.1 Rotliegend (r)	32
4.3.2 Zechstein, Buntsandstein und Unterer Muschelkalk (z+s+mu)	33
4.3.2.1 Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z)	34
4.3.2.2 Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s)	35
4.3.2.3 Unterer Muschelkalk (hydrogeologische Untereinheit mu)	37
4.3.3 Alttertiär (AT)	38
4.3.4 Mergeltertiär (MT)	39
4.3.5 Meeressand (MS)	40
4.3.6 Kalktertiär (KT)	40
4.3.7 Kalktertiär im Bereich der Randscholle (KTI)	41
4.3.8 Jungtertiär (JT)	42
4.3.9 Terrassenablagerungen (t)	42
4.3.10 Löss und Sandlöss (lö)	42
4.3.11 Hangschutt und ähnliche Umlagerungsbildungen (hg)	42
4.3.12 Abschwemm-Massen und Auensedimente (h)	42

5	Geohydraulische Kennwerte (Bitzer)	43
5.1	Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten	43
5.2	Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten im Buntsandstein	45
5.3	Speicherkoeffizienten im Buntsandstein	48
6	Grundwasserbeschaffenheit und Grundwasseralter (Bitzer)	50
6.1	Hydrochemische Charakterisierung der Grundwässer nach hydrogeologischen Einheiten	51
6.1.1	Rotliegend (r)	55
6.1.2	Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk (z+s+mu)	56
6.2.1.1	Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z)	56
6.2.1.2	Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s)	57
6.1.3	Meeressande (MS)	58
6.1.4	Kalktertiär (KT) und Kalktertiär im Bereich der Randscholle (KTL)	58
6.2	Altersstruktur und mittlere Verweilzeiten	61
7	Hydrogeologische Systembeschreibung (Bitzer, Schwebler)	65
7.1	Grundwasserstockwerke und Grundwasserströmungsverhältnisse	65
7.2	Großschollen I bis III	68
7.3	Teilgebiete und Gewinnungsgebiete im Bereich der Großscholle II	69
7.3.1	Teilgebiet Nord	70
7.3.2	Teilgebiet Mitte	71
7.3.3	Teilgebiet Süd	72
7.3.4	Gewinnungsgebiete	72
8	Grundwasserbewirtschaftung (Schwebler, Baumeister, Bitzer)	75
8.1	Grundwasserneubildung und Grundwasserangebot	75
8.2	Grundwasserbilanzierung im Bereich der Großscholle II	79
8.2.1	Teilgebiet Nord	80
8.2.2	Teilgebiet Mitte	81
8.2.3	Teilgebiet Süd	85
8.3	Untersuchungs- und Bewirtschaftungsempfehlungen für die Teilgebiete	86
9	Zusammenfassung und Bewertung der vorliegenden Ergebnisse (Baumeister, Bitzer, Schwebler)	88
	Schriften	89

VERZEICHNIS DER ANLAGEN

Karte 1: Geologische Karte (M 1 : 50.000)

Karte 2: Hydrogeologische Karte und Grundwassergleichenplan für das tiefere Grundwasserleitersystem (M 1 : 50.000)

Karte 3: Geologisch-hydrogeologische Profilschnitte A-A', B-B', C-C' und D-D'
(M.d.L. 1 : 50.000, M.d.H. 1 : 5.000)

Karte 4: Geologisch-hydrogeologische Profilschnitte E-E', F-F' und G-G'
(M.d.L. 1 : 50.000, M.d.H. 1 : 5.000)

Karte 5: Grundwasserneubildung (M 1 : 100.000)

Karte 6: Hydrologische Grundkarte zur Grundwasserbewirtschaftung (M 1 : 50.000)

1 EINFÜHRUNG

Seit dem Jahr 2000 veröffentlichen das Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB) sowie das Landesamt für Umwelt (LfU; früher Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht; LUWG) hydrogeologische Kartierungen ausgewählter Projektgebiete in Rheinland-Pfalz.

Mit dem nun vorliegenden Bericht „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt“ (HGK Grünstadt) wurde ein Lückenschluss vollzogen, zwischen den bereits bearbeiteten Kartiergebieten „Kaiserslautern“ (LGB & LFW 2004) sowie „Rhein-Neckar Raum“ (Muv Bw, HESS. MULF & MUF RP 1999).



Abb. 1.1: Blick vom Verkehrsweg K64 in südlicher Richtung über das Pfrimm-Tal und die Ortslagen (nördliches Untersuchungsgebiet). Das Landschaftsbild ist geprägt durch die anstehenden tertiären Gesteine (s.a. Kap. 3). Etwa 60 m unterhalb der Sohle des Pfrimm-Tals stehen Schichtfolgen des Buntsandsteins an, die das im Untersuchungsgebiet wasserwirtschaftlich bedeutsamste Grundwasserleitersystem darstellen (s.a. Kapitel 7; Foto: F. Bitzer).

Den Anlass für die HGK Grünstadt gab die Erkenntnis, dass die fachlichen Grundlagen zur fundierten hydrogeologischen Beurteilung laufender wasserwirtschaftlicher Verfahren nicht ausreichend waren. Das LGB und das LfU haben in Zusammenarbeit mit der Struktur- und Genehmigungsdirektion (SGD) Süd (Regionalstellen Kaiserslautern und Neustadt) den Untersuchungsraum und den Umfang der notwendigen Arbeiten für die HGK Grünstadt festgelegt.



Abb. 1.2: Blick vom östlichen Ortsrand Wattenheim in nördlicher Richtung über das Eisenberger Becken auf den zentralen Teil des Untersuchungsgebietes (s.a. Kapitel 2; Foto: F. Bitzer).

Es wurden u. a. Abflussmessungen in den Fließgewässern durchgeführt (LfU und SGD Süd). Aus allen Wasserfassungen wurden Proben zur Bestimmung der Grundwasserbeschaffenheit entnommen und analysiert (LGB). Die Isotopenuntersuchungen und deren Auswertungen erfolgten bei der Hydroisotop GmbH (Schweitenkirchen). Die Spurengasuntersuchungen wurden vom Spurenstofflabor Dr. Oster (Wachenheim) durchgeführt. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte durch das LGB im intensiven Austausch mit den beiden Laboratorien (Kapitel 6 und 7).

Parallel zu den Arbeiten für die HGK Grünstadt wurde von der SGD Süd die HG GmbH (Büro für Hydrogeologie und Umwelt; Gießen) mit einer wasserwirtschaftlichen Bestandsaufnahme sowie mit der Erarbeitung eines Grundwassermodells im Untersuchungsraum beauftragt.



Abb. 1.3: Blick vom Ortsrand Wattenheim in östliche bis südliche Richtung über die Ausläufer des Pfälzerwaldes (im zentralen Bildbereich der Leiningener Sporn) und den dort anstehenden Mittleren bis Oberen Buntsandstein (vgl. Anlagen 1 bis 4; Foto: F. Bitzer).

Die HGK Grünstadt stellt den aktuellen Kenntnisstand zu den hydrogeologischen, wasserwirtschaftlichen, hydrologischen und bodenkundlichen Verhältnissen im Untersuchungsraum dar. Sie liefert darüber hinaus wichtige Informationen zu den Rahmenbedingungen für die Grundwasserbewirtschaftung. Die Abschätzung der Grundwasserbilanzen (Kapitel 8) für die einzelnen Teilgebiete bietet wichtige Eckdaten für die zukünftige Entwicklung der Grundwasserentnahmen zur Trinkwasserversorgung.



Abb. 1.4: Blick vom Ortsrand Herxheim in westliche bis nordwestliche Richtung über den westlichen Rand des Oberrheingrabens (Rheingrabenrandscholle) sowie auf den Haardtrand und den Pfälzerwald (südöstliches Untersuchungsgebiet, s.a. Anlage 1; Foto: F. Bitzer).

Die nördliche Grenze des Untersuchungsgebietes verläuft entlang einer gedachten Linie von Kirchheimbolanden über Albisheim nach Monsheim (Abb. 2.2). Die Gemeinde Offstein sowie die Stadt Bad Dürkheim kennzeichnen die östliche Ausdehnung des Gebietes. Hier schließt das Untersuchungsgebiet an die HGK Rhein-Neckar-Raum an (Muv Bw, HESS. MULF & MUF RP 1999). Im Süden folgt die Grenze des Untersuchungsgebietes entlang einer gedachten Linie von Bad Dürkheim über Frankenstein nach Fischbach. Die westliche Begrenzung verläuft zunächst von den Ortslagen Fischbach und Enkenbach-Alsenborn nach Norden. Sie schließt damit an das Gebiet der HGK Kaiserslautern an (LGB & LFW 2004). Im Weiteren verläuft die westliche Begrenzung entlang einer gedachten Linie über die Ortslagen Sippersfeld, Dreisen und Kirchheimbolanden (Abb. 2.2).

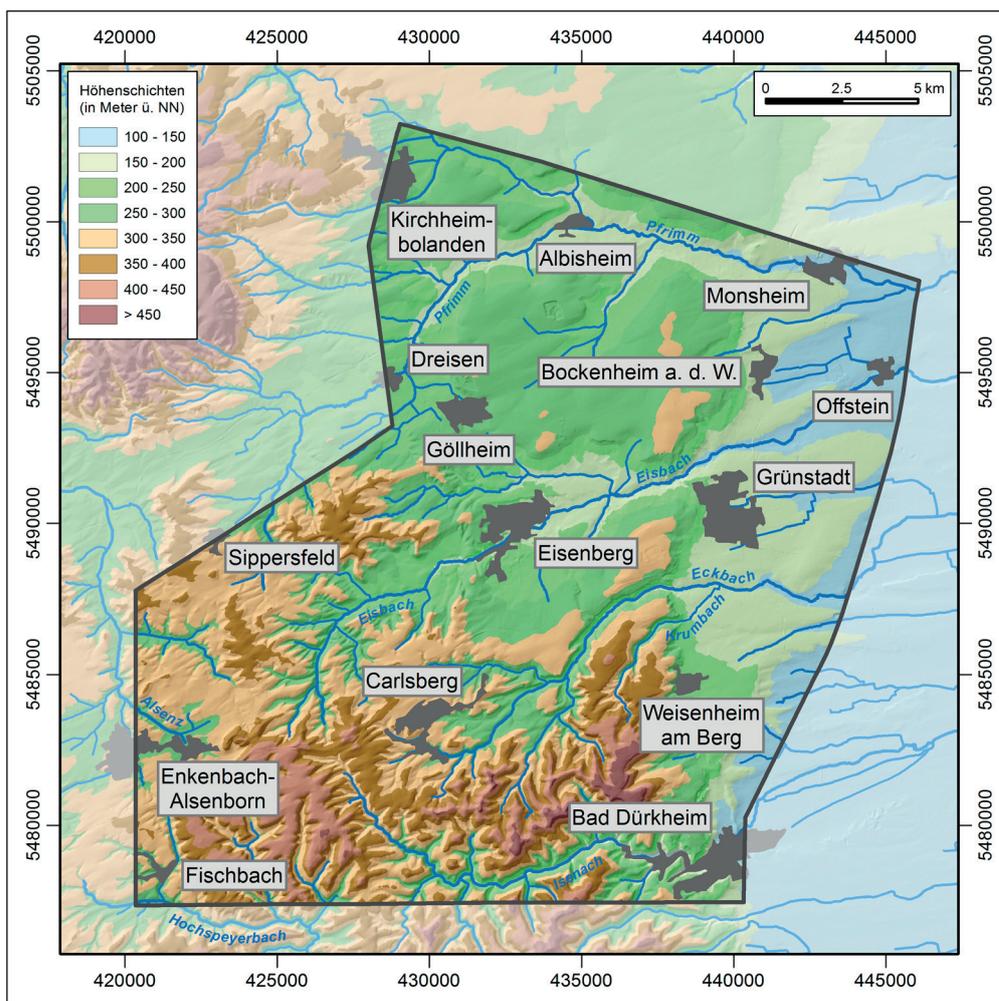


Abb. 2.2: Geografische Übersicht und Höhenschichten des Untersuchungsgebietes.

Das Untersuchungsgebiet umfasst Anteile von fünf Landkreisen: Im äußersten Nordosten werden der Landkreis Alzey-Worms und die kreisfreie Stadt Worms noch knapp angeschnitten. Der Osten und Süden des Untersuchungsgebietes beinhalten anteilig den Landkreis Bad Dürkheim. Im Südwesten liegt ein kleiner Teil des Landkreises Kaiserslautern noch im Untersuchungsgebiet. Im Westen bis Norden wird anteilig der Donnersberg-Kreis erfasst.

Insgesamt liegen 68 Gemeinden mit etwa 110.000 Einwohnern teilweise oder vollständig im Untersuchungsgebiet. Nur zwei Gemeinden weisen mehr als 10.000 Einwohner auf (Bad Dürkheim ca. 18.200 und Grünstadt ca. 12.800 Einwohner). Die Gemeinden Eisenberg, Kirchheimbolanden sowie Enkenbach-Alsenborn haben jeweils über 5.000 Einwohner. Die Einwohnerzahlen der Gemeinden Rittersheim und Immesheim betragen unter 200 (SLA 2013). Mit ca. 240 Einwohnern pro Quadratkilometer liegt die Einwohnerdichte im Untersuchungsgebiet über dem rheinland-pfälzischen Durchschnitt.

2.2 Naturräumliche Gliederung

Das Untersuchungsgebiet umfasst anteilig drei naturräumliche Haupteinheitengruppen: Das Nördliche Oberrheintiefland, das Haardtgebirge und das Saar-Nahe-Bergland.

Das Nördliche Oberrheintiefland lässt sich im Untersuchungsgebiet weiter unterteilen in das Rheinhesische Tafel- und Hügelland, den Haardttrand sowie das Vorderpfälzer Tiefland. Das Haardtgebirge ist im Untersuchungsgebiet deckungsgleich mit dem Pfälzerwald. Das Saar-Nahe-Bergland wird wiederum in das Nordpfälzer Bergland und die Kaiserslauterer Senke unterteilt.

Einen Überblick zur Gliederung gibt Tabelle 2.1; die Lage der Naturräume im Untersuchungsgebiet zeigt Abbildung 2.3.

Tab. 2.1: Hierarchische Abstufung der naturräumlichen Gliederung.

Haupteinheitengruppe	Haupteinheit	Untereinheit
Nördliches Oberrheintiefland	Rheinhesisches Tafel- und Hügelland	Alzeyer Hügelland
		Pfrimmgebiet
		Eisenberger Becken
	Haardttrand	Unterhaardt
		Mittelhaardt
	Vorderpfälzer Tiefland	Vorderpfälzer Riedel
Haardtgebirge	Pfälzerwald	Unterer Pfälzerwald
		Tal-Pfälzer-Wald
		Neustädter Gebirgsrand
Saar-Nahe-Bergland	Nordpfälzer Bergland	Donnersbergmassiv
	Kaiserslauterer Senke	Kaiserslauterer Becken

2.2.1 Rheinhesisches Tafel- und Hügelland

UHLIG (1964) beschreibt das Rheinhesische Tafel- und Hügelland als „innerhalb des Nördlichen Oberrheintieflandes gelegenes, eigenständiges Schichtstufen-, Tafel- und Hügelland aus den in rasch wechselnder Schichtfolge aufgebauten Tertiärschichten“. Diese tertiären Ablagerungen sind in Plateaubereichen meist von Löss überdeckt, in Hangbereichen werden sie in der Regel von Hangsedimenten verschleiert (s. a. Karte 1). Klimatisch ist dieser Naturraum durch Wärme und Trockenheit geprägt. Die Fruchtbarkeit der Böden, sowie die klimatische Gunst machen das Rheinhesische Tafel- und Hügelland

zu einem Naturraum, der intensiv acker- und weinbaulich genutzt wird. Das Rheinhessische Tafel- und Hügelland gliedert sich weiter auf in das Alzeyer Hügelland, das Pfrimmgebiet und das Eisenberger Becken (vgl. Tab. 2.1 und Abb. 2.3).

Das Alzeyer Hügelland ist geprägt durch breite Höhenrücken und Hochflächen zwischen 280 bis 320 m NN, die aus tertiären Ablagerungen aufgebaut sind. Sie sind überwiegend von Löss bedeckt. Am Westrand geht das Alzeyer Hügelland in die Vorhügelzone des Nordpfälzer Berglandes über. Die Ablagerungen des Tertiärs treten hier zunehmend zurück und werden von sedimentären und magmatischen Gesteinen des Rotliegend abgelöst.

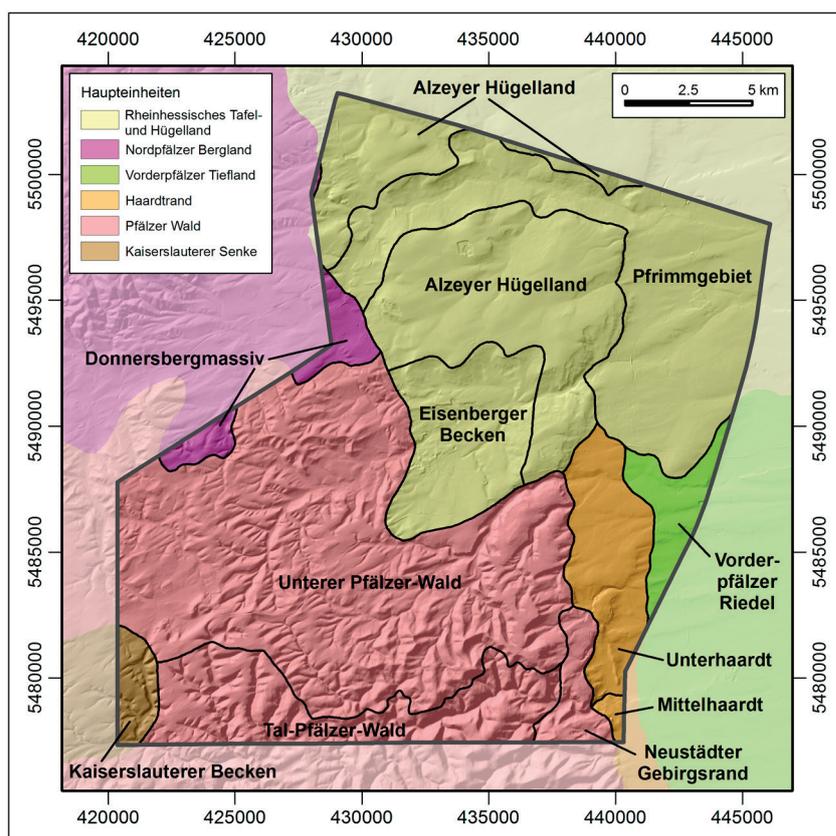


Abb. 2.3: Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes in Haupt- und Untereinheiten; vgl. UHLIG (1964) und PEMÖLLER (1969).

Das Pfrimmgebiet umfasst das überwiegend von flachen Hängen gesäumte, breitsohlige Mittlere Pfrimmtal und das Untere Pfrimmhügelland. Das Pfrimmtal verläuft von Dreisen im Westen bis Monsheim im Osten und teilt das Alzeyer Hügelland in einen nördlichen und einen südlichen Teil. Das Untere Pfrimmhügelland liegt östlich des Alzeyer Hügellandes und ist die natürliche Fortsetzung des Mittleren Pfrimmtals. Mit Höhen von rund 120 bis 170 m NN liegt es deutlich tiefer als das Alzeyer Hügelland. Das ruhige Relief des sanft gewellten und leicht eingemuldeten Hügellandes geht zu großen Teilen auf die hier vorhandene mächtige Lössdecke zurück, die zwar von einigen Bächen zerschnitten wird, jedoch ältere Reliefunterschiede stark nivelliert hat. Nach Süden hin schließt sich das tektonisch eingesenkte Eisenberger Becken an. Im Norden und Osten wird es von den tertiären Plateaus des Rheinhesisches Tafel- und Hügellandes umrahmt. Im Süden und Westen überragen es die Ausläufer des Pfälzerwaldes.

Im Eisenberger Becken grenzen die Gesteine des Buntsandsteins, Zechsteins und Tertiärs aneinander. Charakteristisch für das Eisenberger Becken sind die hier vorzufindenden Klebsande und Tone, die die industrielle Entwicklung der näheren Umgebung maßgeblich mitbestimmt haben (UHLIG 1964).

2.2.2 Haardtrand und Vorderpfälzer Tiefland

Südlich des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes und östlich des Pfälzerwaldes befindet sich der Haardtrand, der in die Naturräume Unterhaardt und Mittelhaardt gegliedert wird. Der Haardtrand bildet eine in sich geschlossene, wenige Kilometer breite Vorberg- bzw. Vorhügelzone. Das Gelände fällt hier von ca. 300 m im Westen auf 120 m NN im Osten ab und bildet die eigentliche Bruchzone zwischen Pfälzerwald und Oberrheingraben (PEMÖLLER 1969). Aus dem Pfälzerwald in Richtung Rhein fließende Bäche gliedern den Haardtrand mit seinem komplizierten geologischen Bruchschollenmosaik in parallele Rücken. Aufgrund der Lage im Lee des Pfälzerwaldes ist der Haardtrand klimatisch begünstigt, was sich in der intensiven weinbaulichen Nutzung widerspiegelt.

Südlich des Pfrimmgebietes bzw. östlich des Haardtrandes liegt anteilig eine Untereinheit der naturräumlichen Haupteinheit Vorderpfälzer Tiefland, der Vorderpfälzer Riedel, randlich im Untersuchungsgebiet. Morphologisch bildet dieser Riedel eine nach Osten hin abfallende Lössplatte. Wie auch der Haardtrand wird diese von Bächen zergliedert.

2.2.3 Pfälzerwald

Der südliche Teil des Untersuchungsgebietes wird überwiegend vom Haardtgebirge bzw. dem Pfälzerwald eingenommen. Er besteht im Untersuchungsgebiet aus herausgehobenen, meist nur schwach einfallenden Schichtpaketen des Buntsandsteins. Lediglich am Nordrand des Gebirges, im Übergang zum Saar-Nahe-Bergland, sind Gesteine des Zechsteins und Rotliegend aufgeschlossen. Morphologisch zeigt sich der Pfälzerwald als fast ebene Hochfläche, die durch Schichtstufen bzw. Landterrassen gegliedert und durch eine überwiegend zum Rhein orientierte Zertalung aufgelöst wird. Das Klima des Pfälzerwaldes ist mäßig kühl und recht feucht. Aufgrund des Vorherrschens von grobbodenreichen, sandigen und nährstoffarmen Böden ist der Pfälzerwald fast vollständig bewaldet und wird überwiegend forstwirtschaftlich genutzt. Der Naturraum Pfälzerwald wird im Untersuchungsgebiet weiter untergliedert in den Unteren Pfälzerwald, den Tal-Pfälzerwald und den Neustädter Gebirgsrand.

Der Untere Pfälzerwald bildet den nordöstlichsten Teil des Pfälzerwaldes. Er präsentiert sich als weitgehend geschlossene, nur teilweise zertalte flache Tafel, die sich im Nordteil in mehrere Sporne auflöst (Staufer Sporn, Kerzenheimer Sporn, Leiningener Sporn). Während im Südteil ein Höhenniveau von 400 bis 500 m NN vorherrscht, dominieren im nördlichen Teil Höhen von nur noch 320 bis 370 m NN. Nach Süden schließt sich der Tal-Pfälzerwald an, von dem nur der nördlichste Teil noch in das Untersuchungsgebiet hineinreicht.

Der Tal-Pfälzerwald besitzt überwiegend einen fast hochebenen- bzw. landterrassenhaften, leicht welligen Charakter mit einem Höhenniveau von 400 bis 500 m NN, das sich nach Norden absenkt. Im Untersuchungsgebiet erreichen die Hochflächen folglich nur noch ein Niveau von 350 bis 450 m NN, wobei diese durch Gewässer zertalt sind. Hieraus resultiert eine hohe Reliefenergie in diesem Bereich.

Im Osten liegt zwischen dem Tal-Pfälzerwald und dem Haardtrand der Neustädter Gebirgsrand. Dieser ist tektonisch vom Hauptgebiet des Pfälzerwaldes abgetrennt, was sich in einer deutlichen Längszertalung zeigt (PEMÖLLER 1969). Der Neustädter Gebirgsrand umfasst einen nur 1 bis 3 km breiten, nach Norden abfallenden Bereich. Aus dem Pfälzerwald austretende und in Richtung Rhein fließende Gewässer haben den Gebirgsrand stark zertalt.

2.2.4 Nordpfälzer Bergland und Kaiserslauterer Senke

Im äußersten Westen des Untersuchungsgebietes liegen Ausläufer von Naturräumen, die noch dem Saar-Nahe-Bergland zugerechnet werden. Dabei handelt es sich im Westen um das zum Nordpfälzer Bergland gehörige Donnersbergmassiv, sowie im Südwesten um das in der Kaiserslauterer Senke liegende Kaiserslauterer Becken.

Der noch in das Untersuchungsgebiet hineinreichende Teil des Nordpfälzer Berglandes bzw. Donnersbergmassives wird auch als Kaiserstraßensenke bezeichnet. Es handelt sich hierbei um eine von Südwest nach Nordost verlaufende Ausräumungszone in den wenig widerständigen Sandsteinen der Standenbühl-Formation zwischen dem Stufenrand des Haardtgebirges und dem vulkanischen Donnersberg (UHLIG 1964). Das in der Kaiserslauterer Senke liegende Kaiserslauterer Becken befindet sich nur mit seinem Ostrand im Untersuchungsgebiet. In der senkenartigen Hohlform des Kaiserslauterer Beckens werden die Höhen des Tal-Pfälzer-Waldes nicht mehr erreicht.

2.3 Landnutzung

Grundlage für die Darstellung der Landnutzungsverteilung (Abb. 2.4, Tab. 2.2) sind Daten aus dem europäischen Projekt „CORINE Land Cover (CLC2006)“. In diesem Projekt wurde auf Basis von Satellitendaten die Kartierung der Bodenbedeckung bzw. Landnutzung europaweit im Maßstab 1 : 100.000 durchgeführt. Diese Daten wurden im Rahmen der Kartierung mittels verschiedener Datensätze (ALKIS, Luftbilder etc.) geprüft und teilweise verfeinert. So wurden beispielsweise kleinere Siedlungsflächen ergänzt, die Landnutzungseinheit „Heterogene landwirtschaftliche Flächen“ wurde aufgelöst.

Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich die in der Tabelle 2.2 dargestellte Verteilung der Landnutzung. Bei den Dauerkulturen handelt es sich fast ausschließlich um Weinbauflächen. Lediglich ca. 55 ha werden von Obst- und Beerenobstbeständen eingenommen.

Tab. 2.2: Landnutzungen und ihre Flächenanteile im Untersuchungsgebiet.

Landnutzung	Flächenanteil
Wald- und Forstflächen	38,9 %
Ackerflächen	38,1 %
Dauerkulturen	11,6 %
Siedlungsflächen	9,0 %
Grünland	1,8 %
Abbauflächen	0,6 %

Demnach dominiert im Untersuchungsgebiet die landwirtschaftliche Flächennutzung mit ca. 50 % Flächenanteil. Etwa 40 % der Gesamtfläche wird wald- und forstwirtschaftlich genutzt, ca. 10 % unterliegen anthropogenen Nutzungen (z. B. Siedlungsflächen, Straßen etc.).

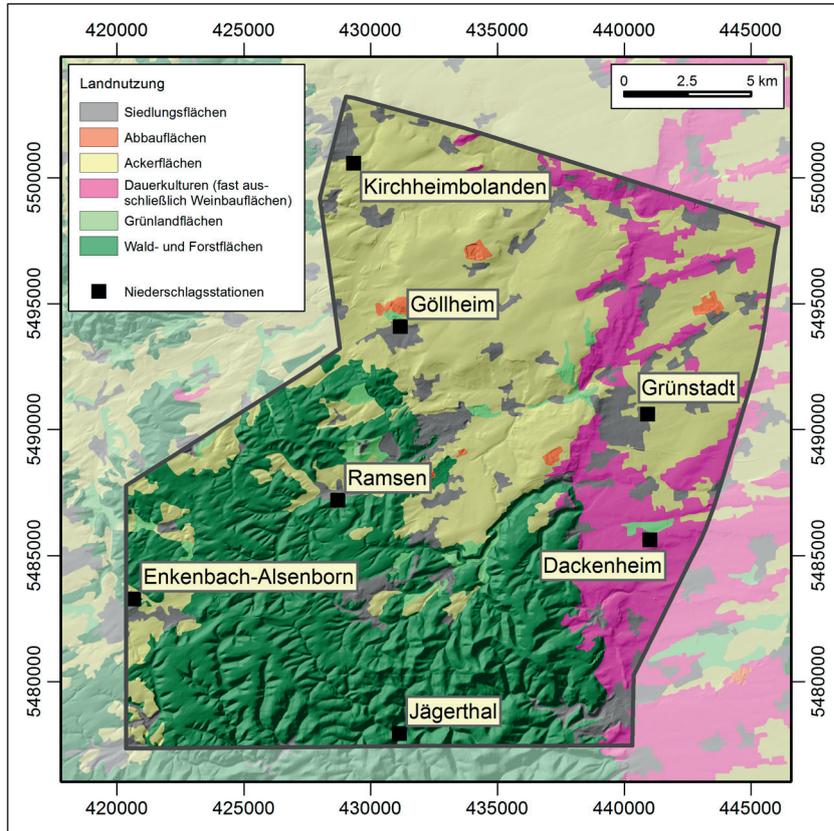


Abb. 2.4: Landnutzung im Untersuchungsgebiet und Lage von DWD-Messstationen (s. a. Kapitel 2.4).

Die Flächennutzungen sind ungleich über das Untersuchungsgebiet verteilt:

Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Nördliches Oberrheintiefland) überwiegt die landwirtschaftliche Nutzung mit 85 % (62 % Ackerfläche, 22 % Dauerkulturen). Nur 1 % der Fläche ist hier mit Forst bzw. Wald bestanden. Die anthropogenen Flächen nehmen 14 % ein.

Im Gegensatz hierzu ist der südliche Teil des Untersuchungsgebietes (Haardtgebirge) zu 83 % mit Wald- und Forstbeständen bedeckt, während lediglich 12 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt werden. Nur 5 % der Fläche unterliegen anthropogenen Nutzungen.

Im Saar-Nahe-Bergland untergliedert sich die Flächennutzung in 68 % landwirtschaftliche Nutzung, 22 % Wald- und Forstnutzung sowie 10 % anthropogene Nutzung (Abb. 2.4).

Die Flächennutzung spiegelt die geologische Gliederung des Untersuchungsgebietes wider.

2.4 Klimatische Verhältnisse

Im Untersuchungsgebiet befinden sich relativ gleichmäßig verteilt mehrere Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD; vgl. Abb. 2.4).

Da zwischenzeitlich Messstationen aufgegeben oder verlegt wurden, liegen nur für sechs Messstationen zusammenhängende und vergleichbare Zeitreihen von 1960 bis 1999 vor. Die Station Jägerthal wurde nur über den Beobachtungszeitraum von 1961 bis 1976 beobachtet (Tab. 2.3).

Tab. 2.3: DWD-Stationen und Jahresniederschlagshöhen in [mm].

Station	Zeitraum	Min.	Max.	Mittelwert
Kirchheimbolanden	1960-1999	321	859	583
Göllheim	1960-1999	328	759	560
Grünstadt	1960-1999	312	809	519
Ramsen	1960-1999	389	971	675
Dackenheim	1960-1999	330	792	535
Enkenbach-Alsenborn	1960-1999	465	1046	753
Jägerthal	1961-1976	452	1140	726

Im Südwesten des Untersuchungsgebietes – im Naturraum Pfälzerwald – sind die Messstationen Enkenbach-Alsenborn, Jägerthal und Ramsen vorhanden. An den Stationen im Pfälzerwald werden die höchsten Niederschläge im Untersuchungsgebiet gemessen. Die vieljährige durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe beträgt hier rund 700 bis 750 mm. Nach Nordosten hin nimmt sie mit etwa 650 bis 700 mm etwas ab (Station Ramsen).

Die geringsten Jahresniederschlagshöhen werden östlich des Pfälzerwaldes im Oberrheinischen Tiefland gemessen. Stellvertretend hierfür stehen die im Regen- und Windschatten des Pfälzerwaldes liegenden Stationen Grünstadt und Dackenheim. Die vieljährige durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe beträgt hier rund 520 bis 550 mm.

Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, im südlichen Rheinhessischen Tafel- und Hügelland, stehen die Stationen Göllheim und Kirchheimbolanden. Hier wurden vieljährige Jahresniederschlagshöhen von etwa 550 bis 600 mm ermittelt.

Um für die drei Teilräume Oberrheinisches Tiefland (östlich angrenzender Bereich des Oberrheingraben), südliches Rheinhessisches Tafel- und Hügelland (s. Kapitel 2.2) und Pfälzerwald im Untersuchungsgebiet aktuelle Beobachtungszeiträume bis 2013 darstellen zu können, wurde auf die Niederschlags-Rasterdaten des DWD zurückgegriffen. Rasterdaten sind auf ein Gitternetz interpolierte Werte der umliegenden Stationsdaten.

Für den Südwesten des Untersuchungsraums (Pfälzerwald) wurden die Rasterdaten im Gebiet Enkenbach-Carlsberg gemittelt, für das Oberrheinische Tiefland (Rheinebene) Rasterdaten im Umfeld von Grünstadt und im nördlichen Bereich des Untersuchungsraums bzw. für das südliche Rheinhessische Tafel- und Hügelland Rasterdaten im Bereich zwischen Göllheim und Kirchheimbolanden. Dargestellt sind die Jahresniederschlagshöhen der gemittelten Rasterdaten für den Zeitraum 1951 bis 2013 (Abb. 2.5).

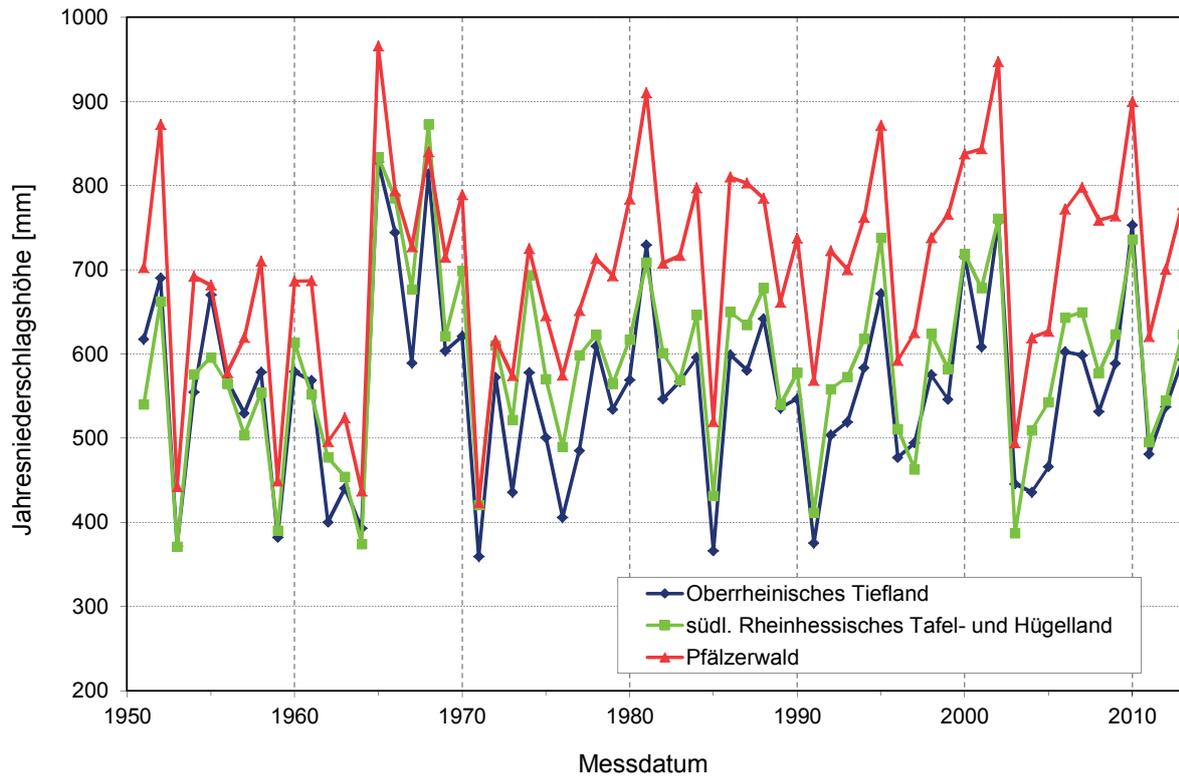


Abb. 2.5: Jahresniederschlagshöhen in den drei Teilräumen für den Zeitraum der Jahre 1951 bis 2013 (ermittelt aus DWD Rasterdaten).

3 BÖDEN

Böden sind Verwitterungsbildungen der obersten Erdkruste. Ihre Entwicklung ist geprägt durch das Zusammenwirken bodenbildender Faktoren wie Gestein, Relief, Klima (Temperatur, Niederschlag), Wasser (Grund- und Stauwasser), Flora, Fauna, Mensch und Zeit.

3.1 Böden im Untersuchungsgebiet

Grundsätzlich stellt eine Bodenkarte die Verbreitung von Bodentypen und bodenbildenden Substraten (Bodentyp und Substrat = Bodenform) dar. Betrachtet wird der oberflächennahe Untergrund bis in eine Tiefe von zwei Metern.

In der Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 (BÜK 200) sind die bodenbildenden Substrate das wesentliche Abgrenzungskriterium für die Legendeneinheiten (LE). Dabei wird davon ausgegangen, dass die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften in erster Linie durch die Zusammensetzung des Substrates bestimmt werden. Durch die unterschiedlichen Ausprägungen von Bodenmerkmalen ergeben sich weitere Differenzierungen der Bodeneigenschaften. Sie sind das Ergebnis der Einwirkung bodenbildender Faktoren.

Maßstabsbedingt setzen sich die Legendeneinheiten der BÜK 200 aus Bodenformengesellschaften zusammen, da einzelne Bodenformen aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung im Maßstab 1 : 200.000 nicht darstellbar sind. Dies bedeutet, dass auf der Bodenübersichtskarte keine Geometrien für einzelne Bodenformen vorliegen. Eine Bodenformengesellschaft setzt sich aus einer Leitbodenform (Bodenform mit dem höchsten Flächenanteil) und den Begleitbodenformen zusammen. Die Beschreibung der Legende der BÜK 200 orientiert sich an der 5. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) sowie der Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands (ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DBG 1998).

Die Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 des Projektgebietes stellt einen Ausschnitt aus der landesweit vorliegenden BÜK 200 dar. Die Erstellung der BÜK 200 erfolgte durch die Generalisierung vorliegender Bodeninformationen größeren Maßstabs. Verwendung fanden dabei Daten im Maßstabsbereich 1 : 50.000 und 1 : 25.000 (BK 50 und BK 25). Die bodenkundlichen Daten der BÜK 200 sind in der Datenbank BoFA (Bodenformenarchiv) des Landesamtes für Geologie und Bergbau abgelegt. Bodenübersichtskarte und Datenbank sind Teil des Fachinformationssystems Boden, das gemäß gesetzlichen Auftrags durch das Landesamt für Geologie und Bergbau geführt wird (vgl. Landesbodenschutzgesetz Rheinland Pfalz vom 25.07.2005).

Die Datenbank BoFA enthält Boden- und Substratparameter, Angaben zur Oberflächenbedeckung sowie bodenchemische und bodenphysikalische Daten. Die Informationen werden unabhängig vom Blattschnitt der topographischen Karte vorgehalten, sodass beliebige Ausschnitte der Landesfläche bereitgestellt werden können.

Zieht man durch das Untersuchungsgebiet eine imaginäre Linie von Kirchheimbolanden bis nach Bad Dürkheim, so wird schnell ersichtlich, dass im südwestlichen Teil (Saar-Nahe-Bergland, Pfälzerwald) Böden aus Gesteinen des Perms und Buntsandsteins dominieren. Nordöstlich der gedachten Linie – im Nördlichen Oberrheintiefland – bilden hingegen fast ausschließlich tertiäre und quartäre Sedimente die Substrate der Bodenbildung. Die Abbildung 3.1 zeigt für das Untersuchungsgebiet den entsprechenden Ausschnitt aus der BÜK 200.

3.1.1 Böden aus holozänen Sedimenten (LE 1-4)

An holozänen Lockersedimenten treten im Untersuchungsgebiet Auenablagerungen sowie Kolluvien auf. In den von Buntsandstein-Material geprägten Auenbereichen, wie beispielsweise der Isenach-Aue, kommen – je nach Grundwasserstand – Veges, Gley-Veges und Gleye aus karbonatfreien, sandig-lehmigen Auensedimenten vor. In Auenbereichen, die überwiegend in tertiären und pleistozänen Gesteinen entwickelt sind (z. B. Pfrimm, Eisbach), dominieren karbonathaltige, lehmige bis schluffige Substrate. Auch hier herrschen typische Auenböden wie Veges, Gley-Veges und Gleye vor (vgl. Abb. 3.3 links). Örtlich können in den Auen auch Kolluvisole auftreten.

Die kolluvialen Bodenbildungen weisen überwiegend lösslehmreiche Substrate auf. Falls Bodenskelett vorhanden ist, so besteht es in der Regel aus tertiärem Kalkstein oder tertiären bis pleistozänen Kiesen (vgl. Abb. 3.3 Mitte). Auf Riedeln dominieren grundnässefreie Kolluvisole, wohingegen in Dellen und Tälchen Gley-Kolluvisole überwiegen (GLA 1986).

3.1.2 Böden aus pleistozänen Sedimenten (LE 5-10)

Auf Löss bzw. Lösslehm bildeten sich im Untersuchungsgebiet fast ausschließlich Parabraunerden und (Kalk-)Tschernoseme, sowie entsprechende Übergangsformen (z. B. Tschernosem-Parabraunerden). Die Tschernoseme und tschernosemartigen Böden sind hierbei jedoch nur im nördlichen Oberrheintiefland vorzufinden (vgl. Abb. 3.3 rechts). Sie sind typische Steppenböden und werden als subreliktische bzw. subfossile Bodenbildungen gedeutet (ZAKOSEK 1991). Durch ackerbauliche Nutzung sind die Parabraunerden und Tschernoseme häufig erodiert, mitunter bis hin zur Pararendzina. An Akkumulationsstandorten sind dementsprechend oft mächtige Kolluvisole zu finden. Stellenweise treten auch Sandlössse und Lösssande auf. Auf diesen Lössderivaten sind überwiegend Tschernosem-Parabraunerden und Braunerde-Parabraunerden entwickelt. Nur an wenigen Stellen im Untersuchungsgebiet sind Braunerden aus Flugsand anzutreffen.

3.1.3 Böden aus Gesteinen und Sedimenten des Tertiärs (LE 11-12)

(Para-)Rendzinen und Kolluvisole sind auf den tertiären Mergeln und Kalksteinen weit verbreitet (vgl. Abb. 3.4 links). Örtlich sind auf Lehm- bis Tonmergeln auch Pelosole entwickelt (vgl. Abb. 3.4 Mitte). Über Kalkstein können stellenweise fossile Bodenbildungen wie Terrae calcis-Böden auftreten, beispielsweise im Raum Kallstadt – Ungstein. Auf pliozänen Sanden dominieren Braunerden. Wird das Substrat lehmiger, so sind auch Pseudogley-Braunerden entwickelt.

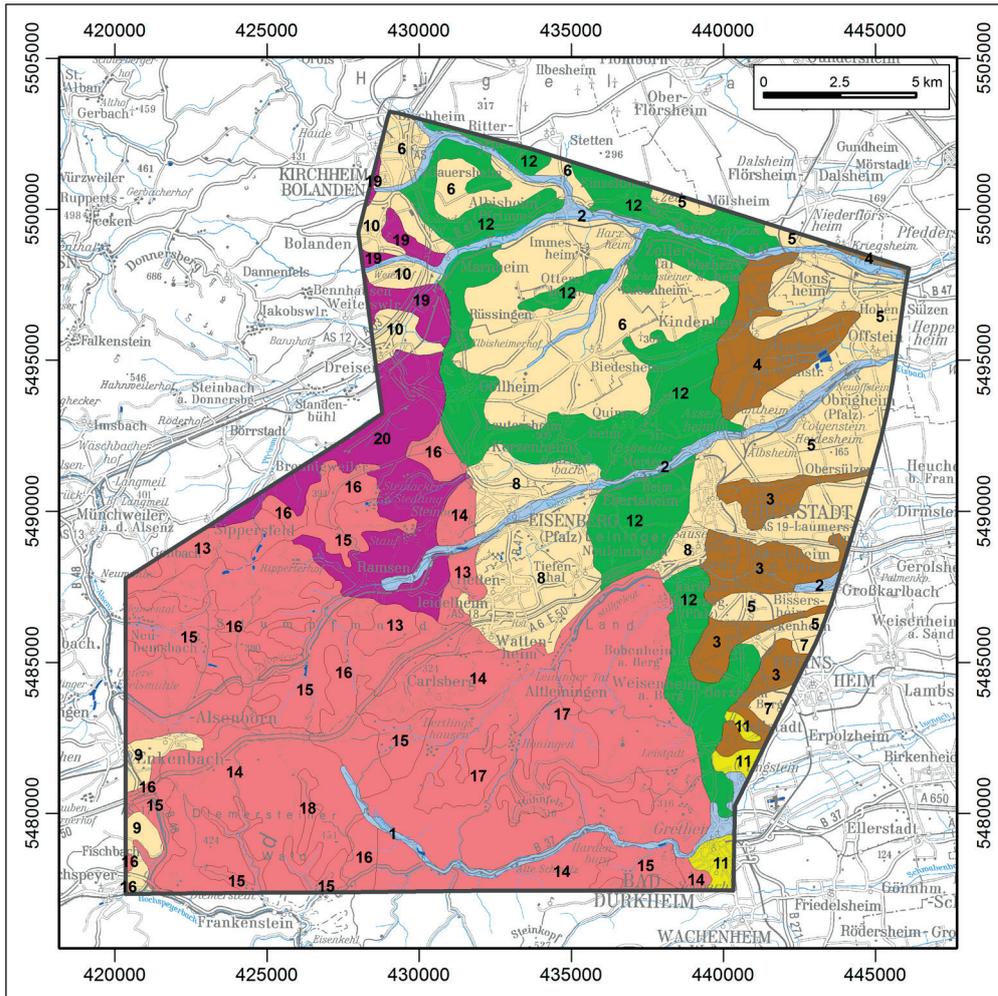


Abb. 3.1: Bodenübersichtskarte Raum Grünstadt.

3.1.4 Böden aus Gesteinen des Buntsandsteins und Zechsteins (LE 13-18)

Auf den teils konglomeratischen Sandsteinen des Buntsandsteins und Zechsteins haben sich überwiegend Braunerden gebildet (vgl. Abb. 3.4 rechts). An steileren Standorten können neben flachgründigen Braunerden auch Ranker oder Regosole auftreten. Örtlich können die Böden Merkmale der Pseudovergleyung aufweisen. Es dominieren hierbei pseudovergleyte Braunerden, weniger oft treten Pseudogley-Braunerden, Braunerde-Pseudogleye oder Pseudogleye auf. Weite Verbreitung besitzen Böden mit Podsolierungserscheinungen. Jedoch sind im Untersuchungsgebiet Podsole und Braunerde-Podsole nur gering verbreitet, wesentlich häufiger sind dagegen podsolierte Braunerden und Podsol-Braunerden anzutreffen. Die stärker podsolierten Böden sind überwiegend in Kulminations- und Hanglagen zu finden, wohingegen pseudovergleyte Böden vornehmlich in Unterhang- und Talbereichen auftreten (LOTHAMMER 1996).

1	Überwiegend Veges und Gley-Veges, gering verbreitet Gleye, aus sandigen, schluffigen und lehmigen Auenablagerungen
2	Überwiegend Veges und Gley-Veges aus carbonatischem, z.T. kiesführendem Auenschluff bis -lehm, verbreitet Gley-Veges aus carbonatischem, z.T. kiesführendem Auenton, gering verbreitet Kolluvisole aus holozän umgelagertem Löss
3	Überwiegend Gley-Kolluvisole und relictische Gleye aus carbonatischem Kolluviallehm und verbreitet Kolluvisole aus carbonatischem Kolluvialschluff
4	Verbreitet Kolluvisole, gering verbreitet Gley-Kolluvisole aus umgelagertem Löss, verbreitet Kolluvisole aus carbonatischem Schwemmlöss
5	Vorherrschend Kalktschernoseme, gering verbreitet Pararendzinen aus Löss, gering verbreitet Kolluvisole aus umgelagertem Löss
6	Überwiegend Parabraunerden und erodierte Parabraunerden, gering verbreitet erodierte Tschernosem-Parabraunerden und gering verbreitet Pararendzinen aus Löss, gering verbreitet Kolluvisole aus umgelagertem Löss
7	Verbreitet erodierte Braunerde-Parabraunerden aus Lösssand über sandlöss- und kiesführendem Lehm, verbreitet Braunerden aus Flugsand über pliozänem Sand, gering verbreitet Tschernosem-Parabraunerden aus Sandlöss über Flusskiessand
8	Verbreitet erodierte Parabraunerden aus Löss und verbreitet Pararendzinen aus Löss über tiefem tertiärem Sand, selten podsolige Pseudogleye aus teilweise grusführendem Lehm und Sand über tertiärem Ton
9	Fast ausschließlich erodierte Parabraunerden aus Lösslehm über tiefem Schuttsand aus konglomeratischem Sandstein (Buntsandstein)
10	Vorherrschend erodierte Parabraunerden aus Lösslehm über (sehr) tiefem Verwitterungston (Tonstein/Oberrotliegendes), gering verbreitet Pararendzinen aus Schuttlehm über Rotliegend-Sandstein
11	Verbreitet Braunerden aus kiesführendem Sand über Kiessand, verbreitet Pseudogley-Braunerden aus kiesführendem Sand über pliozänem Verwitterungslehm und verbreitet Rigosol-Kolluvisole aus umgelagertem Sand
12	Verbreitet Pararendzinen aus tertiärem Tonmergel und Kalkstein, verbreitet Kolluvisole aus grusführendem Kolluvialtonmergel, gering verbreitet Rigosole aus tertiärem Tonmergel und Kalkstein, selten Pararendzinen aus Lehmmangel
13	Überwiegend Braunerden und Regosole aus Kiessand über Sandkies aus Konglomerat (Buntsandstein) und verbreitet podsolige Pseudogley-Braunerden aus Sand- und Lehmfließerde über tiefem Schuttsand aus konglomeratischem Sandstein (Buntsandstein)
14	Überwiegend Braunerden, verbreitet podsolig, gering verbreitet Podsol-Braunerden aus schuttführender Sandfließerde über Schuttsandfließerde aus Sandstein (Buntsandstein)
15	Vorherrschend podsolige Braunerden aus Sandfließerde über Schuttsandfließerde aus konglomeratischem Sandstein (Buntsandstein), gering verbreitet Braunerde-Podsole aus blockschuttführenden Sandfließerden (Buntsandstein)
16	Vorherrschend podsolige Braunerden und pseudovergleyte Braunerden aus Sandfließerde über Verwitterungsschuttsand aus Sandstein (Buntsandstein), gering verbreitet Regosole aus flacher Sandfließerde über Verwitterungsschuttsand aus Sandstein (Buntsandstein)
17	Fast ausschließlich Podsol-Braunerden und podsolige Braunerden aus blockschuttführender Sandfließerde über Blockschuttsandfließerde aus Sandstein (Buntsandstein)
18	Fast ausschließlich Podsole und Braunerde-Podsole aus (flacher) Schuttsandfließerde über Sandstein (Buntsandstein)
19	Überwiegend pseudovergleyte Regosole aus Schlufffließerde über Tonfließerde aus Brekzie, Tuff oder Tuffit (Oberrotliegendes), verbreitet Braunerden aus flacher Schlufffließerde über Tonfließerde aus Brekzie (Oberrotliegendes)
20	Überwiegend Pelosole aus Tonfließerde über Verwitterungston aus Tonstein (Oberrotliegendes) und verbreitet Braunerden aus flacher Schlufffließerde über Verwitterungston aus Tonstein (Oberrotliegendes)

Abb. 3.2: Legende zur Bodenübersichtskarte Raum Grünstadt.

3.1.5 Böden aus Gesteinen des Rotliegend (LE 19-20)

Im Verbreitungsgebiet der Standenbühl-Formation dominieren Braunerden und Pelosole aus Silt- bis Tonstein. Dort, wo Gesteine der Donnersberg- und Wadern-Formation auftreten, überwiegen Regosole, Pararendzinen und Braunerden aus Sand- bis Tonstein, Konglomerat bzw. Brekzie, sowie Tuffit. Stellenweise können die Böden Pseudovergleyungsmerkmale aufweisen.

3.2 Bodenphysikalische Einstufung

Die Tabelle 3.2 listet für einzelne Leit- und Begleitbodenformen hydrologisch relevante bodenphysikalische Parameter auf. Bei diesen handelt es sich um die (physiologische) Gründigkeit, die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) und die Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert) der Böden. Die Klasseneinteilungen und die Einstufungen der Bodenformen wurden aus den Erläuterungsbänden der veröffentlichten Blätter der Bodenkarte 1: 25.000 von Rheinland Pfalz übernommen. Verwendung fanden hierbei folgende BK 25-Blätter: 6315 (Worms-Pfeddersheim), 6415 (Grünstadt-Ost), 6515 (Bad Dürkheim-Ost) sowie 6113 (Bad Kreuznach). Ergänzend hinzugezogen wurde das Boden-Kapitel aus der Erläuterung zum GK 25-Blatt 6712 (Merzalben).

Tab. 3.1: Klassifizierung bodenphysikalischer Eigenschaften.

	sehr gering	gering/flach	mittel	hoch/tief	sehr hoch	äußerst hoch
Gründigkeit bzw. Durchwurzelbarkeit (in cm)		< 30	30-60	> 60		
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) bis max. 100 cm Tiefe (in mm)	< 50	50-90	90-140	140-200	> 200	
Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert) des wassergesättigten Bodens (in cm/Tag)	< 1	1-10	10-40	40-100	100-300	> 300



Abb. 3.3: Beispiele für typische Bodenformen im Untersuchungsgebiet. Links: Vega aus Fluvialschluff (Holozän) über Fluviallehm (Pleistozän) (DUO 182); Mitte: Kolluvisol aus lössreichem Kolluvium über tiefem Kalkstein (Tertiär) (KIB 018); Rechts: Rigolter Parabraunerde-Tschernosem aus Löss (Pleistozän) (GRO 055); Fotos: U. Dehner und S. Sauer.



Abb. 3.4: Beispiele für typische Bodenformen im Untersuchungsgebiet. Links: Pararendzina-Rigosol aus Kalkstein (Tertiär) (KIB 015); Mitte: Rigolter Pelosol aus Tonmergel (Tertiär) (DUO 194); Rechts: Braunerde aus Sandstein (Buntsandstein) (DUW 031); Fotos: U. Dehner und S. Sauer.

Tab. 3.2: Bodenphysikalische Kennwerte (siehe auch Tab. 3.1).

Stratigraphie	Substrat	Bodenform	Gründigkeit	nFKWe	kf
Rotliegend	Tonstein	Pelisol aus Tonfließerde über Ton oder Tonstein	mittelgründig	mittel	gering
	Brekzie, Tuffit	Braunerde aus Schlufffließerde über Ton oder Tonstein	flach- bis mittelgründig	gering bis mittel	gering bis mittel
		Regosol aus Schlufffließerde über Tonfließerde	flach- bis mittelgründig	mittel	mittel
		Braunerde aus Schlufffließerde über Tonfließerde	flach- bis mittelgründig	mittel	mittel
Buntsandstein	Sandstein	Pararendzina aus Lehmfließerde über Sandstein	flach- bis mittelgründig	gering	hoch
		Podsolige Ranker-Braunerde aus Schuttdecke über Sandstein oder Sandsteinschutt	flach- bis mittelgründig	sehr gering	sehr hoch
	Sandstein	Podsolige Braunerde aus Schuttdecke über Sandsteinschutt über Sandstein	mittelgründig	gering	sehr hoch
		Podsol-Braunerde aus Schuttdecke über Sandsteinschutt über Sandstein	mittelgründig	gering	sehr hoch
		Podsol aus Schuttdecke über Sandsteinschutt über Sandstein	mittelgründig	gering	sehr hoch
		Rendzina aus Kalkstein oder Kalksteinschutt	flachgründig	sehr gering	sehr hoch
		Rigosol-Rendzina aus Kalkstein oder Kalksteinschutt	mittelgründig	gering	sehr hoch
		Rigosol-Kalkbraunerde aus Schuttdecke über Kalkstein oder Kalksteinschutt	mittelgründig	gering	hoch bis sehr hoch
		Terra fusca aus Kalkstein	tiefergründig	gering	sehr gering
		Kalkhaltige Terra fusca aus Kalkstein oder Kalksteinbraunlehm-Fließerde	tiefergründig	mittel	gering
Mergel	Mergel	Rigosol-Terra calcis aus Fließerde über Kalkstein oder Kalksteinschutt	mittel- bis tiefergründig	mittel	gering
		Rigosol-Pararendzina aus Schluff- bis Tonmergel oder Mergel-Fließerde	mittelgründig	mittel	mittel
	Sand	Rigosol-Pararendzina aus Schluff- und Lehmmergel oder Mergel-Fließerde	tiefergründig	hoch	hoch bis sehr hoch
		Pararendzina-Pelisol aus Tonmergel oder Tonmergel-Fließerde	mittelgründig	mittel	gering
		Regosol-Braunerde aus Sand	mittelgründig	gering	sehr hoch
		Braunerde aus Flugsandschleier über Sand	tiefergründig	mittel	sehr hoch
		Pararendzina aus Löss	tiefergründig	hoch	hoch bis sehr hoch
		Parabraunerde aus Löss	tiefergründig	hoch	mittel bis hoch
		Tschernosem-Parabraunerde aus Löss	tiefergründig	hoch	hoch
		Parabraunerde-Tschernosem aus Löss	tiefergründig	hoch	hoch bis sehr hoch
Tschernosem aus Löss	tiefergründig	sehr hoch	hoch bis sehr hoch		
Pleistozän	Sandlöss	Tschernosem-Parabraunerde aus Sandlöss über Hochflutlehm oder Terrassensand und -kies	tiefergründig	hoch	hoch
		Tschernosem-Parabraunerde aus Sandlöss über Terrassensand und -kies	tiefergründig	mittel bis hoch	sehr hoch
	Flugsand	Parabraunerde-Tschernosem aus Sandlöss	tiefergründig	hoch	hoch
		Tschernosem aus Sandlöss	tiefergründig	hoch	hoch bis sehr hoch
		Braunerde aus Flugsand über Terrassensand und -kies	mittel- bis tiefergründig	gering	sehr hoch
		Braunerde mit Bändern aus Flugsand über Sand	tiefergründig	gering	sehr hoch
		Kolluvisol aus vorwiegend Löss über Löss	tiefergründig	hoch	hoch
		Kolluvisol aus vorwiegend Löss über Kalkstein oder Kalksteinbraunlehm-Fließerde	tiefergründig	mittel	hoch
		Kolluvisol aus vorwiegend Löss meist über Kalkstein oder Kalksteinschutt	tiefergründig	mittel	mittel
		Gley-Kolluvisol aus carbonathaltigem, lehmigen Bodenmaterial über wechselndem Untergrund	tiefergründig	mittel	hoch
Gley-Kolluvisol aus carbonathaltigem, lehmigen Bodenmaterial	tiefergründig	hoch	hoch		
Holozän	Auensediment	Vega aus Auenschluff bis -lehm über Terrassensand und -kies	tiefergründig	hoch	hoch
		Vega aus tonigem Auenlehm über Terrassensand und -kies	tiefergründig	hoch	hoch
	Flugsand	Vega-Vega aus Auenlehm, örtlich über Auenton, über Terrassensand und -kies	tiefergründig	hoch	mittel
		Gley-Vega aus Auensand über Terrassensand und -kies	tiefergründig	hoch	mittel bis hoch

4 GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

Für die Erstellung der geologischen Karte des Untersuchungsgebietes (Karte 1) fand eine Überarbeitung der überwiegend vor dem Jahr 1950 erstellten geologischen Karten der amtlichen Landesaufnahme statt. Weiterhin wurden jüngere, außerhalb des Landesamtes für Geologie und Bergbau entstandene Kartierungen berücksichtigt. Die Lage dieser Kartiergebiete ist auf der Karte 1 dargestellt.

Die Beschreibung der geologischen Verhältnisse beruht im Wesentlichen auf den bekannten aktuellen Arbeiten zur regionalen Geologie.

Für das Rotliegend sei hierbei insbesondere auf HANEKE (2013), SCHÄFER (2009) und LORENZ ET AL. (1987) hingewiesen. Der Zechstein ist im Wesentlichen durch DITTRICH (2013), DITTRICH (1996) und DITTRICH (in Vorb.) bearbeitet worden. Für den Buntsandstein wird auf DITTRICH (2001) in ROHN & KASSEBEER (2001) sowie BOY ET AL. (2005) verwiesen. Das Tertiär des Mainzer Beckens ist von einer Vielzahl von Bearbeitern untersucht worden. Stellvertretend seien die Veröffentlichungen von ROTHAUSEN & SONNE (1984), ROTHAUSEN (1989) und GRIMM & GRIMM (2003) genannt. Für die Beschreibung der tertiären Ablagerungen, insbesondere ihrer lokalen Erscheinungsformen, wird weiterhin auf die Arbeiten von SCHÄFER (2012, 2013) hingewiesen.

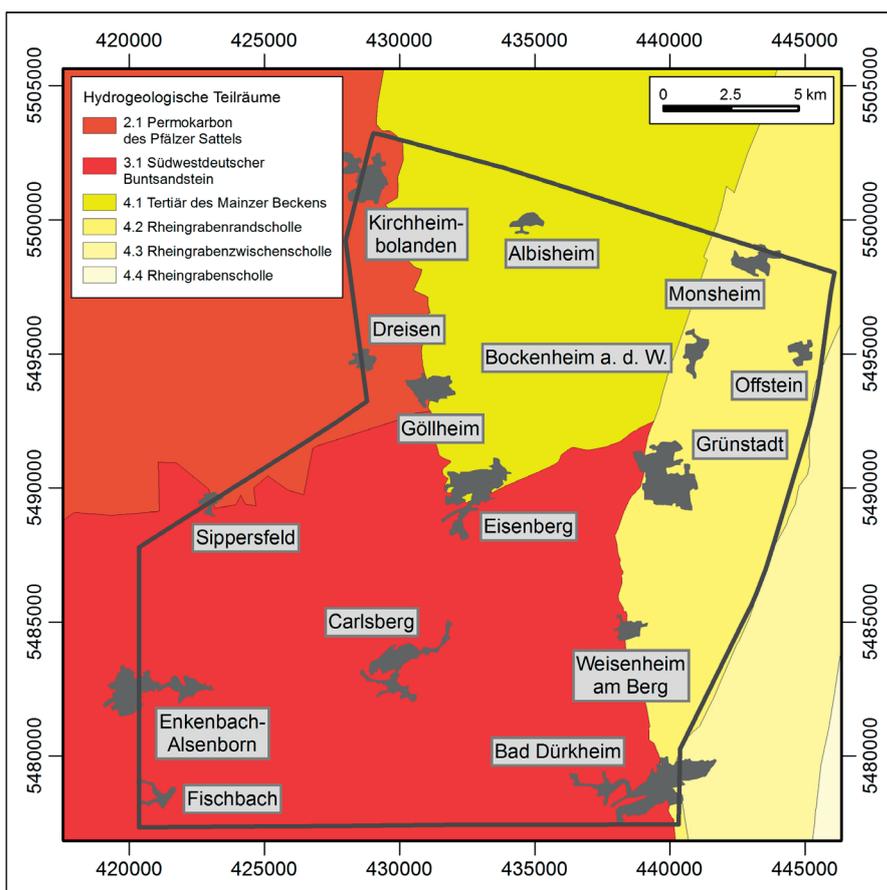


Abb. 4.1: Lage des Untersuchungsgebietes in Bezug auf die hydrogeologischen Teilräume von Rheinland-Pfalz (verändert nach BOY ET AL. 2005).

Das Untersuchungsgebiet umfasst anteilig die hydrogeologischen Teilräume 2.1 „Permokarbon des Pfälzer und Saarbrücker Sattels“, 3.1 „Südwestdeutscher Buntsandstein“, 4.1 „Tertiär des Mainzer Beckens“ sowie 4.2. „Rheingrabenrandscholle“ (Abb. 4.1).

Aufgrund seiner Lage im direkten Anschluss an die bereits bearbeiteten Kartiergebiete „Kaiserslautern“ (LGB & LFW 2004) im Westen und den östlich anschließenden „Rhein-Neckar-Raum“ (MUV Bw, HESS. MULF & MUF RP 1980, 1999) greift die vorliegende Kartierung die für diese Räume aufgestellten hydrogeologischen Gliederungen auf und übernimmt diese, soweit dies möglich ist (vgl. Abb. 2.1).

4.1 Stratigrafie

Die stratigrafische Gliederung der im Untersuchungsgebiet vertretenen paläozoischen, mesozoischen und känozoischen Gesteine erfolgte in Anlehnung an die DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (2011, 2012) sowie BOY ET AL. (2005).

Tab. 4.1: Stratigrafie und hydrogeologische Klassifikation der paläozoisch-mesozoischen Schichtenfolgen (für Legende siehe Tab. 4.3).

System / Periode	Gruppe	Legendeneinheit	Hydrogeol. Eigenschaften	HGE in HGK Grünstadt	GWLG in HGK KL
Trias	Muschelkalk	Wellenkalk und Wellendolomit (muW)		z + s + mu	GWGL 1
	Oberer Buntsandstein	Voltziensandstein (soV)			
		Zwischenschichten (soZ)			
		Hauptkonglomerat und Obere Felszone (soFH)			
		Mittlerer Buntsandstein	Obere Karlstal-Schichten (sKo)		
	Karlstal-Felszone (sKF)				
	Unterer Buntsandstein	Schlossberg-Schichten (sS)			GWGL 3
		Rehberg-Schichten (sR)			
		Trifels-Schichten (sT)			
Perm	Zechstein	Stauf-Schichten (zSt) / Annweiler-Schichten (zA)		r	GWGL 3
	Rotliegend	Standenbühl Formation (rSt)			
		Wadern Formation (rWq)			
		Donnersberg-Formation (rDo) Lavaserien 1 und 2 (L 1 + 2)			

Auf dieser Basis und unter Berücksichtigung der wesentlichen Gesteinseigenschaften sowie der hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Charakteristika wurde eine Zusammenfassung bzw. Untergliederung in hydrogeologische Einheiten (HGE; s. a. Kapitel 4.3) vorgenommen (s. Tab. 4.1,

4.2 und 4.3). Die Bezeichnungen der HGE sowie deren Kürzel haben ausschließlich im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung Geltung. Ausnahmen bilden die Begriffe des Mergeltertiärs und des Kalktertiärs, die zur Beschreibung der paläontologisch-geologischen Verhältnisse im Mainzer Becken von ROTHHAUSEN & SONNE (1984) bzw. ROTHHAUSEN (1989) eingeführt wurden. Sie erwiesen sich als sehr geeignet zur großräumigen hydrogeologischen Gliederung des Tertiärs.

Mit Hilfe der jüngeren Bearbeitungen, z. B. SCHÄFER (2013, 2012), ist eine weitgehende Anbindung an die derzeit geltende stratigrafische Gliederung möglich (vgl. auch GRIMM & GRIMM 2003; s. a. Tabelle 4.2).

Tab. 4.2: Stratigrafie und hydrogeologische Klassifikation der tertiären Schichtenfolgen im südlichen Mainzer Becken (für Legende siehe Tab. 4.3).

System / Periode	Serie / Epoche	Schichtbezeichnung nach ROTHHAUSEN & SONNE (1984)	Legendeneinheit Bezeichnung nach SCHÄFER (2012)	Gruppe	Hydrogeol. Eigenschaften	HGE in HGK Grünstadt		
Tertiär	Obermiozän - Oberpliozän	Bohnerzton	Kriegsheimer Sande (KS) (Weißes Mio-Pliozän)	Mainz - Gruppe		JT		
		Dinotheriensand	Lautersheim - F. (La)					
	Oberoligozän - Unteroligozän	Hydrobien - Schichten	Wiesbaden - F. (Wi)			(Com)		KT
		Corbicula - Schichten	Rüssingen - F. (Rü)					
		Obere Cerithienschichten	Oberrad - F.					
			Oppenheim - F.					
	Mittlere Cerithienschichten Landschneckenkalk	Hochheim - F.						
	Unteroligozän - Oberoligozän	Untere Cerithienschichten	Weisenau - F. (We)	Selztal - Gruppe		MT		
		Süßwasserschichten	Jakobsberg - F. (Ja)					
		Cyrenenmergel	Zwischen- schichten (ZW) In: SONNE (1988)				Sulzheim - F.	Alzey - F. (Al)
							Stadecken - F.	
		Schleichsand	Bodenheim - F.					
		Oberer (Fischschiefer; FS) Mittl. Rupelton	Meeressand				Alzey - F. (Al)	
	Unterer							
	Untero- oligozän	Obere und Mittlere Pechelbronn - Schichten		Ebertsheim - F. (EF)	Eisenberg - Gruppe			
Obereozän - Unteroligozän	Eozäner Basiston	Eisenberger Klebsande						
		Sandige Eisen- berger Tonfolge						
Eozän Unter- Mittel-		Lymnäenmergel						
		Ältere Eisen- berger Tonfolge						
		Ältere Kiese, Sande und Tone (ÄT)						

Tab. 4.3: Stratigrafie und hydrogeologische Klassifikation der quartären Schichtenfolgen.

System / Periode	Serie / Epoche	Legendeneinheit	Hydrogeol. Eigenschaften	HGE in HGK Grünstadt
Quartär	Holozän	Abschwemm - Massen (hu)		h
		Auensedimente (ha)		
	Pleistozän bis Holozän	Rutschmassen (R), Hangschutt und ähnliche Umlagerungsbildungen (fl)		hg
		Pleistozän	Löss (lö)	
	Sandlöss (löSa)			
	Terassenablagerung (t)			t

Hohlraumart


Poren-Hohlraum



Kluft-Poren-Hohlraum



Kluft-Hohlraum



Karst-Kluft-Hohlraum

Durchlässigkeit (*)


Grundwasserleiter mit überwiegend mittlerer bis mäßiger Durchlässigkeit



Grundwasserleiter mit überwiegend mäßiger bis geringer Durchlässigkeit



Grundwassergeringleiter mit überwiegend geringer bis sehr geringer Durchlässigkeit



Grundwassergeringleiter mit überwiegend sehr geringer Durchlässigkeit

(*) in Anlehnung an die Hydrogeologische Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 1997)

sehr hoch	$\geq 1 \cdot 10^{-2}$ m/s
hoch	$< 1 \cdot 10^{-2}$ m/s – $1 \cdot 10^{-3}$ m/s
mittel	$< 1 \cdot 10^{-3}$ m/s – $1 \cdot 10^{-4}$ m/s
mäßig	$< 1 \cdot 10^{-4}$ m/s – $1 \cdot 10^{-5}$ m/s
gering	$< 1 \cdot 10^{-5}$ m/s – $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
sehr gering	$< 1 \cdot 10^{-7}$ m/s – $1 \cdot 10^{-9}$ m/s
äußerst gering	$< 1 \cdot 10^{-9}$ m/s

4.2 Tektonik

Die im Untersuchungsgebiet anteilig vertretenen geologischen Strukturen und stratigrafischen Einheiten (Mainzer Becken, Oberrheingraben, Pfälzer Mulde und Permokarbon des Pfälzer Sattels; vgl. hydrogeologische Teilräume in Abb. 4.1) grenzen überwiegend entlang tektonischer Linien aneinander. Es sind vor allem zwei weitreichende, etwa in Nord-Süd Richtung verlaufende Störungssysteme, die zur Gliederung des Untersuchungsgebietes in drei Großschollen genutzt werden können (Abb. 4.2; vgl. Karte 1). Beiden Störungssystemen gemein ist, dass entlang ihrer Verläufe die höchsten Vertikalversätze auftreten.

Am westlichen Störungssystem grenzen im Norden das Mainzer Becken und das Permokarbon des Pfälzer Sattels aneinander (s. Karte 1; z. B. SCHÄFER 2013, BOY ET AL. 2005, LGB 2003). Bei dem Störungssystem handelt es sich um die westliche Rheingrabenrandstörung im Sinne von STAPF (1988).

Südlich von Hettenleidelheim schwenkt dieses Störungssystem nach Südsüdwesten ein. Tertiäre Ablagerungen unmittelbar östlich des Störungssystems fehlen dort; die Verwerfung verläuft innerhalb des Buntsandsteins und wird als Elmsteiner Störung bezeichnet (DITTRICH 2006).

Der Bereich westlich dieser Störungslinie wird im Weiteren als Großscholle I bezeichnet. Östlich davon schließt sich die Großscholle II an (Abb. 4.2).

Das östliche Störungssystem verläuft westlich der Ortslage Monsheim über Bockenheim, Grünstadt und Weisenheim am Berg nach Bad Dürkheim und von dort weiter in südliche Richtung (s. Abb. 4.1). Entlang dieser Zone grenzt der nördliche Oberrheingraben an das westlich benachbarte Mainzer Becken (HESS. MULF 2013, BOY ET AL. 2005) bzw. den östlichen Rand der Pfälzer Mulde (s. Abb. 4.1 und 4.2, vgl. Karte 1).

Das Störungssystem bildet den westlichen Rand der Rheingrabenrandscholle (Haupttrandverwerfung; KÄRCHER 1987, MUV Bw, HESS. MULF & MUF RP 1999, BOY ET AL. 2005), die als Schollenmosaik zu verstehen ist. Für diesen Bereich wurde weiterhin auch der Begriff der Grünstädter Randschollen eingeführt (LGRB 2013). Die Mächtigkeiten der tertiären Ablagerungen sind im Bereich der Randschollen gegenüber dem zentralen Mainzer Becken erhöht (vgl. Karten 3 und 4). Im Bereich der Randschollen hat eine stärkere Absenkung stattgefunden.

Der Gebirgsrand östlich des Mainzer Beckens sowie in der südlichen Fortsetzung der Leininger Sporn und schließlich der östliche Haardt-Rand werden nach MELUF Bw, hess. MLULF & MLWF RP (1980) und MUV Bw, HESS. MULF & MUF RP (1980, 1999) als westliche Grabenschulter des Oberrheingrabens bezeichnet.

Von SCHÄFER (2013) wird die Rheingrabenrandscholle entsprechend der tektonischen Gliederung von STAPF (1988) dem Mainzer Becken zugeordnet (s. a. PETERS 2007, BOY ET AL. 2005). STAHRER (1978) nimmt diese Zuordnung aufgrund der im Bereich der Randscholle kartierten, inselartigen Hydrobien führende Kalksteinvorkommen vor, gliedert dabei jedoch in eine Rand- und eine Beckenfazies (s. a. Karte 1).

Der Bereich westlich dieser Störungszone, d.h. der zentrale Bereich des Untersuchungsgebietes, wird im Weiteren als Großscholle II bezeichnet. Die Großscholle III ist der Teil der Rheingrabenrandscholle (s. a. Abb. 4.1 und Abb. 4.2).

Die Großscholle II ist an ihrer (Nord-)Westgrenze im Raum Mannheim etwa um 180 m abgesunken (Karte 3, Profil A-A'). Weiter südlich, im Bereich Eisenberg beträgt die Absenkung ca. 420 bis 520 m (Karte 3, Profil B-B'). Auch im Bereich der Ortslagen Carlsberg und Wattenheim lässt sich ein Versatzbetrag bis etwa 430 m bestimmen (Karte 3, Profil C-C'). Im Bereich der sogenannten Elmsteiner Störung kann der Absenkungsbetrag mit ca. 100 m abgeschätzt werden.

Die Großscholle III (Rheingrabenrandscholle) hingegen ist gegenüber der Großscholle II im Norden etwa um etwa 60 bis 220 m abgesunken. Entlang der Profillinie B-B' lässt sich ein Absenkungsbetrag von ca. 150 bis 250 m annehmen. In dem stark gestörten Bereich zwischen Eckbach und Krumbach liegt der Gesamtvertikalversatz bei etwa 270 m. Im Bereich Bad Dürkheim bestehen ebenfalls zahlreiche Staffelbrüche, über die sich ein Gesamtversatz von ca. 330 m abschätzen lässt (Karte 3, Profil D-D').

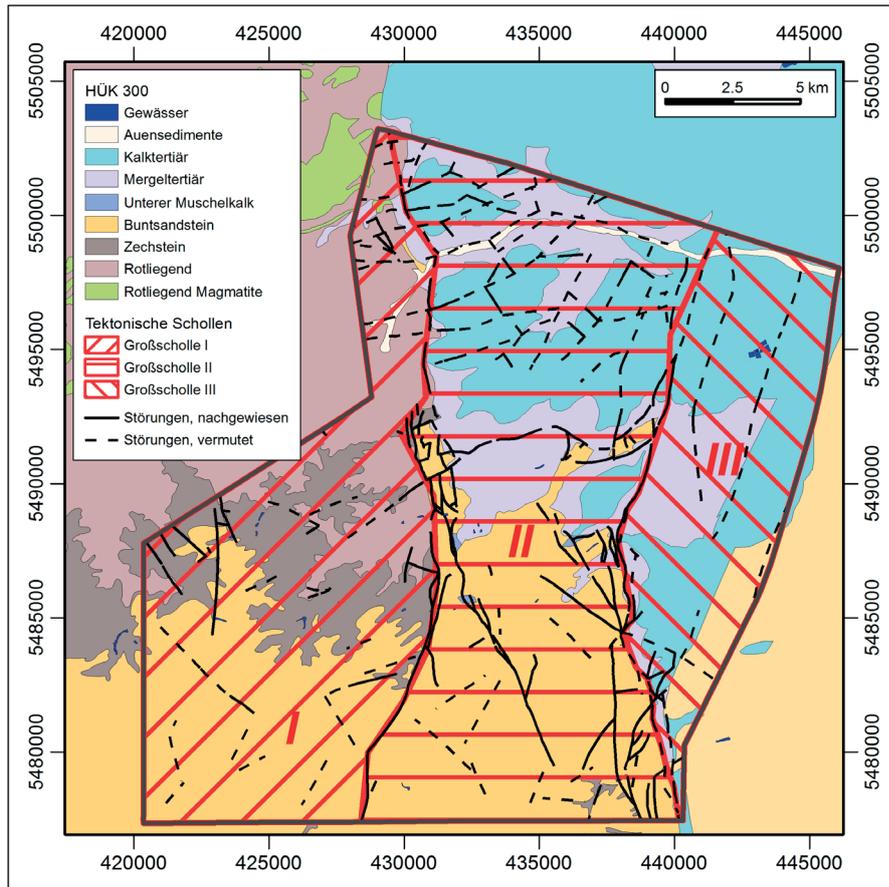


Abb. 4.2: Störungen nach FRANKE (2014), SCHÄFER (2009) sowie aktuellen, bislang unveröffentlichten Bearbeitungen durch W. R. Franke und F. Bitzer sowie Gliederung in die tektonischen Großschollen I, II und III (Erläuterungen siehe Text). Hintergrund: Hydrogeologische Übersichtskarte HÜK300 (LGB 2009).

Innerhalb der Großscholle I besteht ein generelles Einfallen der Schichten des Zechsteins und Buntsandsteins in südliche Richtung (s. a. Karte 4, Profil F-F').

Im Bereich der Großscholle II ist das Schichteinfallen entgegengesetzt (Abb. 4.3; Karten 4, Profile E-E' und G-G'); die Schichtbasis des Buntsandsteins fällt dort nach Norden ein. Ferner sind nach Norden hin zunehmend ältere Schichtfolgen des Buntsandsteins angeschnitten, so dass der Top des Buntsandsteins, der hier eine erosive Grenzfläche ist, noch steiler in diese Richtung einfällt (Profil E-E'; BITZER 2012). Entsprechend liegt auch die Basis der Seltal-Gruppe (hydrogeologische Einheit MT; s. Kapitel 4.3) nach Norden hin zunehmend tiefer (Abb. 4.4).

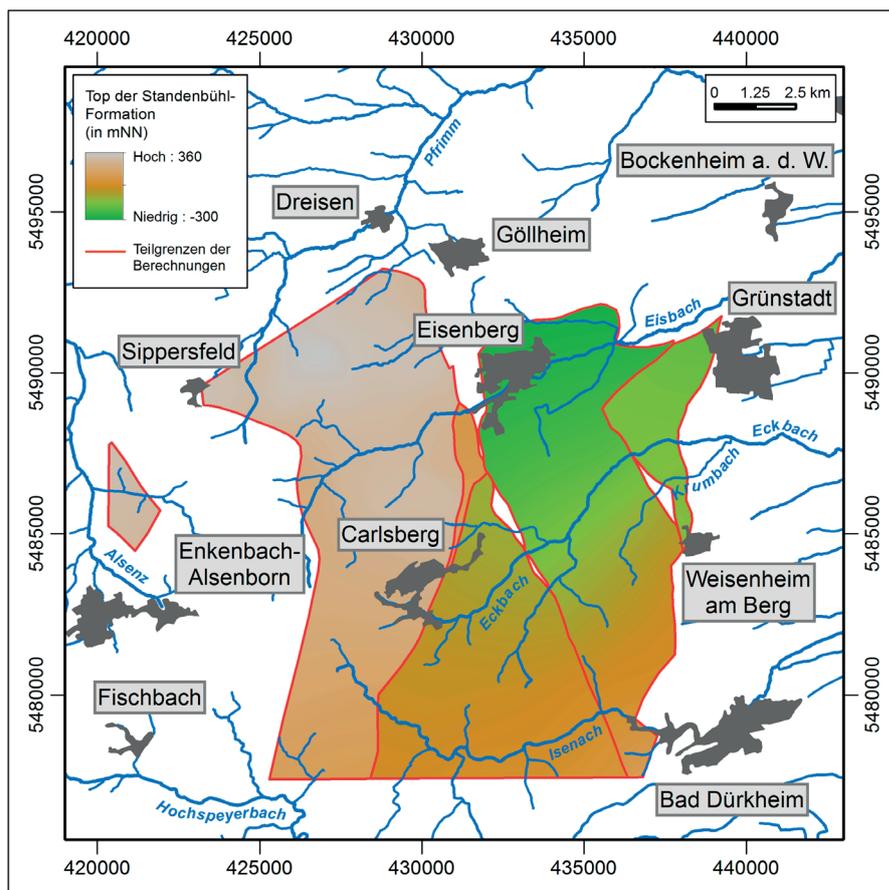


Abb. 4.3: Schichtlagerungskarte für die Basis der hydrogeologischen Einheit z+s+mu bzw. Top der Standenbühl-Formation (Erläuterungen siehe Text).

Entlang der beiden, die Großschollen I bis III trennenden und etwa Nord-Süd verlaufenden Störungssysteme grenzt die hydrogeologische Einheit z+s+mu (im Wesentlichen Zechstein und Buntsandstein) der Großscholle II im Westen an die hydrogeologische Einheit r (Großscholle I) und im Osten an die hydrogeologische Einheit KTL (Großscholle III), deren mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten überwiegend als im Vergleich geringer eingeschätzt werden.

Weiterhin zeigen die geologische Karte und die Profilschnitte (Karten 1, 3 und 4) neben den genannten großräumigen Störungssystemen eine Vielzahl kleinerer Störungen, die eine starke Segmentierung des Untergrunds signalisieren. Die räumliche Dichte und Verteilung der Störungen variiert im Untersuchungsgebiet. Dies hat seine Ursache u. a. in der Kompilation von Ergebnissen, denen unterschiedliche methodische Ansätze verschiedener Bearbeiter zugrunde liegen (z. B. verschiedene Kartengrundlagen, Nutzung von Bohrungen, seismische Informationen, Laserscan-Daten).

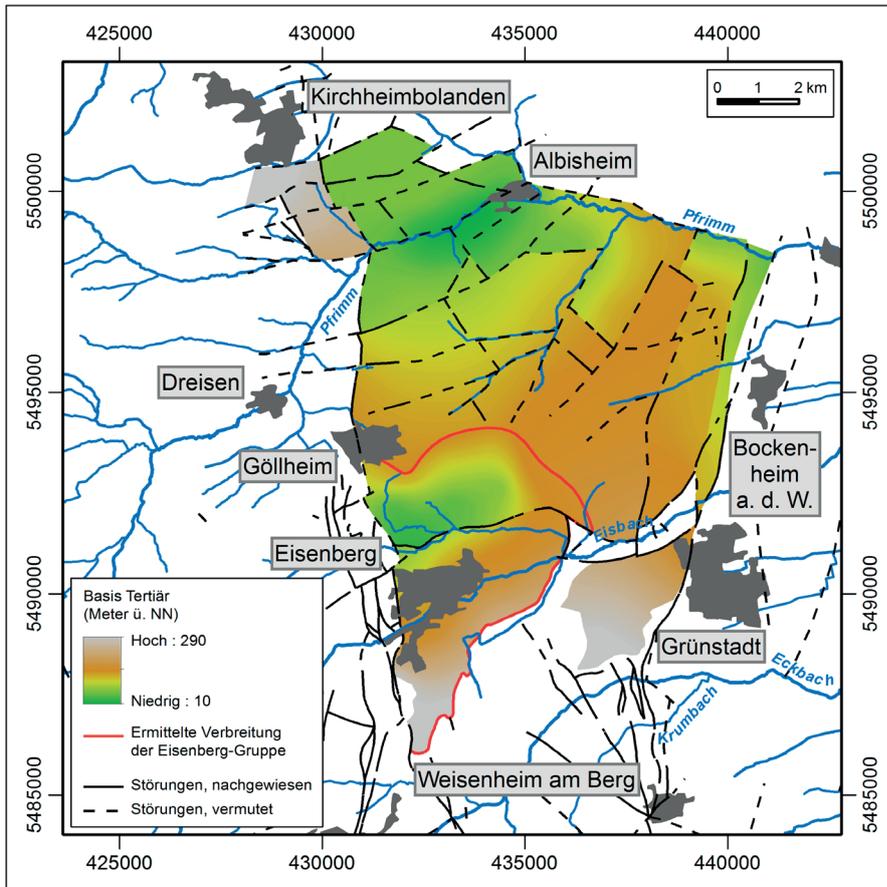


Abb. 4.4: Schichtlagerungskarte für die Basis der Eisenberg-Gruppe (hydrogeologische Einheit AT) und der Selztal-Gruppe bzw. die Basis des Tertiärs (hydrogeologische Einheiten MT und MS; Erläuterungen siehe Text).

4.3 Hydrogeologische Einheiten

Die Tabellen 4.1, 4.2 und 4.3 geben bereits eine Übersicht über die im Untersuchungsgebiet vertretenen hydrogeologischen Einheiten. Die Karte 2 zeigt ihre Verbreitung in der Fläche. Die Karten 3 und 4 skizzieren ihre Fortsetzung in die Tiefe anhand von Profilschnitten.

Die als Kalktertiär zusammengefasste hydrogeologische Einheit KT (s. Tab. 4.2) bildet im nördlichen bis zentralen Untersuchungsgebiet das großräumige obere Grundwasserstockwerk.

Das im Liegenden folgende ältere Tertiär (hydrogeologische Einheiten MT und AT) ist dort die hydraulisch trennende Schichtenfolge zum tieferen, zweiten Grundwasserstockwerk (hydrogeologische Einheit z+s+mu).

Die hydrogeologische Einheit z+s+mu wird von den Schichtfolgen des eher geringmächtige Zechsteins, den bis mehrere hundert Meter mächtigen Schichtfolgen des Buntsandsteins sowie den nur lokal vorhandenen Erosionsresten des Muschelkalks gebildet (Tab. 4.1). Die Basis dieses großräumigen Grundwasserleiterkomplexes bildet das geringdurchlässige Rotliegend (hydrogeologische Einheit r).

Der wasserwirtschaftlich sehr bedeutsame Kluft-/Poren-Grundwasserleiterkomplex aus im Wesentlichen den Schichtfolgen des Buntsandsteins und Zechsteins (hydrogeologische Einheit z+s+mu) weist innerhalb des Untersuchungsgebietes die größte räumliche Ausdehnung auf. Seine Mächtigkeit wird im Wesentlichen durch den Buntsandstein bestimmt und nimmt – ausgehend von fast 400 m im zentralen Untersuchungsbereich – nach Norden hin deutlich, nach Süden hin in geringerem Maße ab. Durch die tektonischen Verhältnisse am Rand des Oberrheingrabens und das Mosaik der einzelnen Gebirgsblöcke im Bereich des Mainzer Beckens (s. a. Karten 3 und 4) variiert die Tiefenlage dessen Basis mitunter erheblich (s. a. Abb. 4.3).

Die Gebirgsdurchlässigkeiten werden einerseits durch die Wirksamkeit des Anteils der vernetzten, offenen Poren (Matrixdurchlässigkeit), andererseits durch die Wasserwegsamkeiten und die Vernetzung des Trenn- und Schichtflächengefüges bestimmt. Die sog. Felsbänke innerhalb des Buntsandsteins stellen beispielsweise mitunter ergiebige Kluftgrundwasserleiter dar (z. B. Karlstal-Felszone), die auf hangend und liegend folgende, weniger verfestigte Schichten (z. B. Schlossberg- und Obere Karlstal-Schichten) eine weitreichende dränierende Wirkung haben können. In den weniger verfestigten Schichtfolgen dominieren hingegen häufig die für Porengrundwasserleiter typischen Eigenschaften. Der wiederholte Wechsel dieser unterschiedlich ausgebildeten Schichten bedingt im Gelände mitunter Quellhorizonte an der Basis sog. Felsbänke, z. B. an der Basis der Trifels-Schichten oder der Karlstal-Felszone, aber auch innerhalb der Rehberg-Schichten.

Schluff- oder Tonlagen mit großen lateralen Reichweiten sind innerhalb der hydrogeologischen Einheit z+s+mu nicht bekannt. Entsprechend treten keine über den lokalen Rahmen hinaus bedeutsamen, das Grundwasser stauenden Horizonte auf (LGB & LFW 2004).

Alle Festgesteine weisen oberflächennah eine meist mehrere 10er Meter mächtige Auflockerungs- und Verwitterungszone auf. Während sie bei den karbonatischen Gesteinen mitunter zu typischen Verkarstungsphänomenen geführt hat, haben sich bei den siliziklastischen Sedimentgesteinen aufgrund der z.T. intensiven Entfestigung unterschiedlich stark ausgeprägte Porengrundwasserleiter ähnliche Eigenschaften herausgebildet.

In der Folge werden die einzelnen hydrogeologischen Einheiten vorgestellt. Ihre Verbreitung im Untersuchungsgebiet zeigen die Karten 2 bis 4.

4.3.1 Rotliegend (r)

Die Standenbühl-Formation (Legendeneinheit rSt, s. Karte 1), eine Wechselfolge aus vor allem Ton-, Schluff- und (Fein-)Sandsteinen, stellt – insbesondere im Vergleich zu den hangend folgenden Schichten – zusammen mit den lokalen Vorkommen der Lavaserien 1 und 2 (Legendeneinheit L 1+2) der Donnersberg-Formation einen Grundwassergeringleiterkomplex dar (vgl. a. LGB & LFW 2004).

Aufgrund der überwiegend schwachen Verfestigung der Sedimentgesteine durch Eisenverbindungen, Tonminerale und Karbonatzemente bestehen, auch bei intensiverer Zerrüttung des Gebirges, in dem feinkörnigen Kluftgrundwasserleiter keine relevanten Wasserwegsamkeiten. In den Magmatiten sind Klüfte häufig durch Mineralneubildungen wieder geschlossen worden. Die Gebirgsdurchlässigkeiten sind daher sehr gering. Das Rotliegend ist im Untersuchungsgebiet wasserwirtschaftlich kaum nutzbar (SCHÄFER 2009).



Abb. 4.5: Siltige Feinsand-, Silt- und Tonsteine der Standenbühl-Formation; überwiegend tonig-karbonatisch zementiert; Aufschluss Fa. Walther bei Steinborn (Foto: F. Bitzer).

Die wenigen bestehenden Grundwassererschließungen im Rotliegend erfassen überwiegend den verwitterungsbedingt aufgelockerten oberflächennahen Tiefenbereich und/oder lokale Faziesausbildungen wie das Quarzitkonglomerat der Wadern-Formation oder die Donnersberg-Formation (Legendeneinheit rW und rDo, s. Karte 1). Diese Einheiten können lokale Kluftgrundwasserleiter geringer bis mäßiger Ergiebigkeit bilden.

Die hydrogeologische Einheit r stellt großräumig die Sohle des hangend folgenden Grundwasserleiterkomplexes (hydrogeologische Einheit z+s+mu) dar.

4.3.2 Zechstein, Buntsandstein und Unterer Muschelkalk (z+s+mu)

Der Zechstein, der Buntsandstein und der Untere Muschelkalk bilden in weiten Bereichen des zentralen Untersuchungsgebietes einen zusammenhängenden Grundwasserleiterkomplex, der als hydrogeologische Einheit z+s+mu zusammengefasst wurde.

Seine Mächtigkeit variiert von wenigen 10er Metern bis etwa 400 m. Der Zechstein und der Buntsandstein bilden im zentralen bis nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes aufgrund der Überlagerung durch das gering- bis undurchlässige ältere Tertiär (hydrogeologische Einheiten MT und AT) das tiefere, großräumig zusammenhängende Grundwasserstockwerk. Im südlichen Teil stellen der Zechstein und der Buntsandstein, zusammen mit sehr kleinräumigen Restvorkommen des Unteren Muschelkalks, aufgrund fehlender Überdeckung das obere Grundwasserstockwerk dar.

Durch prätertiäre und jüngere Erosion fehlen in Teilgebieten die Schichten des Zechsteins, Buntsandsteins und Unteren Muschelkalks teilweise bis vollständig.

Während der Buntsandstein im Untersuchungsgebiet große wasserwirtschaftliche Bedeutung erlangt, sind die lokalen Restvorkommen des Unteren Muschelkalks wasserwirtschaftlich bedeutungslos.

4.3.2.1 Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z)

Die im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes überwiegend aus Fein- bis Grobsandsteinen bestehenden Stauf-Schichten (zSt, s. Karten 1, 3 und 4) können, insbesondere in Geröll führenden, grobklas-tisch ausgebildeten Bereichen bedeutsame Kluftgrundwasserleiter darstellen. Diese Bereiche sind häufig diagenetisch stärker verfestigt und ermöglichen die Ausbildung eines ausreichend vernetzten Trennflächensystems (vgl. LGB & Lfw2004).

Weiterhin bestehen in der Übergangszone zum hangenden Buntsandstein in den geröllarmen mittel-sandigen Sandsteinen durch Lösung primärer Dolomitzeemente häufig erhebliche sekundäre Porositäten, die zu einer Erhöhung der Wasserwegsamkeiten und des Speichervolumens beitragen können (BITZER 2014). Mitunter sind diese dezementierten Bereiche mit sog. Mulm von Eisen- und Manganverbindungen gefüllt.

Die eher feinkörnige Ausbildung des Zechsteins – im südlichen bis südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes als Annweiler-Schichten (zA, s. Karten 1, 3 und 4) bezeichnet – weist tendenziell geringe Klüf-tigkeit bei überwiegend geringen Gebirgsdurchlässigkeiten auf.



Abb. 4.6: Karbonatfreie Fein- bis Mittelsandsteine der Stauf-Schichten („Formsand“); Aufschluss an der Ortsdurchfahrt Sippersfeld. Detailausschnitt aus einem Bereich mit großen Nestern aus Eisen-/ Mangan-Mulm (braun) innerhalb der Formsande (Foto: F. Bitzer).

Die Stauf-Schichten entsprechen der Basis der für das Kartiergebiet „Kaiserslautern“ ausgewiesenen Grundwasserleiter Gruppe 3 (GWLG 3 nach LGB & LFW, 2004; vgl. Tabelle 4.1).

Im Untersuchungsgebiet wurde bei den Grundwasserschließungen im Buntsandstein der Zechstein, dort wo vorhanden, meist mit erschlossen.

4.3.2.2 Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s)

Der Buntsandstein besteht aus einer Abfolge unterschiedlich stark verfestigter Sandsteine. Endglieder stellen dabei mürbe, sogenannte dünnsschichtige Sandsteine mit geringer Kornbindung („Dünnschichten“) und stark verfestigte, massig erscheinende Sandsteine dar (sogenannte „Felsbänke“; LGB & LFW 2004). Es bestehen Übergänge zwischen diesen beiden Typen. Weiterhin sind die hydrogeologischen Eigenschaften der Sandsteine oberflächennah durch die tertiären und quartären Auflockerungs- und Verwitterungsprozesse stark beeinflusst.

Die Trifels-Schichten (s. a. Tab. 4.1), die im zentralen Untersuchungsgebiet unter der z. T. bis etwa 300 m mächtigen Überdeckung anstehen, liegen überwiegend in der sogenannten „Felsbank“-Fazies vor. Die intensiv verfestigten, silikatisch gebundenen, mitunter Geröll führenden Sandsteine können in relativer Nähe zu den Hauptstörungszonen bedeutsame Kluftgrundwasserleiter bilden. Die basalen Schichtfolgen weisen häufig, ähnlich den Stauf-Schichten, vermutlich durch Lösung primärer Dolomitzemente gebildete sekundäre Porositäten auf.



Abb. 4.7: Sandsteine der Trifels-Schichten; Schrägschichtungsblätter bauen die einzelnen sigmoidal geformten und sich erosiv überlagernden Sedimentkörper auf; Aufschluss: Alter Steinbruch Neuheimsbach (Foto: F. Bitzer).

Auch in den Rehberg-Schichten treten Felsbänke auf, die dort lokale Klufftgrundwasserleiter bilden. Diesen sind mächtige, geringer verfestigte Dünnschicht-Abfolgen zwischengelagert. Durch geophysikalisch vermessene Bohrungen wurde nachgewiesen, dass im Bereich der Dünnschichten Wasserzutritte mitunter annähernd durchgängig vorhanden sein können. In den Rehberg-Schichten ist das Vorhandensein von sowohl Poren- als auch Klufftgrundwasserleitereigenschaften deutlich ausgeprägt.

Die Trifels- und die Rehberg-Schichten werden im Kartiergebiet „Kaiserslautern“, zusammen mit den Stauf-Schichten (Zechstein), in der Grundwasserleiter Gruppe 3 zusammengefasst (GWLG 3 nach LGB & LFW, 2004; vgl. a. Tab. 4.1).

Die Schlossberg-Schichten können aufgrund ihrer meist geringen Verfestigung – ähnlich wie die Rehberg-Schichten – als eine Kombination aus Poren- und Klufftgrundwasserleiter, mit z.T. überwiegenden Eigenschaften eines Porengrundwasserleiters aufgefasst werden. Aufgrund der in den relativ inkompetenten Schlossberg-Schichten kaum ausgebildeten Klüftung, werden diese im Kartiergebiet „Kaiserslautern“ nach LGB & LFW (2004) als flächig ausgebildeter, relativer hydraulischer Trennhorizont zu den hangenden Grundwasserleitern des Mittleren und Oberen Buntsandsteins der Grundwasserleiter-Gruppe 3 (GWLG 3) aufgefasst.

Die Gesteine des Mittleren Buntsandsteins bilden die jüngste, noch annähernd im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitete Stufe der Untertrias.

Die hydrogeologischen Eigenschaften der Karlstal-Felszone ähneln dabei stark denen der Trifels-Schichten. Sie stellt aufgrund ihrer im Vergleich noch intensiveren Verfestigung bei entsprechend vernetzten Trennflächensystemen einen mitunter ergiebigen Klufftgrundwasserleiter dar. Die Karlstal-Felszone bildet im Kartiergebiet „Kaiserslautern“ die Grundwasserleiter-Gruppe 2 (GWLG 2 nach LGB & LFW, 2004).

Die Oberen Karlstal-Schichten hingegen ähneln in ihren hydrogeologisch-geohydraulischen Eigenschaften wiederum denen der Schlossberg-Schichten. Sie werden als eine Kombination aus Poren- und Klufftgrundwasserleiter, mit z.T. überwiegenden Eigenschaften eines Porengrundwasserleiters aufgefasst.



Abb. 4.8: Tektonisch stark gestörte Sandsteine der Oberen Karlstal-Schichten im Bereich der Haupttrandverwerfung; Aufschluss an der Felsmühle im Eckbachtal bei Neuleiningen (Foto: F. Bitzer).

Die Obere Felszone aus überwiegend stark verkieselten und schlecht sortierten Sandsteinen mit geringmächtigen Einschaltungen von Dünnschichten und das Hauptkonglomerat, ein meist stark Geröll führender, mäßig verfestigter Sandstein, bilden bei entsprechender Klüftung nutzbare Grundwasserleiter. In Bereichen ohne mächtige Überdeckung sind die Durchlässigkeiten aufgrund der verwitterungsbedingten Entfestigung mitunter deutlich erhöht.

Der Obere Buntsandstein – mit den Sandsteinen der Zwischenschichten an seiner Basis – ist im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes erosionsbedingt nur noch in Restmächtigkeiten vorhanden und stark entfestigt. Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes werden die Zwischenschichten vom Voltziensandstein überlagert. Aufgrund der Einschaltungen von Ton- und Schluffsteinen weist dieser nur bei entsprechender Klüftigkeit relevante Wasserwegsamkeiten auf. Der Obere Buntsandstein wurde im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bereits teilweise prätertiär erodiert (BITZER 2012). Der Obere Buntsandstein wird im Untersuchungsgebiet wasserwirtschaftlich nicht genutzt.

4.3.2.3 Unterer Muschelkalk (hydrogeologische Untereinheit mu)

Die feinkörnigen, kalkig-dolomitischen Mergel des Unteren Muschelkalks (Wellenkalk und Wellendolomit, Legendeneinheit muW, s. Karten 1, 3 und 4) bilden einen Kluftgrundwasserleiter mit i.W. geringer Durchlässigkeit. Der Untere Muschelkalk steht am südwestlichen Rand des Eisenberger Beckens nur noch lokal in Restmächtigkeiten bis etwa 20 m an (etwa im Bereich zwischen dem Eisbach und dem Eckbach). Nördlich des Eisbachs wurde der Untere Muschelkalk bislang nicht nachgewiesen. Aufgrund seiner

sehr lokalen Verbreitung und seiner geringen Mächtigkeiten ist er wasserwirtschaftlich und hydrogeologisch im Untersuchungsgebiet ohne Bedeutung.

4.3.3 Alttertiär (AT)

Unter dem Begriff der hydrogeologischen Einheit AT (Alttertiär) sind alle Schichten der Eisenberg-Gruppe zusammengefasst (vgl. Tab. 4.2). Ihr Vorkommen ist im Wesentlichen auf den Bereich des Eisenberger Beckens beschränkt (s. a. Karten 1, 2, 3 und 4)



Abb. 4.9: Im zentralen Bildbereich: Lymäenmergel (Eisenberg-Gruppe); Aufschluss Tontagebau Doris bei Eisenberg; s. a. Tabelle 4.2 (Foto: A. Wehinger).

Es handelt sich sowohl um kalkfreie, reine Tone als auch um Tone mit variierenden Sandanteilen (Abb. 4.9). Die ursprünglich bis ca. 130 m mächtige Abfolge lagert als gering- bis sehr geringdurchlässige Schichtenfolge dem höheren Buntsandstein auf und ist in ihrem Verbreitungsbereich Ursache für gespanntes Grundwasser in der unterlagernden hydrogeologischen Einheit z+s+mu (s. a. Karten 3 und 4). Aufgrund der damit verbundenen Aufhebung der Vorflutfunktion für den Grundwasserabstrom aus der hydrogeologischen Einheit z+s+mu hat die hydrogeologische Einheit AT dort erheblichen Einfluss auf den Abfluss des Eisbachs.

4.3.4 Mergeltertär (MT)

Bei den als Mergeltertär (hydrogeologische Einheit MT) zusammengefassten Ablagerungen handelt es sich um eine Schichtenfolge von vorwiegend feinkörnigen Sedimenten bzw. Sedimentgesteinen (Ton, Mergel/Mergelstein, Schluff und Feinsand), die die Entwicklung des Ablagerungsraumes im Mainzer Becken im Oligozän dokumentieren. Sie stellen angesichts ihrer im zentralen und nördlichen Untersuchungsgebiet zusammenhängenden Verbreitung einen bedeutenden Grundwassergeringleiterkomplex dar, der zur bereits erwähnten Grundwasserstockwerksgliederung im regionalen Maßstab führt (s. a. Tab. 4.2).

Das Mergeltertär lagert als sehr gering durchlässige Schichtenfolge vor allem dem Buntsandstein auf (hydrogeologische Einheit z+s+mu). Es verhindert dessen direkten hydraulischen Kontakt zu den hangend folgenden jüngeren und vergleichsweise gut durchlässigen Schichten des Kalktertiärs (hydrogeologische Einheit KT) im zentralen und nördlichen Arbeitsgebiet. Die hydraulische Trennung der Grundwasserstockwerke durch die hydrogeologische Einheit MT ist lokal durch das tief eingeschnittene Eisbachtal bei Asselheim aufgehoben. Im Verbreitungsbereich des Mergeltertärs ist der Grundwasserabstrom aus der hydrogeologischen Einheit z+s+mu (vor allem aus dem Buntsandstein) in den Eisbach und die Pfrimm annähernd vollständig unterbunden.



Abb. 4.10: Graue Tone des mittleren Teils der Bodenheimer-Formation (Fischschiefer) über kalkfreien, weiß-beigen, fein- bis mittelkörnigen Sanden der Alzey-Formation (Meeressande; Foto: F. Bitzer).

Während im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes die Grundwasserdruckfläche in der hydrogeologischen Einheit z+s+mu tiefer liegt als die Geländeoberfläche bzw. als dessen Schichtoberkante,

wird sie in Richtung Norden von der Schichtbasis des Mergeltertiärs unterschritten (z. B. im Pfrimm-Tal; s. a. Karten 3 und 4). Dies führt dazu, dass das Grundwasser der hydrogeologischen Einheit z+s+mu im Süden ungespannt ist, am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes hingegen aufgrund der Mergel-tertiär-Überdeckung (hydrogeologische Einheit MT) z.T. stark gespannt ist.

4.3.5 Meeressand (MS)

Der Meeressand (hydrogeologische Einheit MS) ist stratigrafisch dem Mergeltertiär zuzuordnen. Die kalkfreien, fein- bis grobsandigen Ablagerungen stellen die grobklastische Randfazies des „Rupel-Mee-res“ dar und sind mitunter ferritisch gebunden. Die Meeressandvorkommen sind im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf meist schmale Verbreitungsbereiche, überwiegend entlang dem östlichen Rand der Rheingrabenrandscholle beschränkt. Im Bereich des Eisenberger Beckens streicht der Meeressand im Hangenden der Eisenberger Klebsande und sandigen Eisenberger Tonfolge sowie der Eberts-heim-Formation auch über größere Flächen aus. Im Bereich des Pfrimm-Tals im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes scheint er als basale Schichtfolge des Mergeltertiärs (hydrogeologische Einheit MT) über weite Flächen vorhanden zu sein (vgl. BITZER 2012).

4.3.6 Kalktertiär (KT)

Die oberoligozänen bis untermiozänen Kalksteine der Mainz-Gruppe im nördlichen und zentralen Unter-suchungsgebiet werden als hydrogeologische Einheit KT zusammengefasst. Die Schichtenfolge stellt ein Kluft-/Karstgrundwasserleitersystem geringer bis mäßiger Durchlässigkeiten dar. Das Kalktertiär bildet das obere, großräumig zusammenhängende Grundwasserstockwerk.

An der Basis des Kalktertiärs bestehen mitunter ergiebige Quellen, z. B. bei Stetten (nördlicher Rand des Arbeitsgebietes), die früher auch zur Trinkwasserversorgung genutzt wurden. Die Grundwassersohle der hydrogeologischen Einheit KT bildet die Schichtoberkante des Mergeltertiärs (hydrogeologische Einheit MT).

In den tektonisch intensiver beanspruchten Bereichen, wie z. B. nahe dem östlichen Rand der Rheingra-benrandscholle im Kalksteinabbau „Auf der Platte“ nördlich von Neuleiningen, lassen sich die Zerrüt-tung und die Verkarstung der überwiegend mergeligen, z. T. massigen, z. T. aber auch gut gebankten Kalk- und Mergelsteine gut erkennen. Die Grundwasseroberfläche dieses Grundwasserstockwerks ist derzeit großflächig im Kalksteinbruch bei Rüssingen aufgeschlossen.



Abb. 4.11: Arenitische Kalksteine, Kalkmergelsteine und Algenkalkstotzen der Oppenheim-Formation (vermutlich nahe der Basis); Aufschluss Steinbruch „Auf der Platte“ (westlicher Bereich) bei Neuleiningen (Foto: F. Bitzer).

4.3.7 Kalktertiär im Bereich der Randscholle (KTI)

Auch im Bereich der Rheingrabenrandscholle (s. Abb. 4.1; vgl. a. Abb. 4.2) sind stratigrafisch äquivalente, jedoch faziell mitunter abweichende Ablagerungen der Mainz-Gruppe verbreitet. Dort macht sich bereits der Einfluss des östlich, etwa dem Verlauf der Grabenachse folgenden oberoligozänen bis untermiozänen grabenzentralen Ablagerungsraumes bemerkbar. Während das zentrale Mainzer Becken als Randfazies bezeichnet wird, ist der Bereich der Rheingrabenrandscholle bereits der Grabenfazies zuzuordnen (STÄHMER 1978; vgl. Karte 1).

Insgesamt höhere und nach Norden hin zunehmende Anteile an Mergel und Ton in zahlreichen Bohrungen lassen auf entsprechend größere Wassertiefen während der Ablagerung im Bereich der Rheingrabenrandscholle schließen. Mitunter sind grau bis graugrüne Mergel und Mergelsteine mit eingelagerten dünnen Kalkstein- oder Dolomitbänken vertreten, wie sie als beckenzentrale Fazies im Oberrheingraben beschrieben werden (dort als Landau-Formation bezeichnet; vgl. SCHÄFER 2013). Kalksteine treten vorwiegend am westlichen Rand der Rheingrabenrandscholle als Bänke variabler Mächtigkeiten innerhalb meist mergeliger bis toniger Schichten auf. Insbesondere im südlichen Bereich (Raum Kallstadt, s. a. Karten 1 und 2) ist die hydrogeologische Einheit KTI überwiegend karbonatisch ausgebildet. Die Mächtigkeiten übersteigen die aus dem zentralen Untersuchungsgebiet bekannte Größe deutlich.

Die hydrogeologische Einheit KTL stellt einen Karst-/Kluftgrundwasserleiter bis Grundwasseringeleiter dar. Für den südlichen Bereich können aufgrund höherer Kalksteinanteile auch höhere Durchlässigkeiten vermutet werden. Zum zentralen und nördlichen Bereich der Rheingrabenrandscholle hin nimmt der Mergel und Tonanteil deutlich zu. Entsprechend sind dort geringere Durchlässigkeiten anzunehmen (s. a. Kapitel 5).

4.3.8 Jungtertiär (JT)

Die hydrogeologischen Einheiten KT und vor allem KTL werden zum Teil von obermiozänen tonig-sandigen tertiären Ablagerungen überdeckt (s. a. Karten 1 und 2), die im Wesentlichen als Grundwasseringeleiter einzustufen sind (vgl. Tab. 4.2). Es handelt sich um sandig-tonige Ablagerungen der Lautersheim-Formation sowie die jüngeren Kriegsheimer Sande (auch als „Weißes Mio-Pliozän“ bezeichnet). Sie haben sowohl im zentralen Bereich als auch im Bereich der Randscholle aufgrund ihrer eher geringen räumlichen Verbreitung keine hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Bedeutung.

4.3.9 Terrassenablagerungen (t)

Die Sande und Kiese in überwiegend schluffiger Matrix (Terrassenablagerungen) treten lokal in schmalen Verbreitungsbereichen im Eisenberger Becken sowie im Bereich der Randscholle flächenhaft auf. Sie werden vermutlich in weiterreichender Verbreitung von jüngeren Löss-Ablagerungen überdeckt.

Den pleistozänen Ablagerungen der hydrogeologischen Einheit t kann bereichsweise eine Dränagewirkung auf die überlagernden Deckschichten zugemessen werden.

Die Ablagerungen stellen Porengrundwasserleiter mittlerer bis mäßiger Durchlässigkeit dar. Die Terrassenablagerungen sind wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung.

4.3.10 Löss und Sandlöss (lö)

Die vor allem im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes großflächig verbreiteten, mitunter einige bis viele Meter mächtigen Löss-Ablagerungen stellen einen Porengrundwasserleiter geringer bis sehr geringer Durchlässigkeit dar. Ihr hohes Wasserspeichervermögen macht sie allerdings als Bodenwasserspeicher (hohes Speichervermögen) bedeutsam. Beide Eigenschaften mindern entsprechend die Grundwasserneubildung in den unterlagernden hydrogeologischen Einheiten.

4.3.11 Hangschutt und ähnliche Umlagerungsbildungen (hg)

Die abgerutschten Tertiär-Sedimente der Mainz-Gruppe (Legendeneinheit R, s. Karte 1) sowie die Lehme, Schluffe und Sande (fl) sind vor allem im Bereich des Pfrimmtals sowie im Bereich tertiärer Sedimente südlich des Eisbachs verbreitet. Sie bedecken dort als Umlagerungsprodukt vor allem die hydrogeologische Einheit MT. Kleinere Vorkommen befinden sich am westlichen Rand der Randscholle (Großscholle III).

Die Rutschmassen und Umlagerungsprodukte stellen Porengrundwasserleiter geringer bis sehr geringer Durchlässigkeit dar.

4.3.12 Abschwemm-Massen und Auensedimente (h)

Die Abschwemm-Massen und Auensedimente sind auf die ufernahen Streifen rezenter und früherer Bäche beschränkt. Dies bedingt in der großräumigen Betrachtung eine netzartig verflochtene, linienartige Verbreitung der überwiegend lehmig-schluffigen z.T. auch sandig-kiesigen Ablagerungen. Die Ablagerungen stellen lokale Porengrundwasserleiter sehr geringer bis mäßiger Durchlässigkeit dar.

5 GEOHYDRAULISCHE KENNWERTE

Für die hydrogeologischen Einheiten wurden geohydraulische Kennwerte ermittelt. Da im Zuge der Untersuchungen keine neuen Pumpversuche durchgeführt werden konnten, standen hierfür ausschließlich Altdaten aus früheren Erschließungsmaßnahmen zur Verfügung. Damit lag insbesondere hinsichtlich der Anzahl an Datenpunkten pro Einheit und der Qualität der Dokumentation früherer Untersuchungen eine sehr uneinheitliche Datenbasis vor.

5.1 Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten

Zur Abschätzung mittlerer Gebirgsdurchlässigkeiten wurden die im Bohrarchiv des LGB vorhandenen Daten zu Aufschlusspunkten innerhalb des Untersuchungsgebietes gesichtet.

Es lagen 128 Datensätze aus dem Zeitraum ab etwa 1960 vor, die eine Auswertung erlaubten. Die Datensätze umfassten Ergebnisse aus Pumpversuchen in offenen Bohrlöchern, in Grundwassermessstellen und in ausgebauten Brunnen. Die Pumpversuche wurden mit unterschiedlicher Dauer sowie in unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Beobachtungsdichte durchgeführt. Entsprechend heterogen war der Datenbestand zur jeweiligen Dokumentation dieser Versuche.

Die räumliche Verteilung der ausgewerteten Aufschlusspunkte ist – entsprechend den geologischen Verhältnissen im Untersuchungsgebiet – ungleichmäßig:

- Rotliegend (hydrogeologische Einheit r): Die Aufschlusspunkte befinden sich am westlichen Gebirgsrand (Nordpfälzer Bergland) sowie in unmittelbarer Nähe zur Rheingrabenhauptstörung im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes.
- Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z): Die Aufschlusspunkte liegen im südlichen und westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes (zum Teil auch außerhalb).
- Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s): Die Aufschlusspunkte erstrecken sich vom südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bis an dessen Nordrand nahe dem Pfrimm-Tal. Allerdings nimmt die Aufschlussdichte in diese Richtung deutlich ab.
- Tertiäre Einheiten (hydrogeologische Einheiten MS, MT, KT und KTL): Die Aufschlusspunkte liegen im überwiegend zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Im Bereich der Rheingrabenrandscholle (östliches Untersuchungsgebiet) existieren nur wenige Aufschlusspunkte.

Für die Auswertung wurde einheitlich das Näherungsverfahren nach LOGAN (1964) angewendet (s. a. LINCK 1963).

Für den Buntsandstein liegen die meisten Datensätze vor (Anzahl n=80). Für die übrigen, mit nur geringer Anzahl an Datensätzen (n<12) belegten Einheiten haben die abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten eher einen orientierenden Charakter.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die ermittelten Werte in guter Übereinstimmung sind mit Ergebnissen, die für diese hydrogeologischen Einheiten in angrenzenden Gebieten abgeschätzt wurden und in der Literatur angegeben sind (vgl. BITZER 2013a).

Die Abbildung 5.1 zeigt die Median- und Mittelwerte der mit der Methode von LOGAN (1964) abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten für die einzelnen hydrogeologischen Einheiten bzw. Untereinheiten im Vergleich.

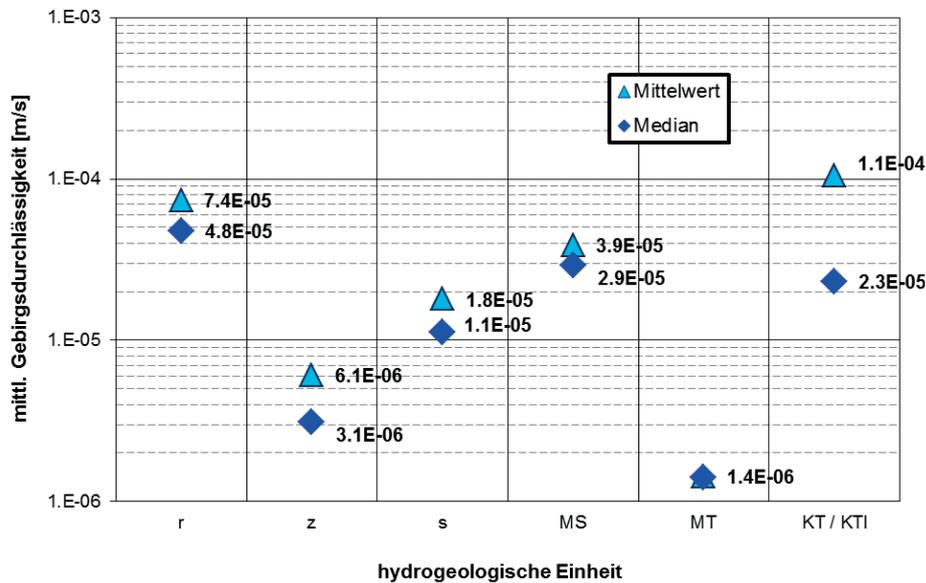


Abb. 5.1: Median- und Mittelwerte der abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten.

Nachfolgend werden die abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten der hydrogeologischen Einheiten bzw. Untereinheiten diskutiert:

■ Rotliegend (hydrogeologische Einheit r)

Die abgeschätzte mittlere Gebirgsdurchlässigkeit von etwa 5 bis 7×10^{-5} m/s ist vergleichsweise hoch und entspricht nicht den in der Mehrzahl bei Erschließungsversuchen gesammelten Erfahrungen. Die ausgewerteten Aufschlusspunkte liegen fast ausschließlich in den durch besondere fazielle und strukturelle Gegebenheiten zur Grundwassererschließung begünstigten Bereichen des Untersuchungsgebietes: Im Nordwesten sind dies die Quarzitkonglomerate der Wadern-Formation sowie Störungen, die den westlichen Rand des Mainzer Beckens bilden. Ebenso besteht aufgrund der Rheingrabenhauptstörung im Südosten eine intensive Klüftung des Gebirges. Die hier abgeschätzte mittlere Gebirgsdurchlässigkeit gilt nur für die ausgewerteten, in der genannten Weise beeinflussten Standorte. In den tektonisch weitgehend ungestörten und in der Standenbühl-Fazies ausgebildeten Bereichen sind mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten in der Größenordnung von $<10^{-7}$ m/s zu erwarten.

■ Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z)

Der abgeschätzte Wertebereich der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit von 3 bis 6×10^{-6} m/s beschränkt sich in seiner Gültigkeit auf den südlichen und westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Die Werte liegen um bis zu zwei Größenordnungen unter dem in der Literatur angegebenen Bereich. Insbesondere im westlichen Untersuchungsgebiet ist der Zechstein von seiner primären faziellen Ausbildung (Sortierung, Komponentenrundung) als im Vergleich geringer durchlässig einzuschätzen als in den südwestlich anschließenden Gebieten (vgl. LGB & Lfw 2004). Von erheblichem Einfluss auf die Durchlässigkeit sind der Grad der Verfestigung und die Klüftigkeit der Gesteine.

Für den zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes wird die Größenordnung der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit im Bereich von 10^{-6} m/s als plausibel angesehen.

■ Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s)

Für den Buntsandstein wurde eine mittlere Gebirgsdurchlässigkeit von ca. 1 bis 2×10^{-5} m/s abgeschätzt (Mittelwert und Median). Die angegebene Größenordnung ist in guter Übereinstimmung mit den Auswertungsergebnissen hydrogeologischer Kartierungen anderer benachbarter, aber auch weiter entfernter Buntsandsteinverbreitungsgebiete in Rheinland-Pfalz (vgl. LGB & LuWG 2010 und LGB & LFW 2004).

■ Mergeltertär (hydrogeologische Einheit MT)

Die für das Mergeltertär nur im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes abgeschätzte mittlere Durchlässigkeit liegt im Bereich der für das nördliche Mainzer Becken bekannten Literaturwerte.

Für das feinklastische Mergeltertär wird die mittlere Gebirgsdurchlässigkeit in der Größenordnung $\leq 10^{-6}$ m/s als repräsentativ betrachtet.

■ Meeressande (hydrogeologische Einheit MS)

Die tertiären Meeressande, die die gröberklastische Randfazies der als Mergeltertär zusammengefassten Schichtenfolge darstellen und deren Vorkommen im Wesentlichen auf den westlichen Rand des Mainzer Beckens und Oberrheingrabens konzentriert ist, sind vor allem im Bereich Kirchheimbollen erschlossen worden.

Es wurde eine mittlere Gebirgsdurchlässigkeit von ca. 3 bis 4×10^{-5} m/s abgeschätzt.

■ Kalktertär, auch im Bereich der Randscholle (hydrogeologische Einheiten KT und KTL)

Die für das Kalktertär ermittelten Werte weisen eine erhebliche Streuung auf. Entsprechend groß ist der Unterschied zwischen Mittelwert ($1,1 \times 10^{-4}$ m/s) und Median ($2,3 \times 10^{-5}$ m/s). Untersuchungen von KRAUTHAUSEN & JENTSCH (2007) zeigen für den Bereich Kallstadt (Rheingrabenrandscholle; hier hydrogeologische Einheit KTL) die Abnahme der Durchlässigkeiten mit der Tiefe von ca. 3×10^{-5} m/s auf etwa 2×10^{-7} m/s (untersuchte Tiefenintervalle: 26 bis 43 m uGOK und 52 bis 85 m uGOK).

Im Tiefenbereich bis etwa 50 m werden mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten in der Größenordnung von etwa 10^{-5} m/s als repräsentativ für die hydrogeologischen Einheiten KT und KTL angesehen.

5.2 Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten im Buntsandstein

Die große Anzahl an Datensätzen für den Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s) in Verbindung mit den unterschiedlichen Erschließungstiefen erlaubt im Weiteren eine differenzierte Betrachtung der räumlichen Durchlässigkeitsverteilung. Eine Unterscheidung mittlerer Gebirgsdurchlässigkeiten nach den einzelnen Schichtfolgen des Buntsandsteins war nicht möglich. Zum einen ist bei etwa einem Drittel der Bohrungen im Buntsandstein keine sichere stratigrafische Gliederung und Zuordnung der Schichten möglich. Zum anderen erfolgte die Grundwassererschließung bei der Mehrzahl der Bohrungen und Brunnen mit stratigrafisch gliederbaren Buntsandsteinabfolgen über mehrere stratigrafische Einheiten hinweg. Die überwiegende Anzahl der verfügbaren Datensätze stammt von Bohrungen und Brunnen, die die Trifels- und Rehberg-Schichten des Unteren Buntsandsteins erschließen; in wenigen Fällen zusammen mit dem Zechstein.

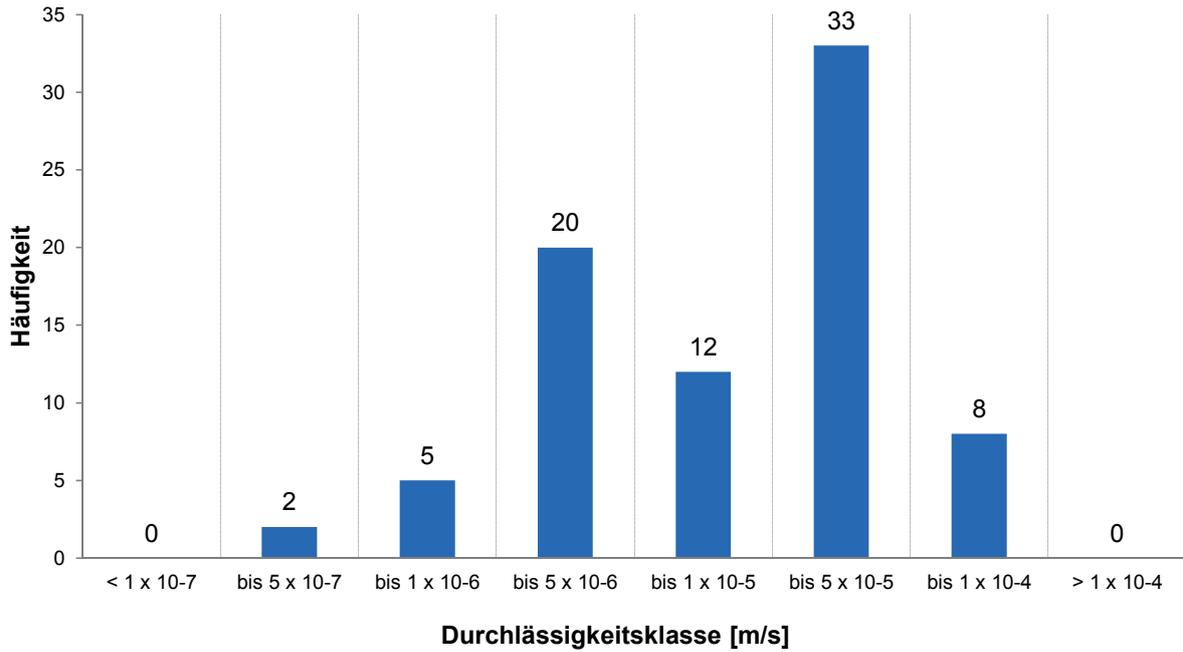


Abb. 5.2: Häufigkeitsverteilung der abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten für den Buntsandstein (Klassenbreite: eine halbe Größenordnung; Stichprobengröße n=80).

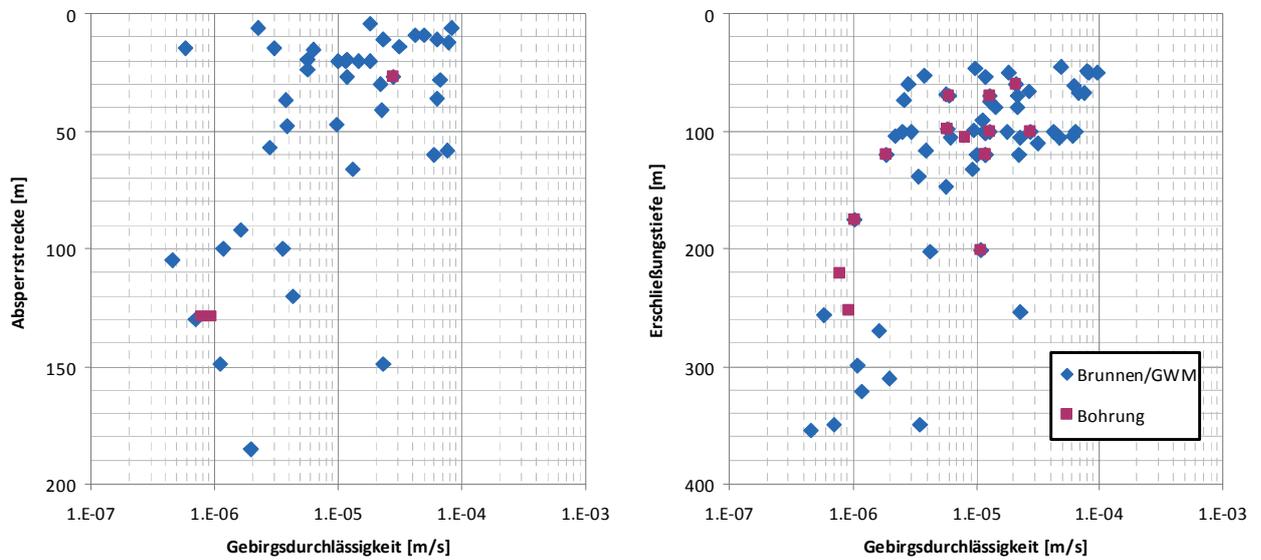


Abb. 5.3: Darstellung der ermittelten Gebirgsdurchlässigkeit versus Länge der Absperrestrecke ab Geländeoberkante bzw. versus Erschließungstiefe (Sohniveau) der Grundwasseraufschlüsse.

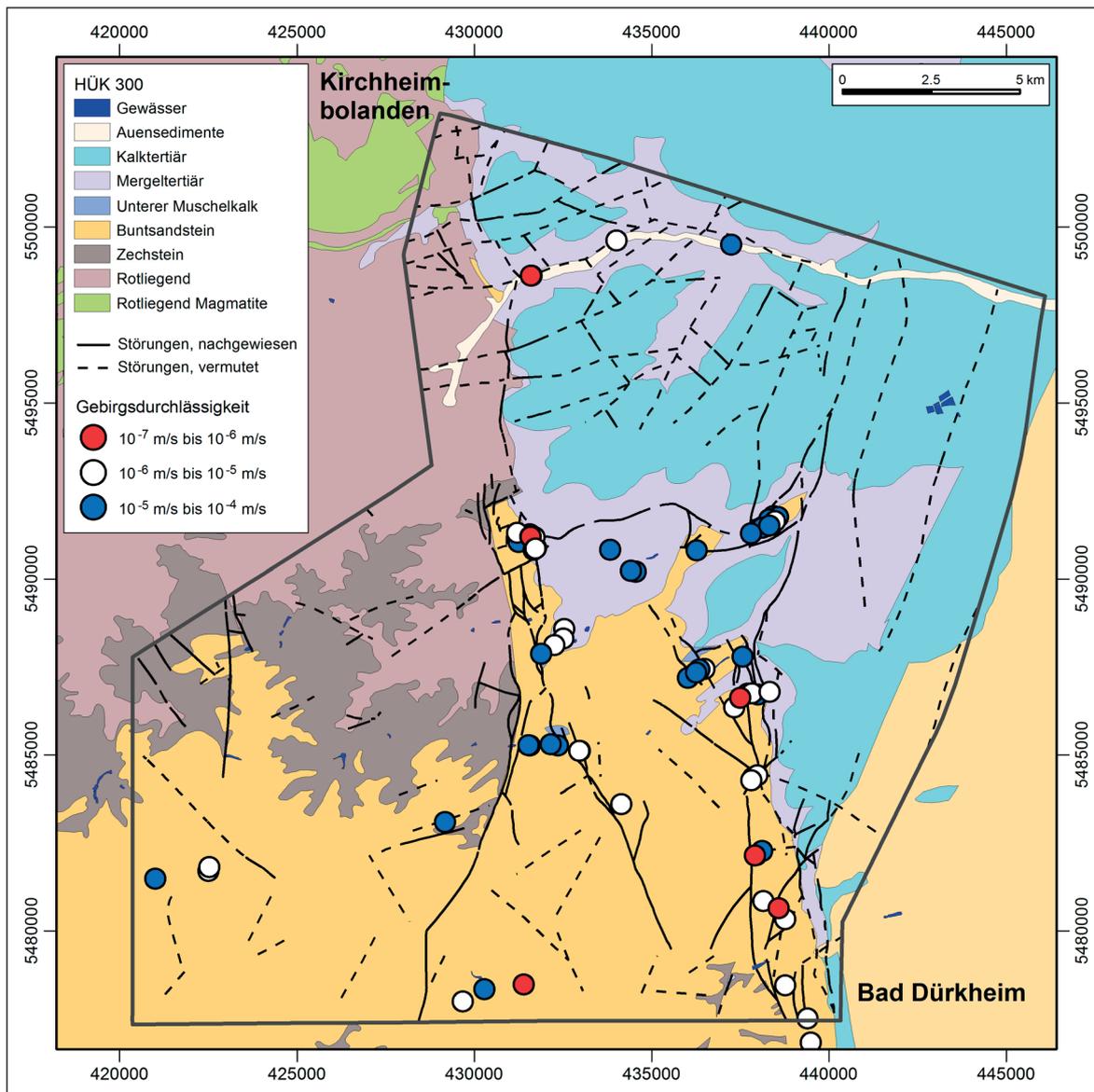


Abb. 5.4: Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten im Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s); abgeschätzt nach dem Verfahren von LOGAN (1964). Hintergrund: Hydrogeologische Übersichtskarte HÜK300 (LGB 2009).

Die Abbildung 5.2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der nach der Methode von LOGAN (1964) abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten bei einer Klassenbreite von einer halben Größenordnung.

Der Wertebereich erstreckt sich von 1×10^{-7} m/s bis 1×10^{-4} m/s. Die sich andeutende bimodale Verteilung ergibt sich als Folge der gewählten Intervallgrenzen. Das Häufigkeitsmaximum liegt in der Durchlässigkeitsklasse 1 bis 5×10^{-5} m/s.

Das Ergebnis entspricht dem für den Raum Kaiserslautern ermittelten Häufigkeitsmaximum der mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten im Buntsandstein (vgl. LGB & LFW 2004).

Die Abbildung 5.3 zeigt die abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten in Abhängigkeit von der Länge der Absperrstrecken der Grundwasseraufschlüsse bzw. im Vergleich zu den Erschließungstiefen. Der Vergleich der mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten mit der Länge der Absperrstrecken lässt erkennen, dass bereits unterhalb etwa 70 m unter Geländeoberkante geringere mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten bestehen. Weiterhin wird deutlich, dass bei Erschließungstiefen bis etwa 120 m die mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten im Bereich von 1×10^{-5} m/s liegen. Bei Erschließungstiefen größer 120 m sind die mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten mit etwa 1×10^{-6} m/s um etwa eine Größenordnung geringer. In der Tiefendifferenzierung der Gebirgsdurchlässigkeiten spiegelt sich möglicherweise der Einfluss der tertiären Verwitterung wider, die sich in der Ausbildung der sog. Auflockerungs- und Verwitterungszone niederschlägt.

Die Verteilung der abgeschätzten mittleren Gebirgsdurchlässigkeiten in der Fläche (Abb. 5.4) deutet eine Häufung höherer Werte im Bereich etwa zwischen Eckbach und Eisbach an (vgl. BITZER 2013a).

5.3 Speicherkoeffizienten im Buntsandstein

Die im Bohrarchiv des LGB verfügbaren Pumpversuchsdokumentationen wurden auf die Nutzbarkeit zur rechnerischen Abschätzung der Speicherkoeffizienten geprüft.

Hierfür standen auswertbare Pumpversuche von 17 Messpunkten im Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s) aus den Jahren 1960 bis 1980 zur Verfügung. Die Messwerte wurden im Wesentlichen direkt an den Entnahme- bzw. Förderstellen aufgenommen. Die Beobachtung von Grundwasserständen in benachbarten Grundwasseraufschlüssen (Messstellen oder Brunnen) erfolgte nur in Ausnahmefällen.

Weiterhin bestand nicht für alle Messpunkte Kenntnis über den tatsächlichen Ausbau der getesteten Grundwasseraufschlüsse. Dies betraf unter anderem die Länge der Absperrstrecken, wodurch z. B. Unsicherheiten bei der Abschätzung der lokalen Spannungsverhältnisse des Grundwassers resultieren. Die Pumpversuche wurden meist mehrstufig durchgeführt.

Für die Abschätzung der Speicherkoeffizienten wurden die Methoden nach THEIS (1935) und DRISCOLL (1986) in Betracht gezogen. Vergleichend wurde auch eine Abschätzung nach der Methode von LOHMAN (1972) vorgenommen.

Die Abschätzung nach THEIS (1935) erfolgte durch die Nutzung der Brunnenfunktion im Zuge der Pumpversuchsauswertung. Über die in THEIS (1935) beschriebenen idealisierten Annahmen hinaus musste weiterhin angenommen werden, dass die in den Brunnen gemessenen Wasserstände als die sich im unmittelbaren Nahbereich des Brunnens (1 m Abstand) einstellenden Grundwasserstände anzusehen waren. Um den aus dieser Vereinfachung resultierenden Fehler gering zu halten, wurden nur Pumpversuche herangezogen, bei denen die Brunnenverluste als gering anzunehmen waren. Die rechnerische Auswertung erfolgte mit dem Programm HydroTec 4.5.0.4 der Geologik Software GmbH. Das Programm errechnet halbautomatisiert Ergebnisse der Pumpversuchsauswertung, die einer entsprechenden Überprüfung bedürfen. Aufgrund meist ungünstiger zeitlich-räumlicher Verteilung der Datenpunkte war die Anpassung oftmals nur an einem Ast der Typkurve möglich. Dies hat entsprechend hohe Unsicherheiten bei der Bestimmung der Speicherkoeffizienten zur Folge.

Bei dem Verfahren nach DRISCOLL (1986) ist als zusätzliche Randbedingung von einem vollkommenen Förderbrunnen auszugehen.

Ergänzend wurden auch von Ingenieurbüros im Rahmen eigener Pumpversuchsauswertungen ermittelte Speicherkoeffizienten berücksichtigt.

Die nach der Methode von LOHMAN (1972) ermittelten Speicherkoeffizienten liegen im Bereich von etwa 1×10^{-4} bis 1×10^{-3} .

Die mit dem Verfahren nach THEIS (1935) ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte wurden zunächst den mit dem Verfahren nach LOGAN (1964) abgeschätzten Werten gegenüber gestellt. Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte liegen jeweils in einem plausiblen Größenordnungsbereich, differieren jedoch mitunter bis um den Faktor 10. Die ermittelten Speicherkoeffizienten weisen eine erhebliche Streuung auf und liegen im Bereich von etwa 1×10^{-5} bis 1×10^{-1} .

Eine ähnlich weite Streuung weisen auch die im Rahmen von Untersuchungen Dritter ermittelten Speicherkoeffizienten auf. Der Wertebereich erstreckt sich von etwa 1×10^{-7} bis 2×10^{-1} (Abb. 5.5).

Die Auswertung nach der Methode von DRISCOLL (1986) führte zu keinen plausiblen Ergebnissen.

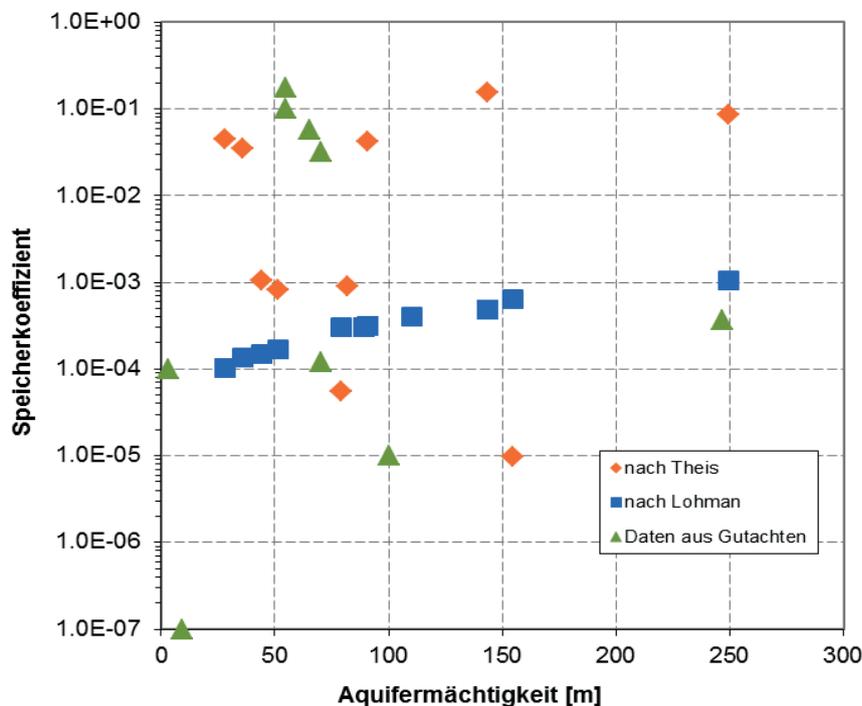


Abb. 5.5: Speicherkoeffizienten, ermittelt für den Buntsandstein. Abschätzungen nach den Methoden von LOHMAN (1972) und THEIS (1935). Daten aus Gutachten stammen von: VOUTTA (2011a, 2011b, 2012), KRAUTHAUSEN & JENTSCH (2006) sowie WEICKSEL & RODE (1998).

6 GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT UND GRUNDWASSERALTER

Zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit der hydrogeologischen Einheiten wurde im Zeitraum September 2012 bis April 2013 vom LGB eine Beprobungskampagne durchgeführt. Die Analytik wurde im LGB-eigenen Labor durchgeführt.

Die Analysenergebnisse wurden weiterhin ergänzt durch Daten des LUWG, die im Rahmen der Überwachung des Rohwassers zur Trinkwasserversorgung und der Landesmessstellen erhoben werden. Die Abbildung 6.1 gibt einen Überblick über die Lage der zur Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit genutzten Messpunkte.

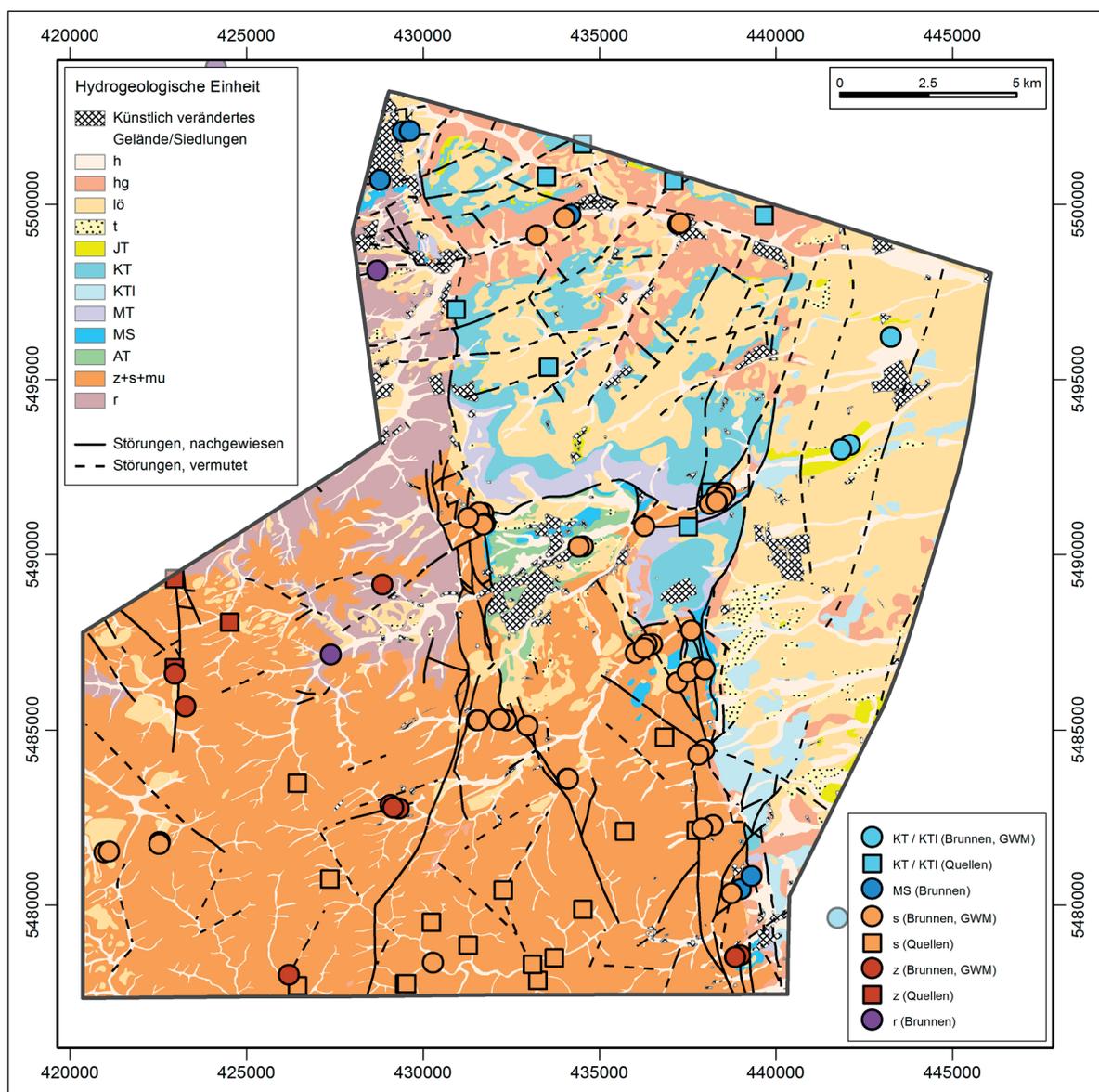


Abb. 6.1: Lage der beprobten Grundwasseraufschlüsse und hydrogeologische Einheiten.

Die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit ist nur für fünf der zwölf unterschiedenen hydrogeologischen Einheiten möglich.

Für die vier quartären Einheiten (t, lö, hg und h) sowie für die sehr gering durchlässigen tertiären Einheiten AT, MT und JT bestanden keine nutzbaren Grundwasseraufschlüsse.

Aufgrund der wenigen Aufschlusspunkte ($n=2$) in der Einheit KTL wurden die lithologisch ähnlichen und stratigrafisch vergleichbaren Einheiten KT und KTL bei der Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit zusammengefasst (KT/KTL).

Die hohe Anzahl der Aufschlusspunkte im Buntsandstein und Zechstein (hydrogeologische Einheit z+s+mu) ermöglichte hingegen eine differenzierte Betrachtung für die Untereinheiten z und s.

Aufschlusspunkte im Muschelkalk (hydrogeologische Untereinheit mu) lagen nicht vor.

Für die Beschreibung der hydrogeologischen Einheiten r und KT/KTL wurden auch außerhalb des Untersuchungsgebietes liegende Punkte berücksichtigt (s. a. Abb. 6.1).

6.1 Hydrochemische Charakterisierung der Grundwässer nach hydrogeologischen Einheiten

Die Grundwässer der hydrogeologischen Einheiten (bzw. einiger Untereinheiten) werden nach der Klassifikation von FURTAK & LANGUTH (1967) charakterisiert und unter Nutzung statistischer Kennwerte für die Hauptinhaltsstoffe sowie für pH und elektrische Leitfähigkeit beschrieben (Tabellen 6.1 und 6.2). Die Tabelle 6.2 enthält hierzu die Angaben der Perzentile.

In der Abbildung 6.2 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit den Grundwassertypen nach FURTAK & LANGUTH (1967) zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte differenziert nach oberflächennahen Grundwässern (Quellen) und tieferen Grundwässern (Tiefenbereich von wenigen 10er Metern bis einige hundert Metern Tiefe; Brunnen/GWM).

Es handelt sich in der Mehrzahl um erdalkalische, überwiegend hydrogenkarbonatische bis hydrogenkarbonatisch-sulfatische Grundwässer. Untergeordnet fallen darstellende Punkte für Grundwässer aus dem Buntsandstein auch in die Felder erdalkalischer Wässer mit höherem Alkaligehalt (Abb. 6.2).

Die Abbildung 6.2 lässt erkennen, dass eine scharfe Abgrenzung der Grundwässer unterschiedlicher hydrogeologischer Einheiten bzw. Untereinheiten nicht möglich ist. Dennoch lassen sich mitunter die Schwerpunkte von Punktwolken, die einer entsprechenden Einheit zugehörig sind in ihrer Lage voneinander unterscheiden. Dies ist insbesondere im ternären Diagramm für die Kationen möglich. Eingeschränkt scheint dies auch für das ternäre Diagramm der Anionen gegeben. Allerdings streuen dort die Punkte für den Buntsandstein über die gesamte Bandbreite, wodurch die Festlegung eines Schwerpunktes dieser Punktwolke mit entsprechender Unsicherheit belegt ist. Die weite Streuung beim Buntsandstein wird sowohl als Folge der geologischen Nachbarschaftsbeziehungen (Beeinflussung durch überlagernde oder angrenzende hydrogeologische Einheit), als auch als Folge der hohen Empfindlichkeit der in der Regel gering mineralisierten und durch die Grundwasserüberdeckung nur gering geschützten Grundwässer des Buntsandsteins interpretiert.

Tab. 6.1: Statistische Kennwerte für die Hauptinhaltsstoffe, den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit.

Hydrogeologische Einheit	Hydrogeologische Untereinheit	KT/ KTI		MS	z + s + mu				r
		Quellen	Brunnen, GWM	Brunnen	s		z		Brunnen
Fassungsart		Quellen	Brunnen, GWM	Brunnen	Quellen	Brunnen, GWM	Quellen	Brunnen, GWM	Brunnen
Anzahl Messpunkte		8	4	7	16	47	3	9	5
Calcium [mg/l]	Min.	82	106	83	8	12	15	14	56
	Mittelwert	103	128	106	15	44	35	34	73
	Max.	148	140	154	28	104	63	85	94
Kalium [mg/l]	Min.	0.02	2	2	2	2	2	3	3
	Mittelwert	1	7	4	4	4	3	4	9
	Max.	3	14	6	6	16	4	8	29
Magnesium [mg/l]	Min.	15	29	12	2	1	7	4	29
	Mittelwert	33	33	30	5	10	10	11	32
	Max.	46	36	48	10	31	15	24	36
Natrium [mg/l]	Min.	5	12	6	3	3	5	2	9
	Mittelwert	9	41	15	6	11	13	11	13
	Max.	21	114	23	23	41	25	34	20
Chlorid [mg/l]	Min.	52	23	7	5	4	9	2	10
	Mittelwert	71	104	43	13	21	37	29	27
	Max.	99	264	91	51	80	68	92	43
Hydrogenkarbonat [mg/l]	Min.	214	311	154	6	15	3	33	331
	Mittelwert	264	364	239	17	138	48	93	339
	Max.	329	418	312	45	313	128	237	348
Nitrat [mg/l]	Min.	37	0	0	1	0	8	1	1
	Mittelwert	69	5	22	6	14	26	19	11
	Max.	95	18	112	14	49	59	68	35
Sulfat [mg/l]	Min.	20	94	107	8	1	34	1	16
	Mittelwert	40	101	141	41	29	48	30	27
	Max.	100	109	244	92	105	56	106	36
pH	Min.	7.1	7.2	5.7	5.0	5.1	5.9	5.9	6.3
	Mittelwert	7.4	7.2	6.5	6.0	6.5	6.2	6.8	7.1
	Max.	7.8	7.3	7.4	7.2	7.3	7.1	8.0	7.4
el. Leitfähigkeit [µS/cm]	Min.	610	830	552	93	100	137	137	486
	Mittelwert	788	1051	781	181	379	333	348	619
	Max.	1080	1369	1040	300	890	440	851	788

Tab. 6.2: Perzentile (Hauptinhaltsstoffe, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit).

Hydrogeologische Einheit	KT / KTI		MS	z + s + mu				r	
Hydrogeologische Untereinheit				s		z			
Fassungsart	Quellen	Brunnen, GWM	Brunnen	Quellen	Brunnen, GWM	Quellen	Brunnen, GWM	Brunnen	
Anzahl Messpunkte	8	4	7	16	47	3	9	5	
Calcium [mg/l]	5%	82.2	109.8	83.4	10.1	13.3	16.2	14.9	57.7
	25%	83.8	124.9	88.7	12.8	25.0	21.0	20.4	65.3
	Median	102.5	133.9	103.3	13.7	42.6	27.0	23.8	66.8
	75%	109.0	137.5	111.9	16.0	57.4	45.0	34.4	82.7
	95%	135.5	139.5	141.4	27.2	87.4	59.4	77.7	91.4
Kalium [mg/l]	5%	0.4	2.6	2.1	2.6	1.9	1.7	2.7	2.6
	25%	1.0	4.8	3.6	3.1	2.4	2.6	2.9	3.1
	Median	1.3	5.8	4.0	4.2	3.1	3.7	3.0	3.6
	75%	1.8	7.9	4.9	4.7	5.6	4.0	6.7	4.9
	95%	2.8	12.5	5.4	5.7	11.9	4.2	7.8	24.5
Magnesium [mg/l]	5%	17.7	29.5	15.8	1.7	1.8	7.1	4.3	29.5
	25%	30.6	29.9	25.4	3.5	3.9	7.3	6.8	30.0
	Median	33.5	32.8	26.8	4.5	8.9	7.6	7.7	30.9
	75%	39.0	35.7	36.4	6.2	15.0	11.3	12.7	31.8
	95%	44.6	35.9	46.4	9.8	21.6	14.3	23.1	34.8
Natrium [mg/l]	5%	5.3	12.7	8.0	3.4	3.4	5.2	2.4	8.8
	25%	6.6	14.3	13.4	3.9	5.0	6.5	4.9	9.8
	Median	7.5	18.6	15.2	4.3	7.5	8.0	6.4	12.9
	75%	9.0	45.2	17.7	6.2	12.2	16.5	7.6	14.2
	95%	16.9	100.2	21.7	15.9	31.1	23.3	32.2	18.7
Chlorid [mg/l]	5%	53.4	28.8	6.8	5.7	4.3	11.6	7.5	10.8
	25%	57.5	50.7	22.4	6.2	8.4	22.0	16.7	12.7
	Median	71.0	63.9	41.2	7.0	15.1	35.0	17.0	32.6
	75%	80.7	117.0	57.0	13.3	25.9	51.5	26.0	36.3
	95%	93.8	234.6	81.3	39.0	53.4	64.7	79.1	41.5
Hydrogenkarbonat [mg/l]	5%	216.9	312.7	156.2	6.1	35.2	4.0	34.2	331.8
	25%	233.9	319.3	168.1	8.4	58.0	7.6	42.1	336.7
	Median	259.3	364.2	270.2	12.2	98.8	12.2	76.9	337.3
	75%	288.2	409.2	300.1	17.8	212.0	70.2	123.8	343.4
	95%	323.0	416.1	308.6	43.2	286.0	116.5	191.9	346.8
Nitrat [mg/l]	5%	38.1	0.1	0.1	1.3	0.1	8.4	3.2	0.5
	25%	41.6	0.2	0.1	3.0	4.6	9.0	9.6	0.5
	Median	76.3	0.2	0.1	4.5	11.8	9.6	15.0	2.6
	75%	89.9	4.7	20.6	8.3	23.3	34.1	17.9	18.1
	95%	94.6	15.3	90.7	13.6	34.2	53.7	48.4	31.8
Sulfat [mg/l]	5%	20.4	93.9	107.2	8.6	2.7	36.3	3.5	16.2
	25%	27.4	94.3	108.8	19.1	9.0	44.5	9.2	17.0
	Median	31.4	101.4	135.4	32.7	23.2	54.7	19.3	32.0
	75%	44.0	108.6	140.4	57.1	36.4	55.3	43.0	35.0
	95%	81.0	108.9	213.0	89.7	78.8	55.8	82.5	35.8
pH	5%	7.1	7.2	5.7	5.1	6.0	5.2	6.0	6.5
	25%	7.3	7.2	6.2	5.4	6.3	5.8	6.2	7.2
	Median	7.4	7.2	6.6	5.9	6.5	6.5	6.8	7.3
	75%	7.6	7.2	6.7	6.5	6.8	6.8	7.2	7.3
	95%	7.7	7.3	7.2	7.1	7.1	7.0	7.7	7.3
el. Leitfähigkeit [µS/cm]	5%	640	851	595	98	122	200	146	491
	25%	699	936	715	137	214	280	226	509
	Median	750	1002	748	167	370	380	246	593
	75%	824	1117	848	216	517	410	310	721
	95%	1028	1319	996	293	670	434	792	775

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)*Normal erdalkalische Wässer*

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische (Unter-)Einheit

- KT / KTI (Quellen)
- KT / KTI (Brunnen, GWM)
- MS (Brunnen)
- s (Quellen)
- s (Brunnen, GWM)
- z (Quellen)
- z (Brunnen, GWM)
- r (Brunnen)

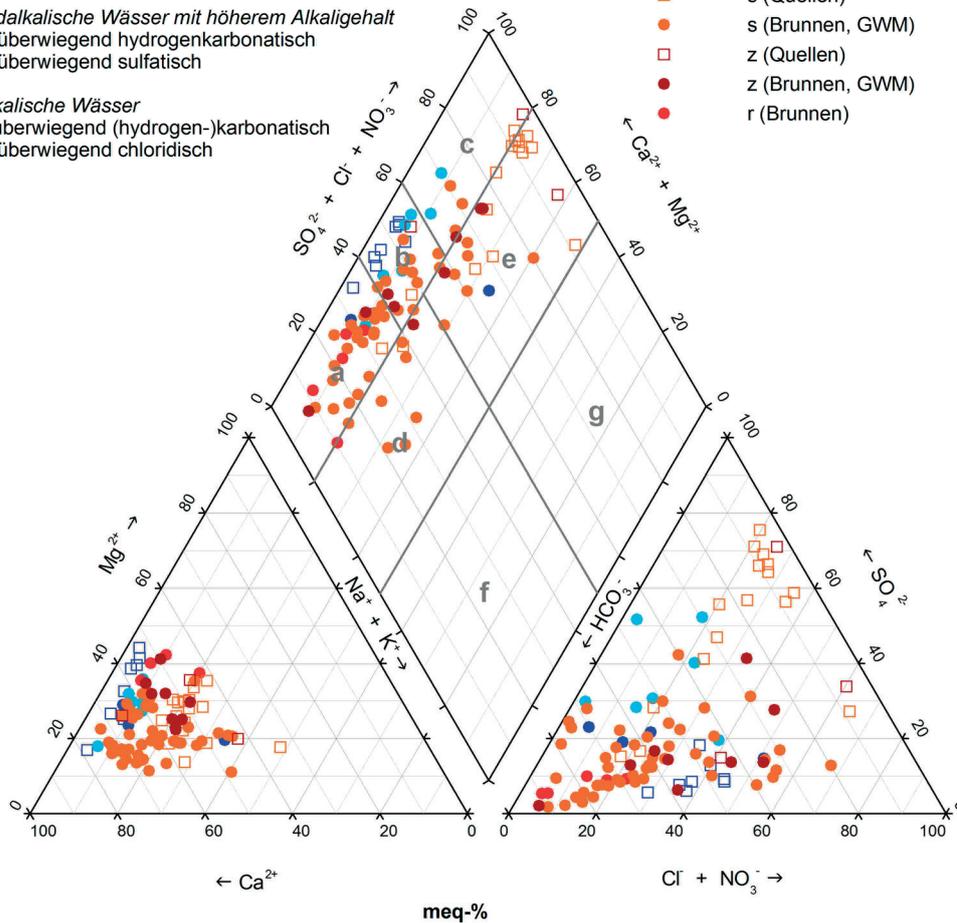


Abb. 6.2: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer im PIPER-Diagramm; gegliedert nach Zugehörigkeit zu den hydrogeologischen Einheiten.

6.1.1 Rotliegend (r)

Die Grundwässer des Rotliegend sind nach der Darstellung im PIPER-Diagramm als im Wesentlichen normal erdalkalisch, vor allem überwiegend hydrogenkarbonatisch zu bezeichnen (Abb. 6.3).

Die untersuchten Wässer zeichnen sich durch hohe Übereinstimmung in den jeweiligen Kationen- und Anionenanteilen aus.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)

Normal erdalkalische Wässer

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische Einheit

- r (Brunnen)

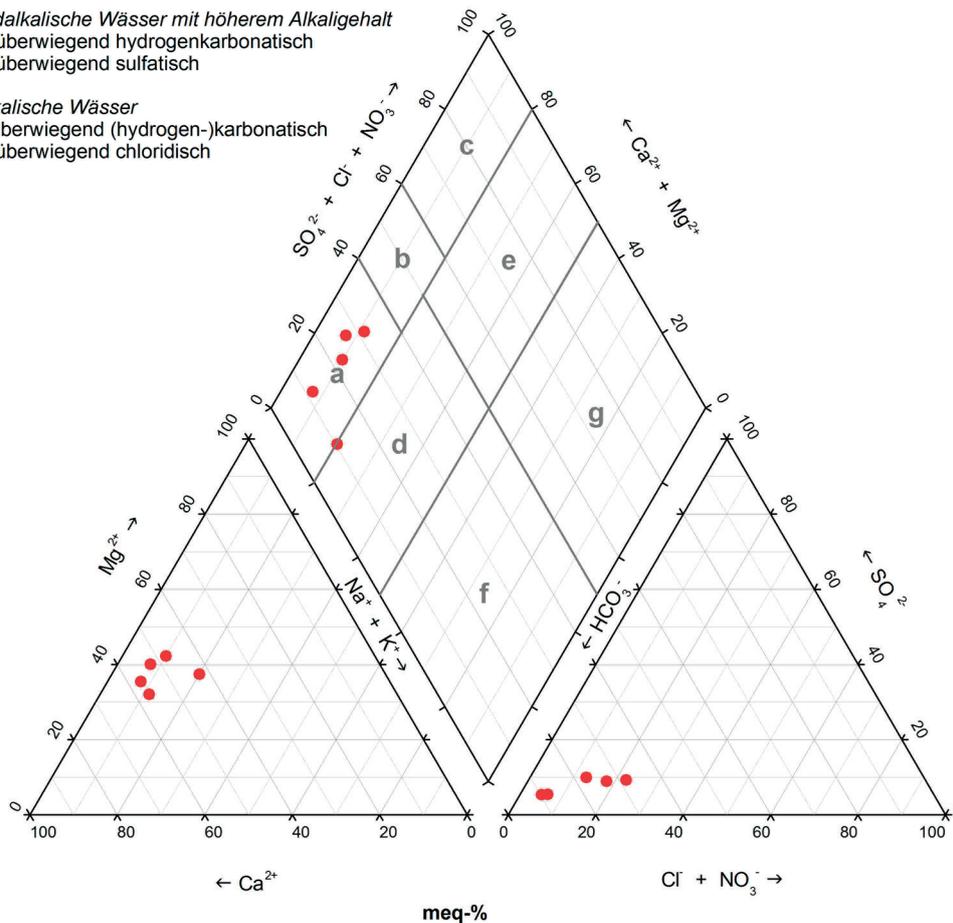


Abb. 6.3: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Einheit r im PIPER-Diagramm.

6.1.2 Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk (z+s+mu)

Für die hydrogeologische Einheit ist eine differenzierte Betrachtung für die Untereinheiten z und s möglich.

6.2.1.1 Zechstein (hydrogeologische Untereinheit z)

Die Grundwässer des Zechsteins weisen deutliche Variationen in den Anteilen der Anionen auf. Die darstellenden Punkte im PIPER-Diagramm fallen in die Felder normal erdalkalisch, vor allem überwiegend hydrogenkarbonatisch, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch sowie ebenfalls überwiegend sulfatisch.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)

Normal erdalkalische Wässer
 a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
 b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
 c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt
 d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
 e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer
 f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
 g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische Untereinheit

□ z (Quellen)
 ● z (Brunnen, GWM)

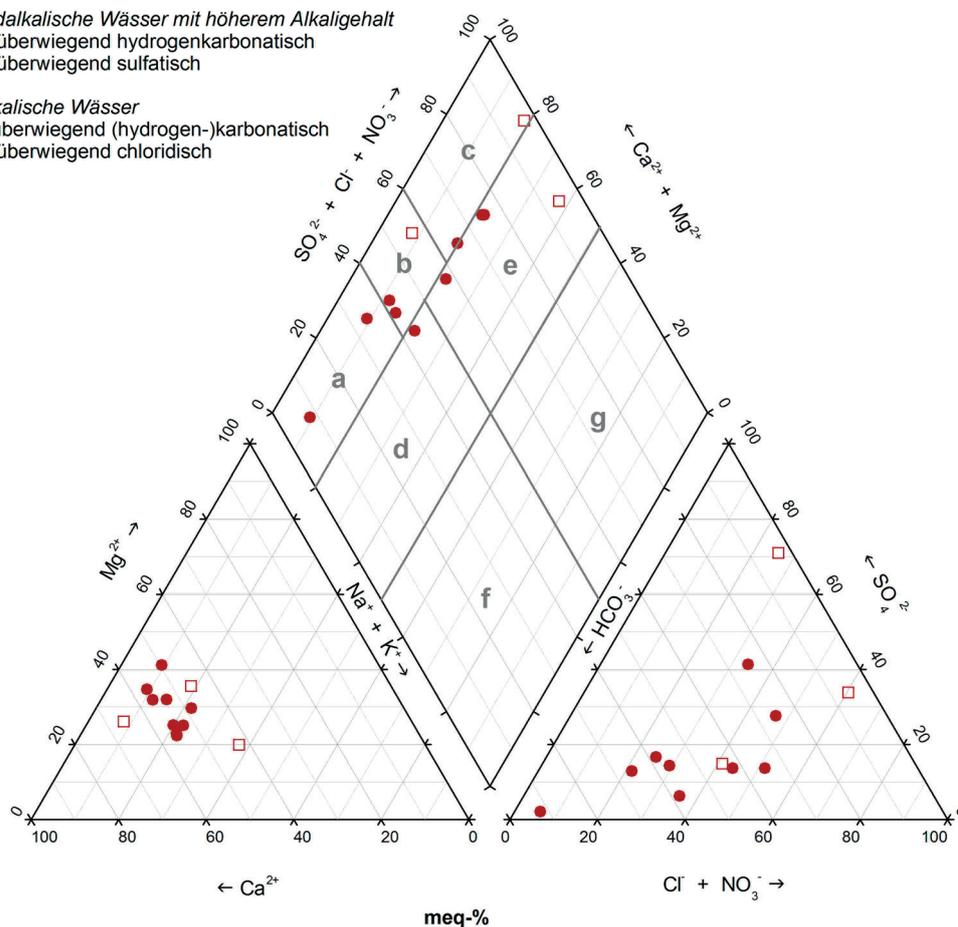


Abb. 6.4: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Untereinheit z im PIPER-Diagramm.

Ebenfalls liegen einige Punkte in den Feldern erdalkalischer Wässer mit höherem Alkaligehalt, insbesondere überwiegend hydrogenkarbonatischen sowie überwiegend sulfatischen Charakters (Abb. 6.4).

Variationen weisen bei den Anionen die Gehalte an Hydrogencarbonat auf (5 bis 95 % meq). Aber auch bei den Anteilen an Sulfat sowie Chlorid und Nitrat besteht ein weites Wertespektrum.

Bei den Kationen hingegen fällt eine weitgehend einheitliche Zusammensetzung auf. Es besteht eine Überschneidung mit den Darstellungsbereichen für die darstellenden Punkte des Rotliegend sowie des Buntsandsteins.

6.2.1.2 Buntsandstein (hydrogeologische Untereinheit s)

Die Grundwässer des Buntsandsteins sind nach der Klassifikation von FURTAK & LANGUTH (1967) als im Wesentlichen normal erdalkalisch, vor allem überwiegend hydrogenkarbonatisch, aber auch überwiegend hydrogenkarbonatisch-sulfatisch bis überwiegend sulfatisch zu bezeichnen (Abb. 6.5).

Einige Proben entsprechen erdalkalischen Wässern mit höherem Alkaligehalt, insbesondere mit überwiegend hydrogenkarbonatischem sowie überwiegend sulfatischem Charakter. Dies betrifft vor allem die Grundwasserbeschaffenheit von Quellen.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)

Normal erdalkalische Wässer

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische Untereinheit

- s (Quellen)
- s (Brunnen, GWM)

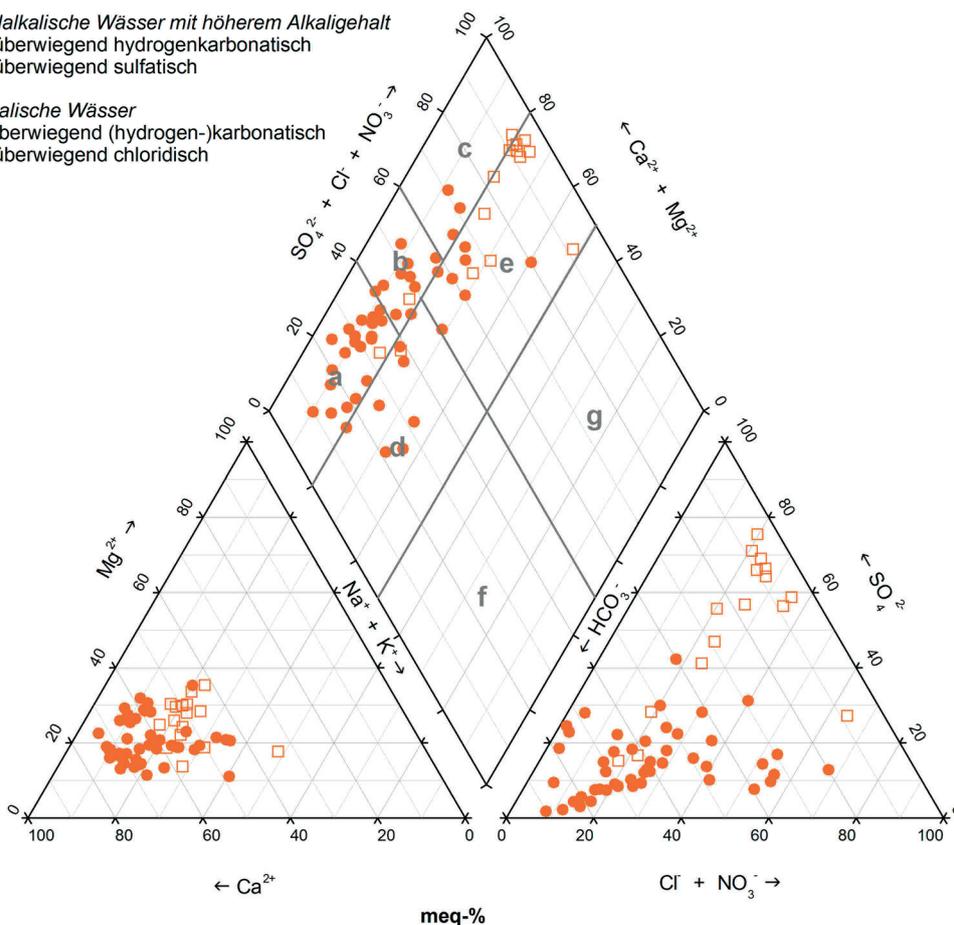


Abb. 6.5: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Untereinheit s im PIPER-Diagramm.

Bei den Anionen zeichnen sich die Quellen in der Mehrzahl durch höhere Anteile an Sulfat bei gleichzeitig relativ geringen Anteilen an Hydrogenkarbonat aus. Bei der Gruppe Brunnen/GWM variieren die Hydrogenkarbonatanteile über ein relativ weites Wertespektrum.

Die Medianwerte der elektrischen Leitfähigkeiten liegen bei 174 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Quellen) bzw. 366 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Brunnen/GWM). Sie sind damit im Vergleich zu den hydrogeologischen Einheiten KT und KTL im Hangenden relativ gering.

Der Median der pH-Werte (6,5 für Brunnen/GWM und 6,0 für Quellen) zeigt ein überwiegend schwach saures Milieu an. Das Grundwasser erfährt demnach (zunächst) nur eine schwache Pufferung des vergleichsweise sauren Niederschlagswassers durch die Grundwasserdeckschichten und den Grundwasserleiter.

Der Sauerstoffgehalt liegt bei der Gruppe Quellen bei 10,1 mg/l (Median) und ist auch bei der Gruppe Brunnen/GWM mit 7,9 mg/l bemerkenswert hoch (Median).

Bei der Gruppe Brunnen liegen die Anteile der Hauptinhaltsstoffe mit Ausnahme des Kaliums und des Sulfats über denen der Gruppe Quellen.

Der Medianwert von 12,0 mg/l Nitrat legt den Schluss nahe, dass die Brunnen und Grundwassermessstellen anteilig oberflächennahes, bereits durch die landwirtschaftliche Flächennutzung beeinflusstes Grundwasser erfassen.

6.1.3 Meeressande (MS)

Die Grundwässer der hydrogeologischen Einheit MS werden nach FURTAK & LANGUTH (1967) als normal erdalkalisch, überwiegend hydrogenkarbonatisch bis überwiegend hydrogenkarbonatisch-sulfatisch sowie überwiegend sulfatisch charakterisiert.

Hinsichtlich der Kationen besteht eine große Übereinstimmung in der anteiligen Zusammensetzung. Bei den Anionen zeigt sich hingegen eine stärkere Differenzierung.

Der Median für die elektrische Leitfähigkeit liegt bei 748 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und erreicht damit etwa den Wert der hydrogeologischen Einheit KT (750 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Der Median des pH-Werts zeigt mit 6,6 ein überwiegend schwach saures Milieu an. Das Grundwasser erfährt demnach eine schwache Pufferung des vergleichsweise sauren Niederschlagswassers durch die überlagernden und angrenzenden Schichten, die im Wesentlichen dem Kalk- und Mergeltertiär angehören. Der Wert entspricht dem pH-Wert der Grundwässer der Gruppe Brunnen/GWM der hydrogeologischen Untereinheit s (Median pH-Wert 6,5).

Die Sauerstoffgehalte sind durchweg kleiner 4 mg/l. Sie liegen meist bei ≤ 1 mg/l.

6.1.4 Kalktertiär (KT) und Kalktertiär im Bereich der Randscholle (KTL)

Nach der Klassifikation von FURTAK & LANGUTH (1967) sind die Grundwässer als überwiegend normal erdalkalisch, überwiegend hydrogenkarbonatisch-sulfatisch zu bezeichnen. Die Beschaffenheit einiger Wässer kann auch als überwiegend hydrogenkarbonatisch bezeichnet werden.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)*Normal erdalkalische Wässer*

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische Einheit

- MS (Brunnen)

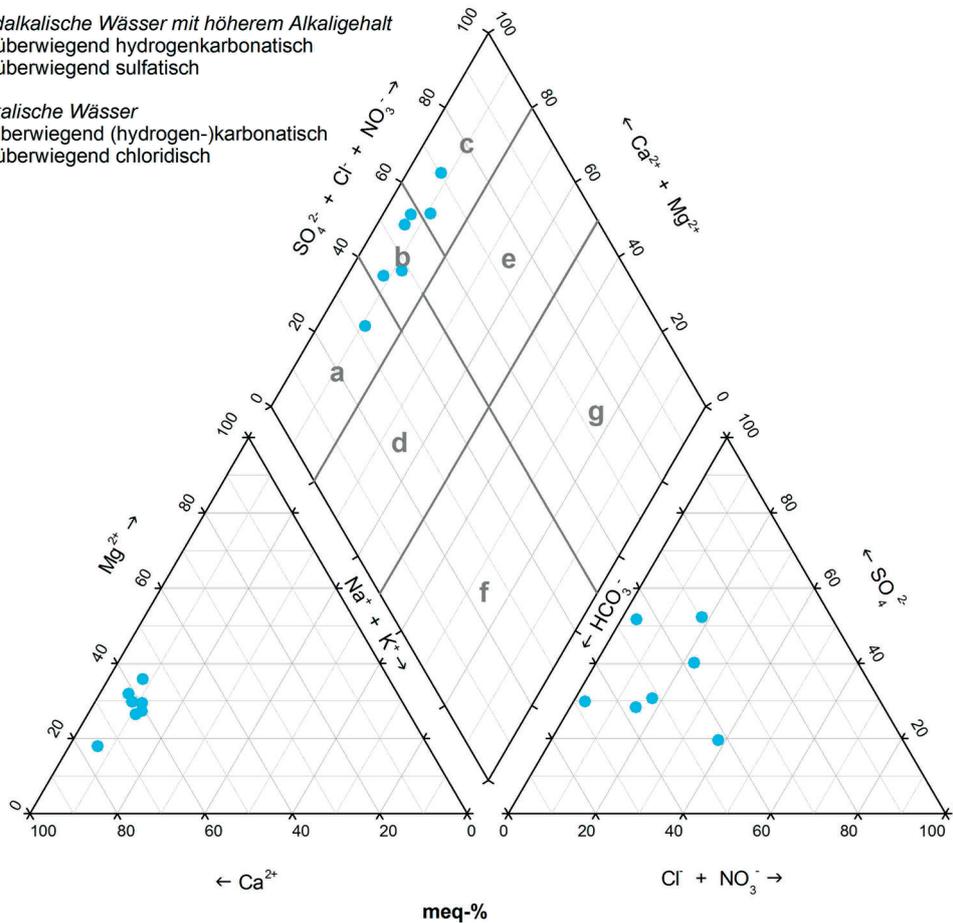


Abb. 6.6: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Einheit MS im PIPER-Diagramm.

Bei den Kationen zeichnen sich die Wässer durch wenig variierende Anteile an Alkalien aus. Unterschiede bestehen hinsichtlich der Calcium- und Magnesiumanteile.

Bei den Anionen zeigt sich eine Differenzierung zwischen den Gruppen Quellen und Brunnen/GWM. Grundwässer der Quellen weisen höhere Anteile an Chlorid und Nitrat auf.

Bemerkenswert ist das Grundwasser aus dem Brunnen „Bruch“ im Südosten, außerhalb des Untersuchungsgebietes (vgl. Abb. 6.1), das um den Faktor 3 bzw. 5 erhöhte Gehalte an Kalium bzw. Natrium im Vergleich zu den anderen Proben dieser hydrogeologischen Einheit aufweist. Bei den Anionen weist es die höchsten Chlorid- und Nitratanteile (Abb. 6.7) auf. Die Beschaffenheit ist als erdalkalisch mit höherem Alkalianteil, überwiegend sulfatisch zu beschreiben.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)*Normal erdalkalische Wässer*

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Hydrogeologische Einheit

- KT / KTI (Quellen)
- KT / KTI (Brunnen, GWM)

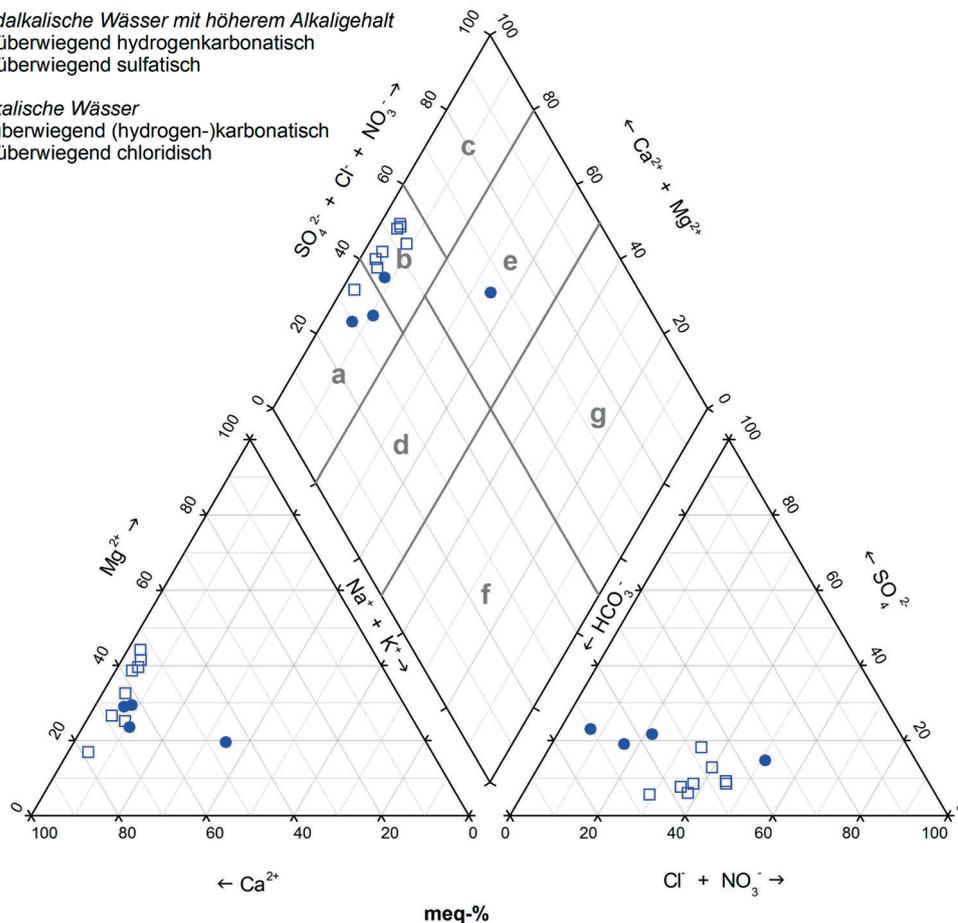


Abb. 6.7: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Einheiten KT und KTI im PIPER-Diagramm.

Die Medianwerte für die elektrische Leitfähigkeit liegen bei 1.002 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Brunnen/GWM) bzw. 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Quellen). Sie sind damit im Vergleich zu den hydrogeologischen Einheiten im Liegenden relativ hoch (Tab. 6.2).

Der Median der pH-Werte (7,2 für Brunnen/GWM und 7,4 für Quellen) zeigt ein überwiegend schwach alkalisches Milieu an. Das Grundwasser erfährt eine Pufferung des vergleichsweise sauren Niederschlagswassers durch die Grundwasserdeckschichten und den Grundwasserleiter.

Die Sauerstoffgehalte liegen bei der Gruppe Brunnen/GWM mit ≤ 1 mg/l (Median) deutlich unter denen der Quellen (6 bis 11 mg/l).

Die bei der Gruppe Brunnen/GWM im Vergleich zu Quellen etwas höhere Mineralisation des Grundwassers schlägt sich bei den Kationen in erhöhten Medianwerten der Konzentrationen für Calcium, Kalium und Natrium nieder. Die Medianwerte der Magnesiumkonzentrationen sind annähernd gleich hoch.

Bei den Anionen weist der erhöhte Medianwert für die Nitratkonzentration auf eine Beeinflussung der oberflächennahen und überwiegend jungen Grundwässer durch landwirtschaftliche Flächennutzung hin. Die Chloridkonzentrationen (Medianwerte 64 mg/l für Brunnen/GWM und 71 mg/l für Quellen) sind hingegen annähernd gleich hoch. Die Hydrogenkarbonatgehalte sind in den Grundwässern der Gruppe Brunnen/GWM deutlich höher als bei den Quellen.

Dies gilt ebenso für die Sulfatgehalte. Sie werden als Hinweis darauf angesehen, dass im Grundwasserleiter entsprechende Anteile Sulfat haltiger Minerale enthalten sind.

6.2 Altersstruktur und mittlere Verweilzeiten

Vor dem Hintergrund der in der Fläche differenzierten Grundwasserneubildung, der bestehenden Grundwasserstockwerksgliederung im zentralen und nördlichen Teilbereich des Untersuchungsgebietes und der unterschiedlich intensiven wasserwirtschaftlichen Nutzung der hydrogeologischen Einheit z+s+mu wurden Untersuchungen zur Klärung der Altersstruktur des Grundwassers in dem bis zu mehrere hundert Meter mächtigen Aquifersystems durchgeführt.

Das Untersuchungskonzept hierfür wurde vom LGB aufgestellt und mit den die Analytik durchführenden Laboratorien Dr. Oster (Wachenheim) und Hydroisotop GmbH (Schweitenkirchen) abgestimmt.

Methodisch kamen Untersuchungen auf die folgenden Parameter zum Einsatz:

- Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$)
- Kohlenstoff-13 ($\delta^{13}\text{C-DIC}$) und Kohlenstoff-14 ($^{14}\text{C-DIC}$)
- Tritium ($\delta^3\text{H}$)
- Schwefelhexafluorid (SF_6) und Fluorkohlenwasserstoffe (F11, F12 und F113)

Mit dieser Methodenkombination waren Bildungsalter einer möglichen Altwasserkomponente im Bereich von wenigen 10er tausend Jahren sowie Modellalter (kleiner 70 Jahre) und Anteile von Jungwasserkomponenten abschätzbar.

Für jeden Messpunkt wurde ein eigenes Messprogramm unter Berücksichtigung der jeweiligen Erschließungstiefe und Absperrstrecke, z.T. bereits vorliegender Ergebnisse vorausgegangener Untersuchungen (z. B. BITZER 2010a und 2010b, OBERMEYER 2010, KRAUTHAUSEN & JENTSCH 2007) und der daraus resultierenden Arbeitshypothese aufgestellt.

Untersucht wurden im Wesentlichen Grundwasseraufschlüsse in der hydrogeologischen Einheit z+s+mu. Berücksichtigt wurden darüber hinaus Grundwasseraufschlüsse in den folgenden hydrogeologischen Einheiten: KTL („Brunnen 6 Obrigheim“), MS („Grundloser Brunnen 2“) und r („Brunnen Am Gehrback“).

Die Probenahme erfolgte im Zeitraum Oktober 2012 bis März 2013 jeweils durch das LGB sowie LUWG mit Unterstützung der örtlichen Wasserversorgungsunternehmen. Die Lage der beprobten Grundwasseraufschlüsse ist in Abbildung 6.8 dargestellt.

Die Analytik und die Ableitung der Bildungs- bzw. Modellalter sowie die quantitative Abschätzung der Jung- bzw. Altwasserkomponente wurden von den beiden genannten Laboratorien vorgenommen (OSTER 2014, LORENZ & HEIDINGER 2014). Die Interpretation dieser Ergebnisse im hydrogeologisch-wasserwirtschaftlichen Kontext erfolgte durch das LGB und das LUWG.

Tab. 6.3: Ergebnisse der Grundwasseraltersbestimmungen.

GW	Wasserfassung	Absp. [m]	Tiefe [m]	Altwasser ¹⁴ C-Modellalter [a]	Jungwasseranteil ³ H/SF ₆ /FCKW	Mittl. Verweilzeit [a]	δ ¹⁸ O / δ ² H Signatur
Nord	Albisheim Br. 1	7	150	ca. 15.000 – 20.000	-		leicht
	Harxheim TB2	60	98	ca. 14.500 – 20.000	<5%		leicht
Mitte I	Kerzenheim Br. 4	21	120		35 – 60%	25 bis 40	schwer
	Eisenberg Lindental Br. 4	149	302	ca. 300	<5%		schwer
	Waldbrunnen 2	42	120		10 – 25%	>20 (bis ca. 70)	schwer
Mitte II	Eisbach Br. 6	9	100		60 – 100%	<8	schwer
	Eisbach Br. 14	45	115	ca. 2.000	5 – 30%	<10	mittel
	Eisbach Br. 13	185	310	ca. 12.000	<5%		leicht
Mitte III	Leininger Tal Br. 4	37	61		<20%		mittel
	Leininger Tal Br. 7	120	202	ca. 3.000	<20%		mittel
Mitte IV	Krumbachtal Br. 1	100	308	ca. 3.000	<5%		mittel
	Krumbachtal Br. 3	100	345	ca. 2.000	<5%		mittel
Mitte V	Rothbachtal Br. 3	92	270	ca. 4.000	<25%		mittel
	Rothbachtal Br. 4	30	80		55 – 70%	>15 (ca. 20 bis 60)	schwer
Süd	Weisenheim Br. 2	15	82		25 – 40%	>25 (bis ca. 40)	mittel
	Leistadt Br. 1	71	225	ca. 4.000	25 – 75%		mittel
	Grundloser Br. 2	97	138	ca. 4.000 – 6.000	<5%		mittel
	Br. Am Gehrbach	21	51	<100	25 – 100%		schwer
	Obrigheim Br. 6	14	97	ca. 16.500 – 20.000	<20%	<25	mittel

GW: Gewinnungsgebiet (s.a. Karte 6)

Absp.: Absperrstrecke bis unter Geländeoberkante

¹⁴C-Modellalter, relativ: sehr alt ■ mittelalt ■ jung ■

Es lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Die Tiefbrunnen mit Absperrstrecken größer ca. 100 m weisen bei den ¹⁴C-Bildungsaltern in räumlicher Hinsicht einen Gradienten auf, und zwar
 - von Süd nach Nord, etwa dem Profilschnitt E-E' folgend. Die höchsten Alter bis ca. 20.000 Jahre wurden in der hydrogeologischen Einheit z+s+mu unter tertiärer Bedeckung am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes bestimmt („Brunnen Albisheim“ und „Brunnen Harxheim“).
 - von Westen nach Osten (etwa den Profilschnitten A-A' und B-B' folgend). Die Verweilzeiten steigen in dieser Richtung von wenigen hundert bis ca. 20.000 Jahre an.
- Für den zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes kann sehr zuverlässig eine großräumige Zunahme der mittleren Verweilzeiten und damit der Grundwasserfließrichtung von Westen nach Osten festgestellt werden.
- Mittlere ¹⁴C-Bildungsalter wurden für die meisten mitteltief abgesperrten Brunnen der hydrogeologischen Einheit z+s+mu im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes festgestellt.
- Vergleichsweise geringe Bildungs- bzw. Modellalter ergaben die Untersuchungen für Grundwässer im westlichen Teil des zentralen Untersuchungsgebietes sowie im südlichen Teilbereich des Untersuchungsgebietes, das im Wesentlichen den Einzugsgebieten von Eckbach und Isenach entspricht.

- Eine durch die wasserwirtschaftliche Nutzung lokal veränderte Altersstruktur des Grundwasserkörpers zeigt sich im zentralen Bereich des Eisbach-Tals (Brunnen 6, 13 und 14; Tab. 6.3). Die Druckentlastung im Aquifer der hydrogeologischen Einheit z+s+mu hat dort – gegenüber den ursprünglich artesischen Verhältnissen – zum Eindringen von Grundwasser aus der hangenden hydrogeologischen Einheit KT geführt, das sowohl anhand der geringeren Verweilzeiten als auch hydrochemisch nachweisbar ist (vgl. BITZER 2014, 2013b).
- Die Bildungs- und Modellalter für die Wässer der Fassungsanlagen „Grundloser Brunnen 2“ (hydrogeologische Einheit MS) sowie „Brunnen 6 Obrigheim“ (hydrogeologische Einheit KTI), die Grundwasser in unmittelbarer Nachbarschaft zur hydrogeologischen Einheit z+s+mu entnehmen, lassen vermuten, dass dort hydraulische Verbindungen zu dieser Einheit bestehen.

7 HYDROGEOLOGISCHE SYSTEMBESCHREIBUNG

Das Verständnis des hydrogeologischen Systems stellt die fachliche Grundlage für die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung dar. Es setzt voraus:

- die Kenntnis der vorhandenen und genutzten bzw. nutzbaren Grundwasserleiter,
- die Kenntnis der hydraulischen Verhältnisse und Zusammenhänge in den Grundwasservorkommen sowie Vorstellungen zu den Grundwasserströmungsverhältnissen und
- die Abgrenzung bilanzierbarer, wasserwirtschaftlich relevanter Teilgebiete im Untersuchungsgebiet.

Auf der Grundlage der Systembeschreibung werden in der Folge Abschätzungen des Grundwasserdarbotts und der nutzbaren Grundwassermenge vorgenommen sowie Hinweise zur Grundwasserbewirtschaftung gegeben.

7.1 Grundwasserstockwerke und Grundwasserströmungsverhältnisse

Die Kalksteine der hydrogeologischen Einheit KT (Kalktertiär), bilden im zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes das obere Grundwasserstockwerk. Das Grundwasser ist großräumig ungespannt mit einem freien Wasserspiegel. Die Grundwasserneubildung erfolgt durch den versickernden Niederschlag. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse und der überwiegenden Lößbedeckung ist die Grundwasserneubildung gering (vgl. Karte 5). Bei annähernd horizontaler Schichtlagerung erfolgt der Grundwasserabfluss lateral zu den nächstgelegenen Vorflutern Pfrimm und Eisbach bzw. deren Zuflüssen.

Die Grundwasserfließrichtungen variieren und werden durch das Geländere relief, die Schichtlagerung sowie den Verlauf und die Höhenlage der Vorfluter beeinflusst. Ein Grundwasserzustrom aus benachbarten hydrogeologischen Einheiten und der direkte Abstrom in benachbarte hydrogeologische Einheiten sind nicht möglich.

Die Basis des oberen Grundwasserstockwerks (Kalktertiär) bilden die Mergel und Tone des Mergel- und Alttertiärs (hydrogeologische Einheiten MT und AT). Aufgrund ihrer weiträumigen Verbreitung im zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes wirken sie als Trennhorizont zwischen dem oberen und unteren Grundwasserstockwerk. Die Mächtigkeit des Trennhorizontes reicht bis ca. 60 m im südlichen Verbreitungsbereich und bis etwa 110 m im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes.

Die Sandsteine der hydrogeologischen Einheit z+s+mu (vereinfachend als Buntsandsteingrundwasserleiter bezeichnet) bilden das zweite, tiefere Grundwasserstockwerk im zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Sie sind annähernd im gesamten Untersuchungsgebiet verbreitet. Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bilden sie – da die tertiäre Überdeckung fehlt – das obere Grundwasserstockwerk. Die Mächtigkeit der gering bis mäßig durchlässigen Kluft- bis Kluft-Porengrundwasserleiter erreicht maximal etwa 400 m.

Die mit der Bildung des Oberrheingrabens entstandenen großräumigen Störungssysteme gliedern das Untersuchungsgebiet in tektonische Großschollen (s. a. Abb. 4.2; Kapitel 4.2). Entlang der Schollengrenzen ist durch die Vertikalversätze der hydraulische Kontakt innerhalb des Buntsandsteingrundwasserleiters oder zu angrenzenden hydrogeologischen Einheiten beeinflusst bzw. aufgrund verringerter

Aquiferquerschnittsflächen eingeschränkt (vgl. Karten 3 und 4). Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes grenzt der Buntsandsteingrundwasserleiter an den mächtigen Grundwassergeringleiterkomplex der hydrogeologischen Einheit r (Rotliegend). Im Osten grenzt er im Bereich der bislang wenig erkundeten Rheingrabenrandscholle an die hydrogeologische Einheit KTL (Kalktertiär im Bereich der Rheingrabenrandscholle).

Im zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes findet aufgrund der Grundwasserstockwerksgliederung und der bestehenden Druckhöhenverteilung im tieferen Grundwasserstockwerk keine (relevante) Grundwasserneubildung statt (vgl. Karten 3 und 4). Das Grundwasser ist dort überwiegend stark gespannt. Die Grundwasserdruckfläche liegt im Bereich des Pfrimm-Tals bis etwa 60 m oberhalb der Top-Fläche des Buntsandsteingrundwasserleiters, d.h. etwa im Niveau der Pfrimm. Die regionale Grundwasserströmung erfolgt in östliche Richtung.

Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes ist das Grundwasser im Buntsandsteingrundwasserleiter großräumig ungespannt. Aufgrund der starken Zertalung der Buntsandsteinlandschaft und der großen Reliefunterschiede bestehen im Bereich der Anhöhen mitunter hohe Flurabstände und mächtige, durch überwiegend abwärts gerichtete hydraulische Gradienten gekennzeichnete Aquiferbereiche. Die Grundwasserfließrichtungen innerhalb dieser auch als Quellstockwerk bezeichneten Bereiche werden vom kleinräumigen Relief und dem Verlauf der Fließgewässer höherer Ordnung bestimmt. Die Grundwasserfließrichtungen im tieferen, großräumig zusammenhängenden Aquiferbereich folgen den großräumigen Reliefverhältnissen und sind auf die überregionalen Vorfluter Pfrimm, Eisbach und Isenach gerichtet.

Die Konstruktion eines großräumigen Grundwassergleichenplans ist für den Buntsandsteingrundwasserleiter und dessen angrenzende Einheiten r und KTL (sowie lokal MS) im Sinne einer konzeptionellen Modellvorstellung möglich (vgl. BITZER 2014, HANAUER & ROSSMANN 2013, OBERMEYER 2010).

Die Abbildung 7.1 stellt die abgeschätzten Strömungsverhältnisse dar, die auf gemessenen Grundwasserständen beruhen und unter Berücksichtigung der Sohlhöhen von Gewässern sowie durch hydrogeologisch-geohydraulische Überlegungen grundsätzlicher Art erarbeitet wurden (s. a. Karte 2). Die zur Konstruktion verwendeten Stützstellen mit gemessenen Grundwasserständen sind in der Abbildung als rote Kreuze dargestellt. Aufgrund des Messdatums der Grundwasserstände aus mehreren Jahrzehnten kann der Grundwassergleichenplan grundsätzlich weder aktuelle noch zeitgleiche Verhältnisse widerspiegeln. Er bildet weiterhin nicht die lokalen Entnahmesituationen im Zuge der Trinkwassergewinnung sowie die Wasserhaltungen im Raum Eisenberg im Zusammenhang mit der dortigen Rohstoffgewinnung (Klebsande und Feuerfesttone) ab. Deren Einfluss wird nach HANAUER & ROSSMANN (2014) allerdings als eher unbedeutend für die großräumigen Druckverhältnisse angesehen.

Der Grundwassergleichenplan stellt jedoch eine belastbare Modellvorstellung zur ungefähren Tiefenlage der Grundwasserdruckfläche dar, ab der keine wesentlichen vertikalen Änderungen der Druckhöhen mehr zu erwarten sind. Die Grundwassergleichen entsprechen damit in etwa einer Fläche, unterhalb der mit überwiegend horizontaler Grundwasserfließbewegung zu rechnen ist. Damit werden im Wesentlichen die Verhältnisse im tieferen zusammenhängenden Grundwasserleitersystem dargestellt.

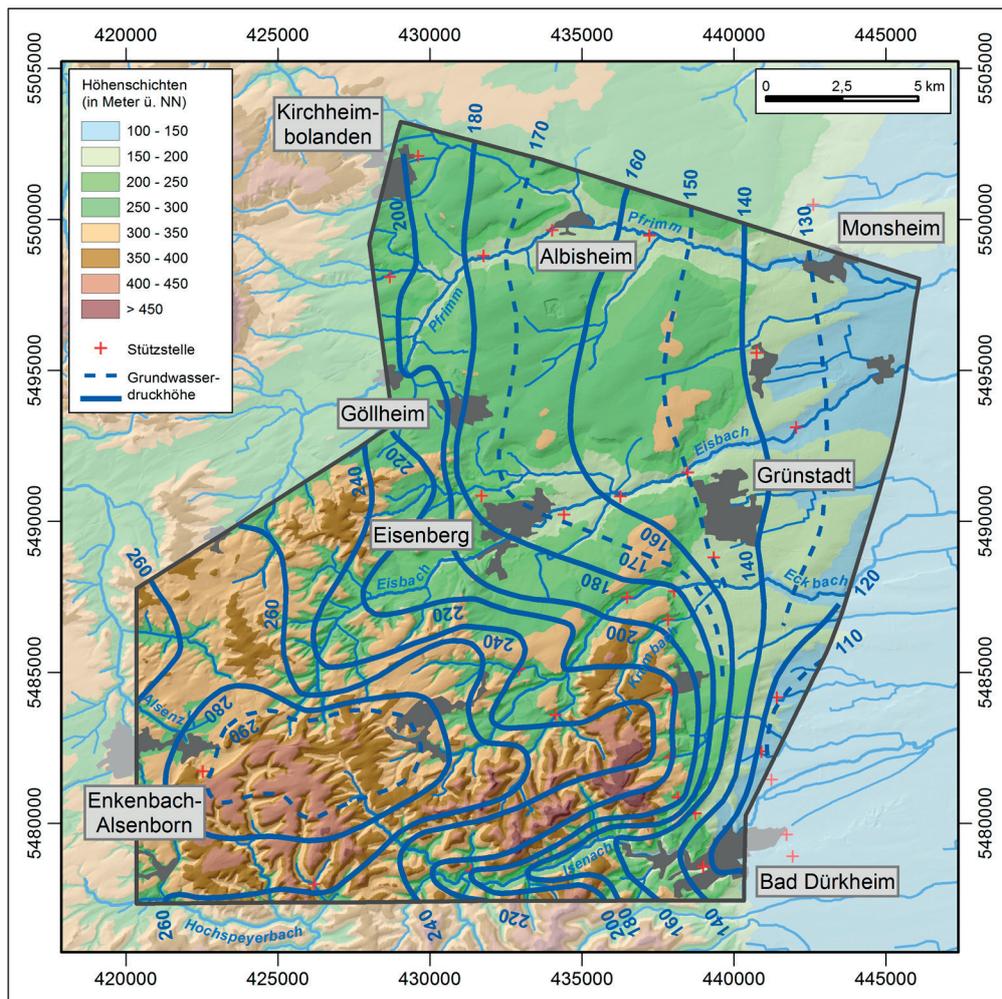


Abb. 7.1: Großräumiger Grundwassergleichenplan für den Buntsandsteingrundwasserleiter sowie die angrenzenden hydrogeologischen Einheiten r und KTL (sowie lokal MS); Erläuterungen im Text.

Die großräumigen Strömungsverhältnisse im Buntsandsteingrundwasserleiter sowie den angrenzenden hydrogeologischen Einheiten lassen sich wie folgt beschreiben:

- Es besteht eine etwa West-Ost verlaufende Grundwasserscheide zwischen Eisbach, Eckbach sowie Krumbach im zentralen Bereich und der Isenach im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Sie trennt den zentralen vom südlichen Untersuchungsbereich.
- Der nach Norden bis Nordosten gerichtete Grundwasserstrom wird untergeordnet vom Eckbach, vor allem aber vom Eisbach aufgenommen. Die starke Konturierung der Grundwassergleichen (s. Abb. 7.1) weist auf die hydraulische Vorflutfunktion der Gewässer, den Einfluss des Geländereiefs und auf die dort wirksame Grundwasserneubildung hin.
- Im zentralen und nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes erfolgt die Grundwasserströmung von Westen nach Osten. Die sehr gering durchlässigen Gesteine der überlagernden hydrogeologischen Einheiten AT und MT verursachen als Trennhorizont die hydraulische Entkopplung des tieferen

Grundwasserstockwerks von den Fließgewässern. Weiterhin verhindert der Trennhorizont eine relevante Grundwasserneubildung im tieferen Grundwasserstockwerk. Hieraus resultiert ein sehr ruhiges, gleichmäßiges Strömungsbild.

- Am östlichen Rand des Untersuchungsgebietes ist die Grundwasserströmung nach Osten zum Oberrheingraben gerichtet. Dort tritt das Grundwasser des tieferen Grundwasserstockwerks in die tertiären Schichten im Bereich der Randscholle über (hydrogeologische Einheit KTI).

7.2 Großschollen I bis III

Die großräumige Gliederung des Untersuchungsgebietes in die Großschollen I bis III durch die Hauptstörungssysteme wurde im Kapitel 4.2 erläutert (s. a. Abb. 4.2). Am Übergang dieser Störungssysteme sind besonders hohe vertikale Versatzbeträge festzustellen (vgl. Karten 3 und 4). Sie verursachen u. a. Veränderungen des Aquiferquerschnitts im Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu) sowie das Aneinandergrenzen verschiedener hydrogeologischer Einheiten (vgl. Kapitel 7.1). Die Störungssysteme stellen hydraulisch relevante Strukturen bzw. hydraulische Randbedingungen des hydrogeologischen Systems im Untersuchungsgebiet dar (Zustrom- bzw. Abstromrand bis undurchlässiger Rand).

Im nordwestlichen Bereich des Untersuchungsgebietes grenzt die Großscholle I mit dem mächtigen Grundwassergeringleiterkomplex der hydrogeologischen Einheit r tektonisch an die Großscholle II (s. Karten 3 und 4). Aus der Großscholle I kann ein nur sehr geringer Zustrom in den Buntsandsteingrundwasserleiter der Großscholle II erfolgen (vgl. Abb. 7.1). Im südwestlichen Bereich besteht durch das Störungssystem eine Aquiferquerschnittsverringering im Buntsandsteingrundwasserleiter. Gleichzeitig verläuft dort die Trennstromlinie etwa parallel zum Störungssystem (vgl. Abb. 4.2 und 7.1). Der Versatzbetrag ist hier geringer als im Norden. Über das Störungssystem hinweg ist kein relevanter Zustrom aus der Großscholle I in Großscholle II zu erwarten (vgl. Karten 2, 3 und 4).

Im Osten grenzt der Buntsandsteingrundwasserleiter der Großscholle II tektonisch an das tendenziell geringer durchlässige Tertiär der bislang wenig erkundeten Rheingrabenrandscholle bzw. Großscholle III.

Im nördlichen Bereich der Großscholle I ist der wasserwirtschaftlich bedeutsame Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu) nicht verbreitet. Im südlichen Bereich erreicht die hydrogeologische Einheit z+s+mu Mächtigkeiten bis etwa 250 m. Das Schichteneinfallen ist nach Süden bis Südwesten gerichtet. Durch Vertikalbrunnen sind in der dort stark zertalten Mittelgebirgslandschaft häufig nur die großräumig zusammenhängenden Grundwasserleiterbereiche nutzbar. Dies sind im Wesentlichen die Schichten des Zechsteins. Das Grundwasser ist großräumig ungespannt und die unterirdischen Einzugsgebiete entsprechen meist weitgehend den oberirdischen. Bei eher geringen Aquifermächtigkeiten und vergleichsweise kleinräumigen Einzugsgebieten können die mittleren Verweilzeiten des Grundwassers Werte bis wenige hundert Jahre erreichen (z. B. Br. Frankenstein; VGW Hochspeyer). Die Grundwasserbeschaffenheit kann lokal anthropogen beeinflusst sein.

Im Bereich der Großscholle II variieren die Mächtigkeiten des Buntsandsteingrundwasserleiters erheblich und erreichen bis etwa 400 m im zentralen Bereich. Je nach Überdeckung durch den Trennhorizont (hydrogeologische Einheiten AT und MT) besteht ein Spektrum der Verweilzeiten von wenigen Jahrzehnten bis zu etwa 20.000 Jahren. Im Gegensatz zur Großscholle I besteht ein Einfallen der Schichten in nördliche Richtung. Der Bereich der Großscholle II wird im Kapitel 7.3 detaillierter betrachtet.

Im Bereich der Großscholle III ist der Buntsandsteingrundwasserleiter erst in größeren Tiefen zu erwarten. Oberflächennah steht die hydrogeologische Einheit KTL z.T. unter quartärer Bedeckung an. Der Grundwasserumsatz findet überwiegend in der oberflächennahen Auflockerungs- und Verwitterungszone statt. Lokal deutet sich auch ein Zustrom aus dem Buntsandsteingrundwasserleiter der Großscholle II an (Gewinnungsgebiet Obrigheim; VGW Grünstadt-Land). Das nutzbare Grundwasserdargebot wird in der Großscholle III aber als gering eingestuft.

Die Tabelle 7.1 gibt einen Überblick über das theoretische jährliche Grundwasserdargebot für die hydrogeologischen Einheiten im Bereich der Großschollen I bis III. Grundlage für die Abschätzung ist die Karte zur Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz (MULEWF 2015). Die damit zugrunde gelegten Verhältnisse entsprechen der Variante I im Kapitel 8.1 „Grundwasserneubildung“ (s. a. Karte 5).

Tab. 7.1: Theoretisches jährliches Grundwasserdargebot in den Großschollen I bis III.

Hydrogeologische Einheit (Kürzel)	Theoretisches jährl. Grundwasserdargebot Mio. [m ³]		
	Großscholle		
	I	II	III
h	1,8	1,5	0,5
hg	0,1	0,8	0,2
lö	0,7	2,0	1,9
t	0,0	0,1	0,2
JT	--	0,0	0,1
KT	--	1,0	--
KTL	--	--	0,3
MS	--	0,2	--
MT	--	0,2	--
AT	--	0,2	--
z+s+mu	16,7	12,0	--
r	1,6	--	--
Summen	21	18	3,2

--: Flächenanteil der hydrogeologischen Einheit < 1 km² und Grundwasserdargebot < 0,05 Mio. [m³/a]

7.3 Teilgebiete und Gewinnungsgebiete im Bereich der Großscholle II

Aufgrund der für den Buntsandsteingrundwasserleiter beschriebenen hydrogeologischen Verhältnisse, insbesondere

- der vollständigen Grundwasserstockwerksgliederung im nördlichen und der teilweisen Grundwasserstockwerksgliederung im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes,
- der ober- und unterirdischen Wasserscheide zwischen Eckbach und Isenach im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes,

- der räumlichen Differenzierung in der Beschaffenheit der Grundwässer sowie
- der Altersstruktur der Grundwässer

werden die Wassergewinnungsgebiete im Bereich der Großscholle II unter wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten drei Teilgebieten zugeordnet. Diese Teilgebiete werden im Weiteren als „Nord“, „Mitte“ und „Süd“ bezeichnet (s. Abb. 8.4 und Karte 6; s. a. Tab. 7.2).

Um bei der Abgrenzung der Teilgebiete die Einzugsgebiete der Wassergewinnungen zu berücksichtigen, wurde der Grundwassergleichenplan in Abbildung 7.1 herangezogen. Dabei ergibt sich, dass die Fläche der aneinandergrenzenden drei Teilgebiete nicht vollständig, aber im Wesentlichen deckungsgleich ist mit der Großscholle II (vgl. Abb. 4.2).

Aufgrund der für jedes Teilgebiet vergleichsweise gut fassbaren Randbedingungen (Trennstromlinien, undurchlässige bis gering durchlässige Zu- und Abstromränder) sind die Voraussetzungen für eine Bilanzierung des Grundwasserhaushalts grundsätzlich günstig.

Um auch Bezug auf die räumlichen Schwerpunkte der Wassergewinnungen nehmen zu können, wurden Punkte der Grundwasserentnahme zu Gruppen zusammengefasst, in sog. Gewinnungsgebiete gegliedert und nach ihrer räumlichen Lage bezeichnet (s. Karte 6 sowie Tab. 7.2; vgl. BITZER 2013b).

Tab. 7.2: Teilgebiete und Gewinnungsgebiete im Bereich der Großscholle II.

Teilgebiet	Gewinnungsgebiet	Bezeichnung/Lokalität
Nord	Nord I Nord II	Albisheim, Zell Mölsheim
Mitte	Mitte I Mitte II Mitte III Mitte IV Mitte V	Eisenberg, Kerzenheim, Waldbrunnen Eisbach-Tal Leininger Tal Krumbach-Tal Rothbach-Tal
Süd	Süd I Süd II	Weisenheim, Leistadt, Schlammburg Isenach-Tal

7.3.1 Teilgebiet Nord

Der natürliche Grundwasserumsatz im tieferen Grundwasserstockwerk (hydrogeologische Einheit z+s+mu) erfolgt durch den lateralen Zustrom aus der angrenzenden Großscholle I bzw. den Abstrom in die Großscholle III. Da das tiefere Grundwasserstockwerk von den Mergeln und Tonen des Trennhorizontes überlagert wird, erfolgt keine relevante Grundwasserneubildung über das obere Grundwasserstockwerk.

Das „ruhige“ Strömungsfeld (s. Abb. 7.1) deutet an, dass keine Anbindung an die oberirdischen Gewässer (Vorfluter) besteht. Gestützt wird die Annahme auch durch die hohen mittleren Verweilzeiten der Altwasserkomponente (ca. 20.000 Jahre; s. a. Kapitel 6.2) und die Beschaffenheit des Grundwassers (sauerstoffarm, geringe Konzentrationen von Chlorid und Nitrat, Hinweise auf Ionenaustauschprozesse).

Es ist davon auszugehen, dass im natürlichen, unbeeinflussten Zustand die Zustromrate am Westrand des Teilgebietes Nord der Abflussrate an dessen Ostrand entspricht. Dessen Größenordnung wird auf der Basis des Darcy-Gesetzes auf kleiner 0,05 Mio. m³/a geschätzt (Tab. 7.3).

Tab. 7.3: Hydraulische Parameter für das tiefere Grundwasserstockwerk im Teilgebiet Nord (Zustrom).

mittlere Gebirgsdurchlässigkeit	5 x 10 ⁻⁷ m/s
hydraulischer Gradient (geschätzt):	0,004
Länge westl. Zustromrand	ca. 8,4 km
mittlere Aquifermächtigkeit	ca. 90 m
Randzustrom (geschätzt):	< 0,05 Mio. m ³ /a

Unter Ansatz der mittleren Grundwasserverweilzeiten (vgl. Tabelle 6.3) und den anzunehmenden Fließstrecken lassen sich mittlere Abstandsgeschwindigkeiten von 0,3 bis 0,4 m/a abschätzen.

7.3.2 Teilgebiet Mitte

Nördlich des Eisbachs verläuft die Grundwasserdruckfläche des tieferen Grundwasserstockwerks etwa in Höhe der Basis des Mergeltertiärs (hydrogeologische Einheit MT; vgl. Karten 3 und 4). Die Grundwasserneubildung erfolgt dort damit weitgehend im hangenden, oberen Grundwasserstockwerk (Kalktertiär, hydrogeologische Einheit KT).

Unmittelbar südlich des Eisbachs verhindern im westlichen Teilbereich die überdeckenden tertiären Tone und Mergel (hydrogeologische Einheiten AT und MT) sowie die Druckverhältnisse eine relevante Grundwasserneubildung im tieferen Grundwasserstockwerk (Buntsandsteingrundwasserleiter, hydrogeologische Einheit z+s+mu).

Weiter südlich wird das tiefere Grundwasserstockwerk aufgrund der fehlenden Überdeckung zum oberen Grundwasserstockwerk mit großräumig freier Grundwasseroberfläche. Die Grundwasserneubildung durch Niederschlag wird in diesem Bereich voll wirksam.

Der Grundwasserabstrom aus beiden Grundwasserstockwerken wird vom Eisbach und vom Eckbach sowie von deren Zuflüssen aufgenommen. Der Eckbach wird im mittleren Fließabschnitt teilweise unterströmt (BAUMEISTER 2013, HANAUER & ROSSMANN 2013, BITZER 2009). Der Grundwasserabstrom im Teilgebiet Mitte ist großräumig betrachtet auf den Eisbach gerichtet.

Die geringen Grundwasseralter im Buntsandsteingrundwasserleiter im Gewinnungsgebiet Mitte I (s. Abb. 6.8 und 7.2; vgl. a. Tab. 6.3) lassen bereits darauf schließen, dass das Grundwasser hier lokal neu gebildet wird. Ein möglicher Randzustrom aus der Großscholle I ist – auch unter Berücksichtigung der Grundwasserbeschaffenheit (geringe Ähnlichkeit zu Grundwässern aus dem Zechstein; Abb. 7.2) – als gering anzunehmen. Eine Abschätzung auf Basis der geometrischen Verhältnisse (s. a. Karten 1 bis 4) enthält die Tabelle 7.4. Der natürliche Grundwasserzustrom im Teilgebiet Mitte aus der Großscholle I wird auf der Basis des Darcy-Gesetzes in der Größenordnung kleiner 0,15 Mio. m³/a geschätzt (Randzustrom). Am östlichen Rand des Teilgebiets wird ein Abstrom in die Großscholle III in derselben Größe angenommen.

Auf Basis der mittleren Grundwasserverweilzeiten (vgl. Tabelle 6.3) und der anzunehmenden Fließrichtungen (Abb. 7.1) lassen sich für die mitteltiefen bis tiefen Aquiferbereiche Abstandsgeschwindigkeiten von etwa 0,6 bis 0,8 m/a abschätzen.

Tab. 7.4: Hydraulische Parameter für das tiefere Grundwasserstockwerk im Teilgebiet Mitte (Zustrom).

mittlere Gebirgsdurchlässigkeit	5×10^{-7} m/s
hydraulischer Gradient (geschätzt):	0,005
Länge westl. Zustromrand	ca. 12 km
mittlere Aquifermächtigkeit	ca. 150 m
Randzustrom (geschätzt):	< 0,15 Mio. m ³ /a

7.3.3 Teilgebiet Süd

Das Teilgebiet Süd schließt sich südlich der abgeschätzten unterirdischen Wasserscheide an. Es umfasst im Wesentlichen das Einzugsgebiet der Isenach im Untersuchungsgebiet.

Die hydrogeologische Einheit z+s+mu bildet das obere Grundwasserstockwerk, in dem die Grundwasserneubildung aus Niederschlag vollständig wirksam ist. Der wesentliche Anteil des Grundwasserabstroms erfolgt in die Isenach.

Der vergleichsweise kleine Einzugsbereich des Gewinnungsgebietes Süd I entwässert nach Osten in Richtung Oberrheingraben (vgl. Abb. 7.1). Ob hier jedoch tatsächlich ein relevanter Grundwasserabstrom erfolgt, ist fraglich. Dauerhaft Wasser führende Fließgewässer, die zum Oberrheingraben hin entwässern, sind in diesem Bereich nicht vorhanden.

7.3.4 Gewinnungsgebiete

Die Zusammenfassung von Wasserfassungsanlagen zu Gewinnungsgebieten berücksichtigt die jeweiligen hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse im Bereich der Großscholle II.

Die Darstellung der Datensätze zur Grundwasserbeschaffenheit in der hydrogeologischen Untereinheit s (Buntsandstein) im PIPER-Diagramm nach den Einzugs- bzw. Gewinnungsgebieten lässt die hydrochemischen Unterschiede erkennen und deren mögliche Ursachen vermuten (s. a. Tab. 7.2, Abb. 7.2 und Karte 6):

Gewinnungsgebiet Nord I (Albisheim, Zell)

Die relativ erhöhten Alkalianteile sowie die sehr geringen Nitrat- und Chloridanteile lassen auf Kationenaustauschprozesse sowie Nitratreduzierung bzw. anthropogen unbeeinflusstes Grundwasser schließen. Die Beobachtungen stimmen mit dem hohen Bildungsalter des Grundwassers überein (vgl. Tab. 6.3).

Gewinnungsgebiet Mitte I (Eisenberg, Kerzenheim und Waldbrunnen)

Die Wässer zeigen in den Kationenverhältnissen Ähnlichkeiten mit denen des Kalktertiärs (KT) und des Rotliegend (r). Es machen sich möglicherweise Einflüsse der benachbarten hydrogeologischen Einheiten bemerkbar. Die relativ hohen Chlorid- und Nitratanteile werden als Hinweis auf eine anthropogene Beeinflussung gedeutet und entsprechen auch den vergleichsweise geringen Grundwasseralters.

Grundwassertypen (nach Furtak und Langguth)*Normal erdalkalische Wässer*

- a: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- b: hydrogenkarbonatisch - sulfatisch
- c: überwiegend sulfatisch

Erdalkalische Wässer mit höherem Alkaligehalt

- d: überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e: überwiegend sulfatisch

Alkalische Wässer

- f: überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g: überwiegend chloridisch

Gewinnungsgebiet (Bezeichnung), Großscholle

- Nord I (Albisheim, Zell)
- Mitte I (Eisenberg, Kerzenheim, Waldbrunnen)
- Mitte II (Eisbach-Tal)
- Mitte III (Leininger Tal)
- Mitte IV (Krumbach-Tal)
- Mitte V (Rothbach-Tal)
- ★ Süd I (Weisenheim, Leistadt, Schlammberg)
- Süd II (Isenach-Tal)
- ⊕ Großscholle I (Raum Enkenbach, Alsenborn)
- hydrogeologische Einheiten KT / KTI
- hydrogeologische Untereinheit z

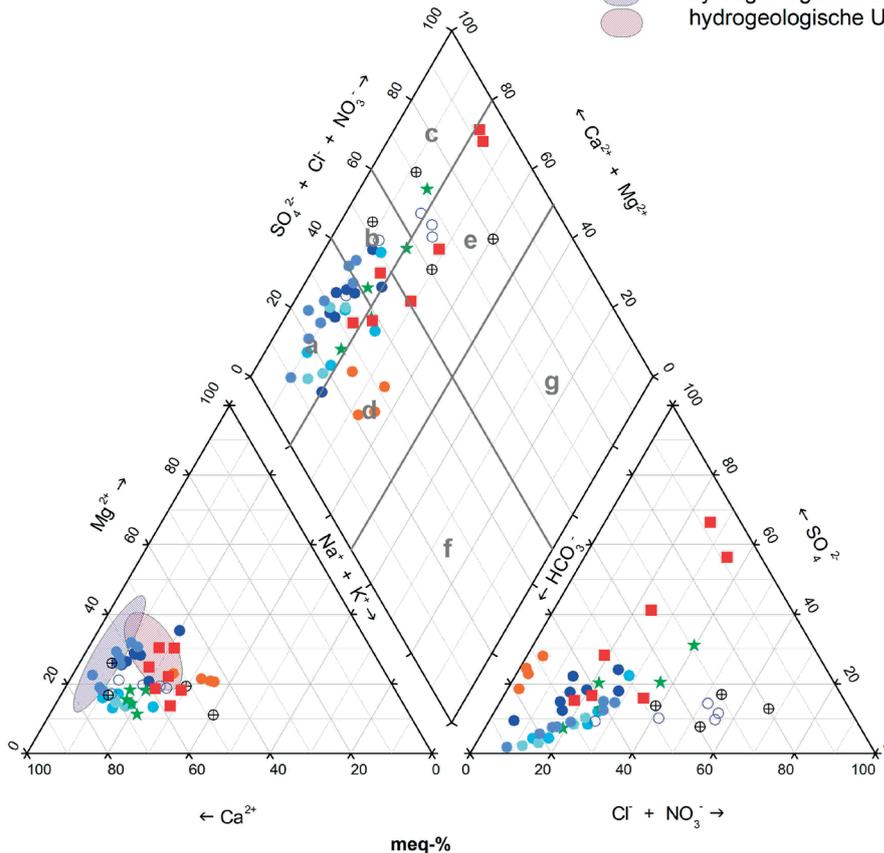


Abb. 7.2: Beschaffenheit der untersuchten Grundwässer der hydrogeologischen Untereinheit s (Buntsandstein) im PIPER-Diagramm, aufgegliedert nach Gewinnungsgebieten (für die Lage der Gewinnungsgebiete siehe Karte 6). Erläuterungen im Text.

Gewinnungsgebiet Mitte II (Eisbach-Tal)

Je nach Ausbautiefe und Länge der Absperrstrecke der Brunnen lässt sich ein Einfluss aus der hydrogeologischen Einheit KT (Kalktertiär) erkennen. Die ursprünglich artesischen Verhältnisse in diesem Gebiet bestehen in Folge der jahrzehntelangen Grundwassergewinnung nicht mehr (BITZER 2014, 2013). Flach abgesperrte Wasserfassungen erschließen daher auch anteilig Wasser aus der hydrogeologischen Einheit KT. Nur die Tiefbrunnen zeigen hydrochemische Ähnlichkeiten zu den Wässern aus dem Leininger Tal

(Mitte III) und dem Krumbach-Tal (Mitte IV). Das Spektrum der Grundwasseralter reicht von Jahrzehnten bis zu ca. 12.000 Jahren.

Gewinnungsgebiete Mitte III (Leininger Tal) und Mitte IV (Krumbach-Tal)

Die Wässer beider Gebiete weisen große hydrochemische Ähnlichkeiten auf. Die Gewinnungsgebiete liegen nahe am Zentrum des Grundwasserneubildungsgebietes für den Buntsandstein. Die Grundwasseralter für die tief abgesperrten Brunnen sind mit ca. 2.000 Jahren vergleichsweise gering (vgl. Abb. 6.8 und Tab. 6.3).

Das aus fast ausschließlich bewaldeten Einzugsgebieten stammende und in großer Tiefe gefasste, sauerstoffreiche Wasser des Gebiets Mitte III kann als Endglied der Buntsandsteinwässer aufgefasst werden („reines“ Buntsandsteinwasser). Hinsichtlich der Kationen lässt es sich als eigene Gruppe abgrenzen. In Bezug auf die Chlorid-, Sulfat- und Nitratanteile gehört es zu den Wässern mit geringen Anteilen dieser Anionen.

Im Gewinnungsgebiet IV werden die an wenigen Messpunkten festgestellten leicht erhöhten Anteile an Alkalien sowie an Chlorid, Sulfat und Nitrat als Anzeichen anthropogener Beeinflussung gesehen.

Gewinnungsgebiet Mitte V (Rothbach-Tal) und Süd I (Weisenheim, Schlammburg, Leistadt)

Die Gewinnungsgebiete erschließen den Buntsandstein bzw. die hydraulisch angeschlossenen Meeresande (hydrogeologische Einheit MS) meist in vergleichsweise geringen Tiefen. Aufgrund des geringen Stoffrückhaltepotenzials der Grundwasserüberdeckung paust sich die anthropogene Nutzung in den Einzugsgebieten in Form der erhöhten Chlorid- und Nitratanteile durch (Weinbau/Sonderkulturen im Gewinnungsgebiet Süd I, Verkehrswege (BAB 6) im Gewinnungsgebiet Mitte V sowie der Großscholle I). Die Grundwasseralter dieser Wässer erreichen mehrere Jahrzehnte. Lediglich die sehr tief abgesperrten Wasserfassungen weisen Alter bis zu ca. 4.000 Jahren auf.

Gewinnungsgebiet Süd II (Isenach-Tal)

Die überwiegend an der Isenach gelegenen Wasserfassungen erschließen Grundwasser aus dem dort deutlich geringer mächtigen Buntsandstein. Der Anteil des unterlagernden und am Grundwasserumsatz beteiligten Zechsteins ist vergleichsweise hoch. Dies spiegelt sich auch in den Kationenverhältnissen wider, die eine Ähnlichkeit mit den reinen Zechsteingrundwässern aufweisen. Die Quellwässer zeigen geringe Hydrogenkarbonatgehalte. Die Modellalter zur mittleren Verweilzeit liegen im Bereich von 10 bis 100 Jahren.

8 GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

Unter Grundwasserbewirtschaftung versteht man im Sinne der Wasserwirtschaft die Sicherung, Nutzung und den Schutz von Grundwasservorkommen als zielbewusste Ordnung aller menschlichen Einwirkungen.

Eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung zielt darauf ab,

- eine dauerhafte Nutzung des Grundwassers zu gewährleisten und
- negative Auswirkungen der Grundwassernutzungen zu vermeiden, das heißt ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserdargebot zu gewährleisten.

Der vorbeugende qualitative Grundwasserschutz ist dafür essenziell.

8.1 Grundwasserneubildung und Grundwasserdargebot

Das Grundwasserdargebot stellt definitionsgemäß die „Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt (Grundwassereinzugsgebiet)“ dar (DIN 4049 T3 1994). Positive Bilanzglieder sind z. B. Grundwasserneubildung aus Niederschlag, Randzufluß und Zusickeung aus oberirdischen Gewässern.

Unter Verwendung mittlerer jährlicher (jeweils regionalisierter)

- Niederschlagshöhen (N) und
- aktueller Verdunstungshöhen (V)

kann der Gesamtabfluss (A) entsprechend der Wasserhaushaltsgleichung

$$A = N - V$$

errechnet werden.

Für das Untersuchungsgebiet wurden die nicht korrigierten REGNIE-Niederschlagsdaten (Rasterdaten) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie die mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell TRAIN ermittelten Verdunstungswerte der 30-jährigen Reihe 1979 bis 2008 eingesetzt.

Für das Untersuchungsgebiet wurde eine mittlere Niederschlagshöhe N von 643 mm/a und eine mittlere aktuelle Verdunstungshöhe V von 542 mm/a ermittelt. Entsprechend der Wasserhaushaltsgleichung berechnet sich eine mittlere Gesamtabflusshöhe A von 101 mm/a.

Auffällig sind die geringen Niederschläge (Abb. 8.1) in der Rheinebene entlang des Haardtrandes von Bad Dürkheim bis Bockenheim a. d. Wstr. mit rd. 520 bis 570 mm/a sowie im Pfrimmtal von Monsheim bis Göllheim und im nördlichen Bereich (Alzeyer Hügelland) bei Kirchheimbolanden mit rd. 520 bis 600 mm/a. Im Pfälzerwald, südlich Hettenleidelheim, fallen die höchsten Jahresniederschläge mit rd. 670 bis 800 mm/a.

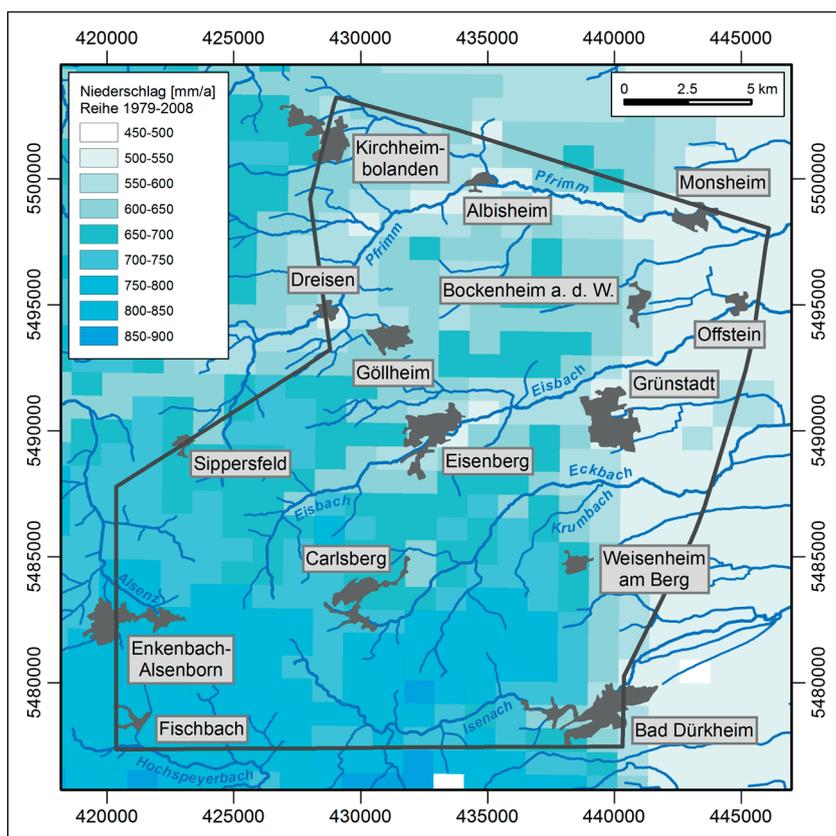


Abb. 8.1: Mittlere Niederschlagshöhe der Reihe 1979 bis 2008 (DWD Rasterdaten, nicht korrigiert).

In Abhängigkeit von der Verteilung von Niederschlag und Temperatur sowie der Vegetation liegen die aktuellen Verdunstungshöhen (Abb. 8.2) bei 470 bis 490 mm/a in den Gebieten mit geringen Niederschlägen und bei 600 bis 660 mm/a im Pfälzerwald.

Die Karte der mittleren Gesamtabflusshöhe (Abb. 8.3) zeigt die Differenz zwischen den Niederschlagshöhen und den Verdunstungshöhen. Der Gesamtabfluss liegt im Pfälzerwald bei rd. 140 bis 180 mm/a und im Pfrimmtal und im nördlichen Untersuchungsraum bei rd. 40 bis 130 mm/a. Die geringsten Gesamtabflüsse findet man in der Rheinebene bis zum Haardtrand mit rd. 15 bis 70 mm/a.

Der verbleibende Gesamtabfluss teilt sich in die Komponenten Direktabfluss und unterirdischer Abfluss bzw. Basisabfluss auf. Dabei entspricht der unterirdische Abfluss für lange Beobachtungsreihen der Grundwasserneubildungshöhe.

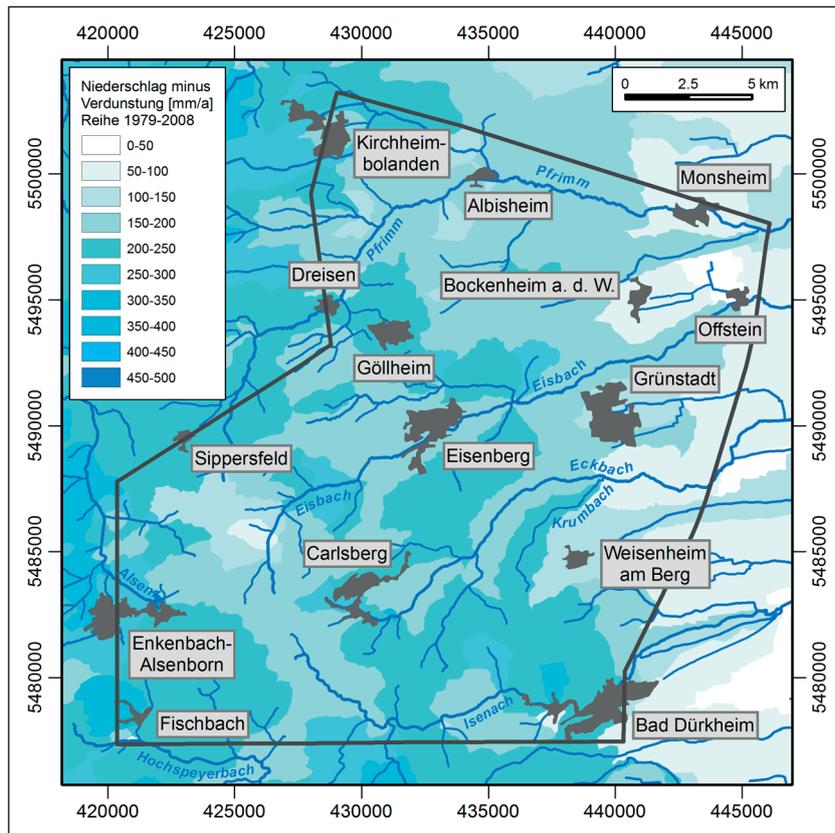


Abb. 8.2: Mittlere aktuelle Verdunstungshöhe der Reihe 1979 bis 2008 (TRAIN-BWH-Modell).

Unter der Annahme, dass ein Gewässer in Trockenwetterperioden ausschließlich von Grundwasser gespeist wird, kann man aus dem Trockenwetterabfluss – bestimmt an einer Abflussmessstelle (Pegel) – und der Fläche des dazugehörigen Einzugsgebiets, auf die Grundwasserneubildung schließen. Berechnet wurden die Abflusswerte nach dem KILLE-Verfahren. Zur flächenhaften Darstellung der Grundwasserneubildungshöhen wurden die für die Pegelinzugsgebiete ermittelten Werte nach hydrologischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten in die Kleinstinzugsgebiete übertragen (zu jedem Abschnitt des Gewässernetzes gehört eine entsprechende Fläche im Gelände, das oberirdische Einzugsgebiet). Damit erhält man die mittleren natürlichen Grundwasserneubildungshöhen der Reihe 1979 bis 2008 (s. Karte 5, Variante I).

Unterschiedliche klimatische, bodenkundliche und geologische Gegebenheiten bedingen eine ungleiche Verteilung der Grundwasservorräte im Land: Überdurchschnittliche Niederschläge in Verbindung mit guten Speichereigenschaften der Gesteine bewirken hohe Neubildungsraten von rd. 120 bis 180 mm/a im Pfälzerwald. Im Pfrimmtal und im nördlichen Untersuchungsraum liegen auf Grund der geringeren Jahresniederschläge und der schlechteren Speichereigenschaften der Gesteine die Neubildungsraten bei rd. 30 bis 70 mm/a. Die geringsten Grundwasserneubildungsraten findet man in der Rheinebene bis zum Haardtrand mit rd. 15 bis 40 mm/a.

Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich rechnerisch eine mittlere Grundwasserneubildungsrate von ca. 79 mm/a (s. Karte 5, Variante I).

Bei dieser Abschätzung der Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet handelt es sich um eine relativ kleinräumige Auskopplung aus dem Modell zur Regionalisierung des mittleren Niedrigwasserabflusses, welches die Grundlage für die landesweite Darstellung der Grundwasserneubildung bildet (vgl. LUWG 2005, BAUMEISTER & KAMPF 2002).

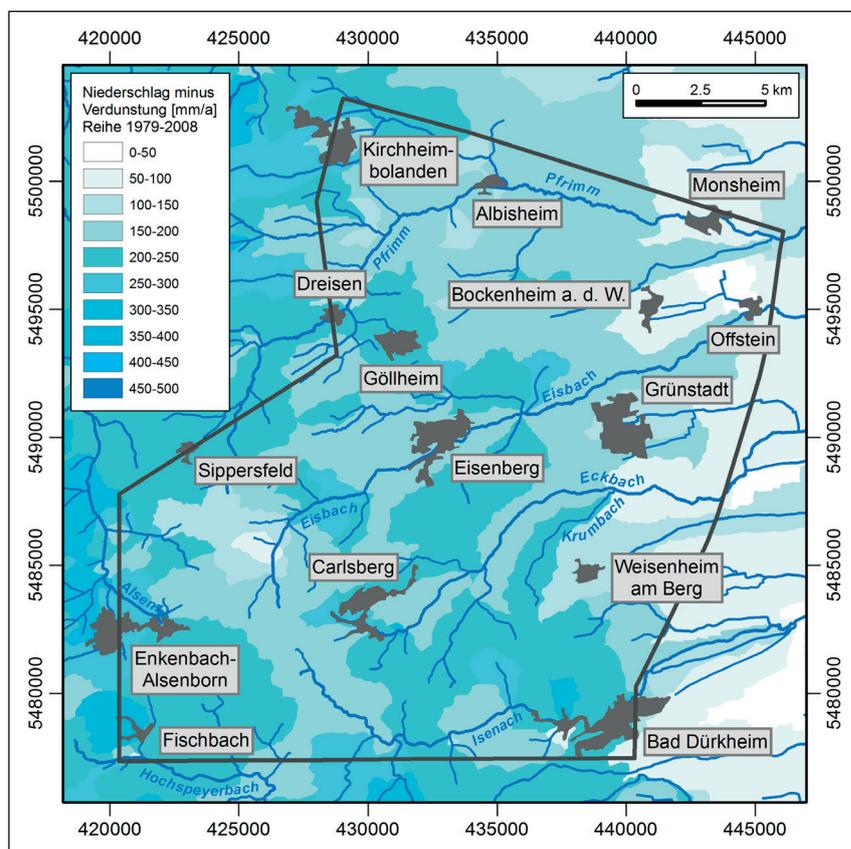


Abb. 8.3: Mittlere Gesamtabflusshöhe der Reihe 1979 bis 2008 (Niederschlag minus aktuelle Verdunstung).

Für die hydrogeologische Kartierung Raum Grünstadt wurde vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht – ergänzend zum bestehenden Modell (Variante I, MULEWF 2015) – eine differenziertere Betrachtung für die Buntsandsteingebiete eingeführt (Varianten II und III, LuWG 2015; s. Karte 5). Sie führt in der Folge dazu, dass in den Haardtrand nahen Bereichen mit Verbreitung des Unteren Buntsandsteins geringere Grundwasserneubildungsraten berechnet werden. In den westlicher gelegenen, dem Kerngebiet des Pfälzerwalds zugewandten Bereichen werden hingegen höhere Werte generiert.

Neben den erläuterten Vorstellungen existieren weitere Modelle zur Grundwasserneubildung (s. Karte 5). Für den Raum des Mainzer Beckens, d.h. den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, besteht dabei eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den mit unterschiedlichen Methoden erzeugten Ergebnissen. Erhebliche Differenzen treten jedoch für den Bereich der zertalten Mittelgebirgslandschaften im zentralen und südlichen Raum des Untersuchungsgebietes, insbesondere für den Bereich des Buntsandsteins der Pfälzer Mulde auf. Hier werden je nach Modellansatz regional sowohl deutlich geringere (z. B. BLOMENHOFER ET AL. 2012) als auch größere (z. B. GOLDSCHMITT 2015) Grundwasser- bzw. Sickerwasserneubildungsraten ausgewiesen.

Für die hydrogeologische Einheit z+s+mu ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Grundwasserneubildung durch den Grundwasserstockwerksbau beeinflusst ist. Zusätzlich führen die auflagernden alttertiären, sehr gering durchlässigen Sedimente zu einer erheblichen Reduzierung der Grundwasserneubildung im Bereich des Eisenberger Beckens. Diese Verhältnisse sind in den Modellen zur Sickerwasser- bzw. Grundwasserneubildung (s. Karte 5) nicht berücksichtigt.

8.2 Grundwasserbilanzierung im Bereich der Großscholle II

Im Folgenden wird der Grundwasserhaushalt für den wasserwirtschaftlich bedeutsamen Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu) im Bereich der Großscholle II abgeschätzt. Die Grundwasserbilanz wird dabei jeweils für die Teilgebiete Nord, Mitte und Süd separat erstellt. In den Teilgebieten Nord und Mitte kann die Bilanz auch für das Kalktertiär (oberes Grundwasserstockwerk; hydrogeologische Einheit KT) erstellt werden (Abb. 8.4; s. a. Karte 6).

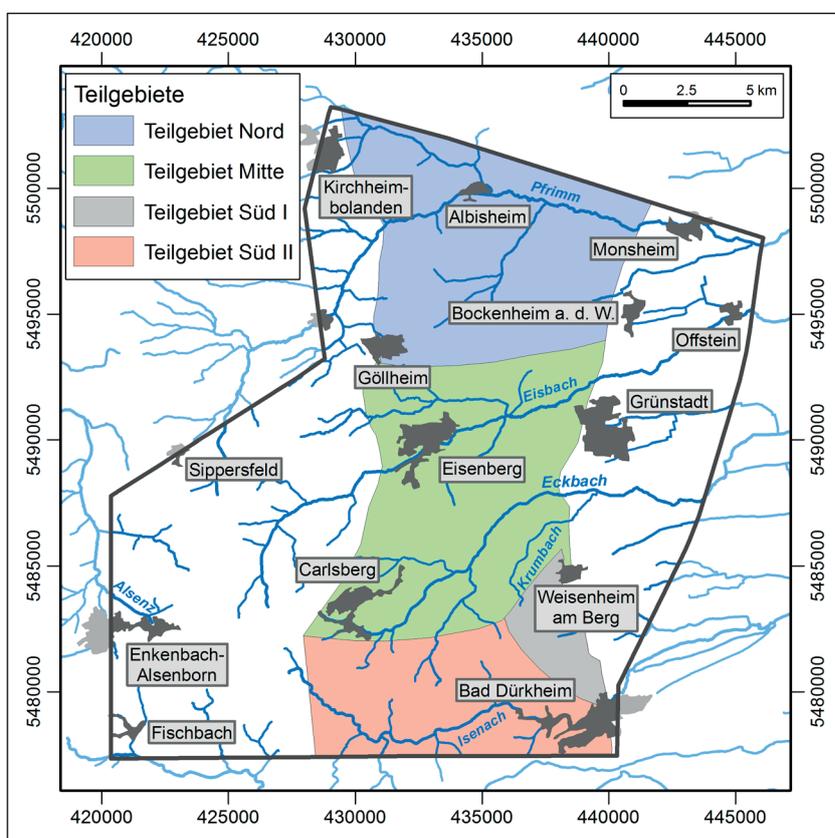


Abb. 8.4: Lage der Teilgebiete Nord, Mitte und Süd.

Die Abschätzung basiert auf folgenden Rahmendaten bzw. es werden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- mittlere Entnahmemengen der Jahre 2008 und 2013,
- Abschätzungen der Randzuflüsse und Randabflüsse entsprechend Kapitel 7.3,

- für die Teilgebiete Nord und Süd: Jährliche Grundwasserneubildungsraten entsprechend der Varianten I (MULEWF2015) sowie II und III (LUWG 2015; s. Karte 5),
- für das Teilgebiet Mitte: Die im Jahre 2012 an insgesamt 35 Messpunkten vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht und den Regionalstellen der Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd gemessenen Abflüsse der Gewässer (s. a. HANAUER & ROSSMANN 2013). Im Vergleich zu Mittelwasser und Mittlerem Niedrigwasser findet sich die angetroffene Abflusssituation etwas über dem mittleren Niedrigwasserabfluss, also dem Basisabfluss im Gewässer (BAUMEISTER 2013).

8.2.1 Teilgebiet Nord

Es besteht eine weiträumige Grundwasserstockwerksgliederung. Die beiden Grundwasserstockwerke werden durch die Grundwassergeringleiter der hydrogeologischen Einheit MT voneinander getrennt (Mergeltertiär; s. a. Karten 3 und 4).

Im oberen Grundwasserstockwerk (Kalktertiär, hydrogeologische Einheit KT) entspricht das Grundwasserangebot der Grundwasserneubildung. Der Grundwasserabstrom erfolgt in die Pfrimm bzw. ihre Zuflüsse. Die aus den Niedrigwasserabflussmessungen im Jahr 2012 ermittelten Grundwasserneubildungsraten von 37 bis 48 mm/a sind in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen von MULEWF (2015) und LUWG (2015), BLOMENHOFER ET AL. (2012) sowie GOLDSCHMITT (2015), die in Karte 5 dargestellt sind.

Im tieferen Grundwasserstockwerk (hydrogeologische Einheit z+s+mu, Buntsandsteingrundwasserleiter) findet keine Grundwasserneubildung statt. Die Gründe hierfür sind:

- die Überdeckung durch das sehr gering durchlässige Mergeltertiär (hydrogeologische Einheit MT) und
- die oberhalb der Schichtoberkante liegende Grundwasserdruckfläche des tieferen Grundwasserstockwerks (s. a. Karten 3 und 4).

Der anzunehmende Randzufluss aus westlicher Richtung dürfte in seiner Größenordnung dem Randabfluss entsprechen (vgl. Kapitel 7.3).

Die Grundwasserentnahmen im oberen Grundwasserstockwerk (Kalktertiär, hydrogeologische Einheit KT) erfolgen an den Quellen in Einselfthum und Mölsheim sowie an den Betriebsbrunnen im Steinbruch Rüssingen. Es bestehen noch wenige weitere Entnahmestellen, die in Anzahl und Größenordnung allerdings nicht ins Gewicht fallen.

Die Grundwasserbilanz für das obere Grundwasserstockwerk ist nach den Abschätzungen in Tabelle 8.1 ausgeglichen. Die Grundwasserneubildung kommt weitestgehend als Grundwasserabstrom bzw. als Teilgebietsbasisabfluss der Pfrimm zugute.

Aus dem tieferen Grundwasserstockwerk (Buntsandsteingrundwasserleiter, hydrogeologische Einheit z+s+mu) wird an den drei Brunnen in Albisheim und Zell/Harxheim Grundwasser gefördert (Karte 6).

Für das tiefere Grundwasserstockwerk ist nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand aufgrund der Grundwasserentnahmen eine negative Grundwasserbilanz zwischen etwa 0,1 bis 0,2 Mio.m³/a anzunehmen. Angesichts der Fließrichtungen und Grundwasserströmungsverhältnisse werden die Grundwasserentnahmen derzeit vermutlich annähernd vollständig als Speicherteilentleerung wirksam.

Tab. 8.1: Grundwasserbilanz Teilgebiet Nord.

Teilgebiet Nord		
Fläche [km ²]	ca. 82	
Grundwasserneubildungshöhe [mm]	17 bis 65	[m ³ /a]
	Zustrom / Neubildung	Abstrom / Entnahme
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – 1. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit KT)	3,3 bis 3,5 Mio.	
Entnahmen [m ³ /a] - Quelle Pfingstbrunnen (Einselthum) - Quelle Mölsheim - Brunnen Steinbruch Rüssingen		ca. 25.000 ca. 50.000 ca. 13.000
Grundwasserabstrom in die Pfrimm [m ³ /a] (Teilgebietsabfluss MNQ ca. 100 l/s)		ca. 3,2 Mio.
Summen [m³/a]	3,3 bis 3,5 Mio.	ca. 3,3 Mio.
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – 2. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit z+s+mu)	0	
Randzustrom	< 50.000	
Entnahmen [m ³ /a] - Brunnen Albisheim - Brunnen Zell/Harxheim		ca. 130.000 ca. 60.000
Randabstrom		< 50.000
Grundwasserabstrom in die Pfrimm [m ³ /a]		0
Summen [m³/a]	<0,05 Mio.	< 0,24 Mio.

8.2.2 Teilgebiet Mitte

Im Teilgebiet Mitte besteht nur für den Bereich nördlich des Eisbachs eine flächenhafte Grundwasserstockwerksgliederung (vgl. Teilgebiet Nord, Kapitel 8.2.1). Im größeren, südlich des Eisbachs gelegenen Bereich stellt der Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu) im Wesentlichen das obere Grundwasserstockwerk dar.

Den Trennhorizont der beiden Grundwasserstockwerke bilden die Grundwassergeringleiter des Mergel-tertiärs (hydrogeologische Einheit MT). Darüber hinaus führen die tonigen alttertiären Sedimente (hydrogeologische Einheit AT) im Bereich des Eisenberger Beckens zu stark gespanntem Grundwasser in der hydrogeologischen Einheit z+s+mu.

Im oberen Grundwasserstockwerk (Kalktertiär, hydrogeologische Einheit KT) entspricht das Grundwasserangebot im Wesentlichen der Grundwasserneubildung. Der Grundwasserabstrom erfolgt überwiegend in den Eisbach und in den Eckbach sowie deren Zuflüsse.

Die Grundwasserentnahmen aus den Karst- und Kluftgrundwasserleitern der hydrogeologischen Einheit KT erfolgen an zwei Quellen und sind in ihrer Größenordnung nicht bedeutend (s. a. Tabelle 8.2, s. a. Karten 2 und 6).

Aus dem Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu) werden etwa 4,7 Mio. m³/a Grundwasser (ca. 149 l/s) an 35 Brunnen entnommen. Die Brunnen werden 5 Gewinnungsgebieten zugeordnet (vgl. Tabelle 7.2; s. Karte 6).

Tab. 8.2: Grundwasserbilanz Teilgebiet Mitte.

Teilgebiet Mitte		
Fläche [km ²]	ca. 91	
davon ohne tertiäre Überdeckung [km ²]	ca. 53	
Grundwasserneubildungshöhe [mm]	17 bis 188	[m ³ /a]
	Zustrom / Neubildung	Abstrom / Entnahme
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – 1. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit KT)	0,5 bis 0,6 Mio.	
Entnahmen [m ³ /a] - Höhlenfelsquellen - Breitenbrunnenquelle		bis ca. 15.000 bis ca. 14.000
Grundwasserabstrom in Eisbach und Eckbach [m ³ /a] (Teilgebietsabfluss MNQ ca. 15 bis 19 l/s)		ca. 0,5 bis 0,6 Mio.
Summen [m ³ /a]	0,5 bis 0,6 Mio.	ca. 0,5 bis 0,6 Mio.
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – 1. bzw. 2. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit z+s+mu)	5,9 bis 6,3 Mio. (Variante III)	
Randzustrom	ca. 0,15 Mio.	
Entnahmen [m ³ /a] - Mitte I - Mitte II - Mitte III - Mitte IV - Mitte V		ca. 1,1 Mio. ca. 1,6 Mio. ca. 0,5 Mio. ca. 0,9 Mio. ca. 0,6 Mio.
Randabstrom		ca. 0,15 Mio.
Grundwasserabstrom (Eisbach, Eckbach und Krumbach [m ³ /a])		ca. 1,7 bis 2,6 Mio.
Summen [m ³ /a]	6,1 bis 6,5 Mio.	ca. 6,4 bis 7,3 Mio.

Die Grundwasserbilanz ist auf Basis folgender Daten und Annahmen abschätzbar:

- Der Abfluss des Eisbachs beim Eintritt in das Teilgebiet Mitte lässt sich abschätzen: Nach MULEWF (2015) und Luwg (2015) liegt die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet des Eisbachs bei etwa 115 bis 135 mm (s. Karte 5, Varianten I bis III). Hieraus ergibt sich ein anzunehmender Abfluss des Eisbachs von etwa 135 bis 158 l/s (vgl. a. BITZER & LENZ 2002).
- Für den Eckbach wird nach den Messungen im Jahr 2012 ein Abfluss von ca. 6 l/s beim Eintritt in das Teilgebiet angesetzt.

- Der Abfluss der Gewässer beim Verlassen des Teilgebiets Mitte wird auf Basis der o. g. Messungen abgeschätzt:
 - Abfluss Eisbach: ca. 240 l/s
 - Abfluss Eckbach: ca. 40 l/s
 - Abfluss Krumbach: ca. 4 l/s
- Der Grundwasserabstrom aus der hydrogeologischen Einheit KT im Teilgebiet Mitte (Einzugsgebiet etwa 12,6 km²) in die Gewässer beträgt bei einer abgeschätzten Grundwasserneubildung von 37 bis 48 mm/a etwa 0,5 bis 0,6 Mio. m³/a.
- Die Einleitungen der Kläranlagen in die Gewässer sind mit 1,5 Mio. m³/a anzusetzen (ca. 48 l/s).

Die aufgeführten und zur Abschätzung der Grundwasserbilanz berücksichtigten Komponenten sind in der Abbildung 8.5 schematisch dargestellt.

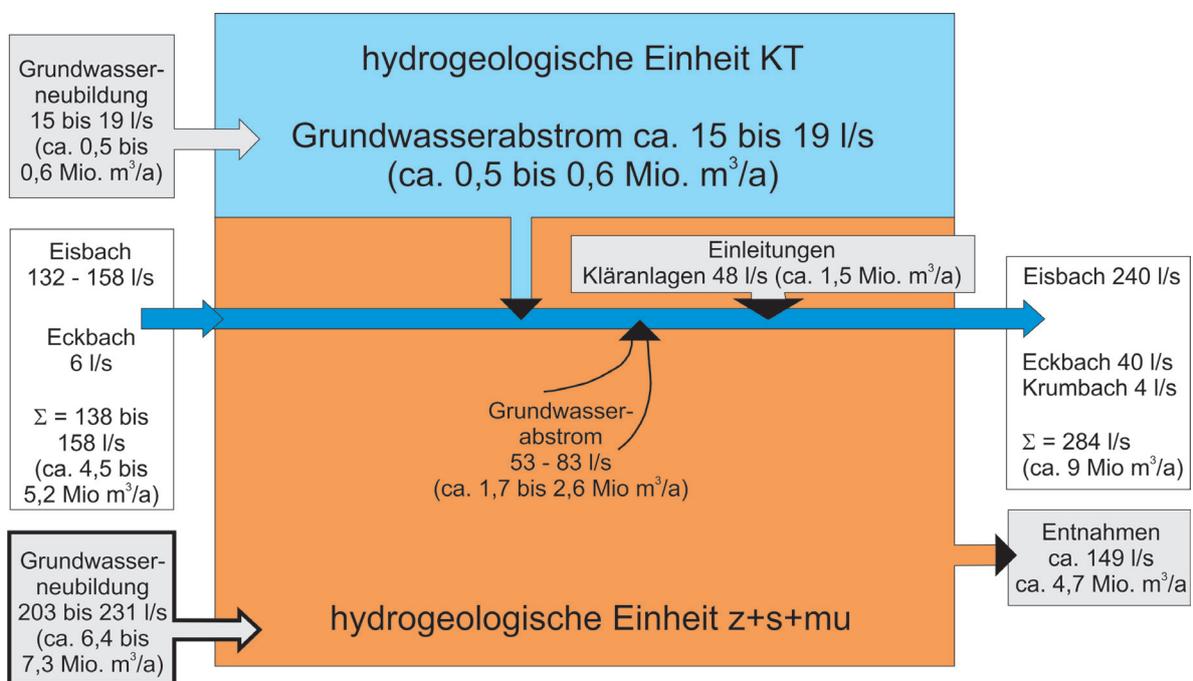


Abb. 8.5: Grundwasserbilanz für das Teilgebiet Mitte (Erläuterungen siehe Text).

Die Grundwasserbilanz für das Teilgebiet Mitte wäre demnach ausgeglichen, wenn die Grundwasserneubildungsrate in der hydrogeologischen Einheit z+s+mu etwa 118 bis 134 mm/a bzw. etwa 6,4 bis 7,3 Mio. m³/a beträgt (s. a. Abb. 8.5).

Für das Teilgebiet Mitte werden von MULEWF (2015) und LUWG (2015) je nach Modellvariante folgende Mittelwerte angegeben: 117 mm (Variante I), 91 mm (Variante II) und 115 mm (Variante III).

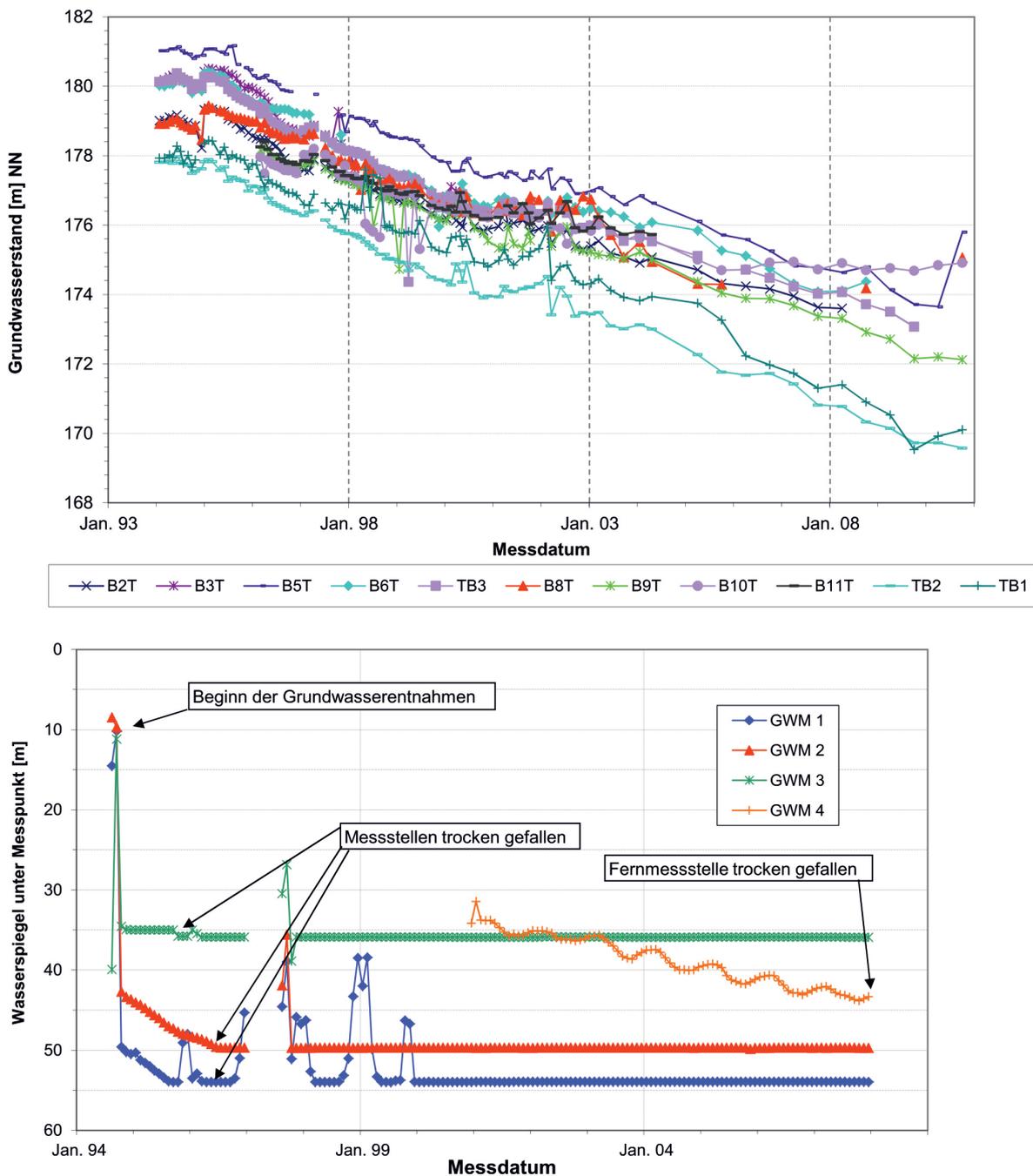


Abb. 8.6: Grundwasserstandsentwicklung im Teilgebiet Mitte III (Leinger Tal; obere Grafik) und Mitte IV (Krumbachtal; untere Grafik); Abbildungen aus BITZER (2013b).

Aus dem Vergleich der zur Bilanzdeckung notwendigen Grundwasserneubildung von 6,4 bis 7,3 Mio. m³/a (vgl. Abb. 8.5 und Tab. 8.2) mit den je nach Variante ermittelten Werten ergibt sich die Möglichkeit einer etwa ausgeglichenen Bilanz bis hin zu einer Bilanzunterdeckung bis zu 2,3 Mio. m³/a. Unter Ansatz der Variante III wäre ein mögliches Bilanzdefizit im Bereich bis zu 1,2 Mio. m³/a zu erwarten (Tab. 8.2). Die vergleichsweise wenigen langfristigen Beobachtungen zur Grundwasserstandsentwicklung deuten ein solches Defizit an (Abb. 8.6).

Bei diesen Betrachtungen sind die möglichen, wasserrechtlich bislang nicht erfassten Grundwasserentnahmen im Zuge der Rohstoffgewinnung im Gebiet um Eisenberg nicht enthalten. HANAUER & SZIJÁRTÓ (2014) setzen hierzu eine Menge von 0,3 Mio. m³/a an.

8.2.3 Teilgebiet Süd

Im Teilgebiet Süd bildet die hydrogeologische Einheit z+s+mu das obere Grundwasserstockwerk. Im Weiteren wird die Grundwasserneubildung entsprechend der Variante III zugrunde gelegt (s. Karte 5; Luwg 2015). Der Grundwasserabstrom erfolgt im Wesentlichen in die Isenach und ihre Zuflüsse.

Aus dem Teilgebiet Süd I werden aus 7 Brunnen bis ca. 0,25 Mio. m³/a entnommen. Die Grundwasserentnahmen im Teilgebiet Süd II erfolgen aus 16 Quellen und Brunnen und betragen jährlich etwa 1,6 Mio. m³. Die Werke Cordier/Schleipen leiten ihre geklärten Prozesswässer in Höhe der Grundwasserentnahmemenge in die Isenach ein (Tab. 8.3).

Für den Abfluss aus dem Teilgebiet Süd wurde der langjährige mittlere Abfluss der Isenach am Pegel Bad Dürkheim (150 l/s) entsprechend dem Flächenanteil des Teilgebiets Süd am Einzugsgebiet des Pegels angesetzt (ca. 75 %).

Die auf Basis der regionalisierten Niedrigwasserabflüsse abgeschätzte Grundwasserneubildung (Karte 5, Varianten I bis III; MULEWF 2015 und Luwg 2015) liegt auch bei Annahme vergleichsweise geringerer Werte (Variante III) für die Teilgebiete Süd I und II um etwa 0,9 bzw. 1,5 Mio. m³/a über den Werten, die bei Berücksichtigung der Entnahmen, Einleitungen und Abflüsse für eine ausgeglichene Bilanz anzunehmen wären.

Für das Teilgebiet Süd I ist anzunehmen, dass die Grundwasserneubildung bei den Varianten I bis III (MULEWF 2015 und Luwg 2015) deutlich zu hoch angesetzt ist. Für einen möglichen unterirdischen Grundwasserabstrom in der Größenordnung von ca. 0,9 Mio. m³/a nach Westen in den Oberrheingraben, der die Bilanz (Tab. 8.3) ausgleichen würde, liegen bislang keine Anhaltspunkte vor.

Für das Teilgebiet Süd II ist möglicherweise der Teilgebietsabfluss der Isenach zu gering angesetzt. Der Pegel Bad Dürkheim befindet sich bereits östlich des Störungssystems, das die Randscholle im Westen begrenzt. Aus Standorten vergleichbarer geologischer und topografischer Verhältnisse (z. B. der Eisbach bei Eisenberg) ist bekannt, dass die Bäche beim Übertritt in die morphologisch deutlich tiefer liegenden Randschollen deutliche Abflussverluste aufweisen (influente Verhältnisse). Zu dieser Annahme passt der mit 185 l/s deutlich höhere mittlere Abfluss der Isenach am stromaufwärts gelegenen Pegel Hardenburg.

Tab. 8.3: Grundwasserbilanz Teilgebiet Süd.

Teilgebiet Süd		
Fläche [km ²]		
Teilgebiet Süd I	ca. 11	
Teilgebiet Süd II	ca. 50	
Grundwasserneubildungshöhe [mm]	21 bis 184	[m ³ /a]
	Zustrom / Neubildung	Abstrom / Entnahme
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – Teilgebiet Süd I – – 1. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit z+s+mu)	ca. 1,4 Mio. (Variante III)	
Entnahmen [m ³ /a]		
- Brunnen Weisenheim		ca. 40.000
- Brunnen Schlammberg, Neuling, Borntal		ca. 60.000
- Brunnen Leistadt		ca. 150.000
Randabstrom (geschätzt)		0
Summen	ca. 1,4 Mio.	ca. 0,25 Mio.
Grundwasserneubildung [m ³ /a] – Teilgebiet Süd II – – 1. Grundwasserstockwerk – (Hydrogeologische Einheit z+s+mu)	ca. 7 Mio. (Variante III)	
Entnahmen [m ³ /a]		
- Sausental, Assel, Untermühle		ca. 246.000
- Br. Fürth		ca. 207.000
- Isenach-Tal		ca. 530.000
- Werke Cordier/Schleipen		(ca. 614.000)*
Randabstrom		1 Mio.
Grundwasserabstrom (anteilig) in die Isenach [m ³ /a] (Teilgebietsabfluss MNQ ca. 112 l/s; geschätzt)		ca. 3,5 Mio.
Summen	ca. 7 Mio.	ca. 5.5 Mio.

* das für Betriebsprozesse entnommene Grundwasser wird geklärt in die Isenach eingeleitet.

8.3 Untersuchungs- und Bewirtschaftungsempfehlungen für die Teilgebiete

- In den Teilgebieten Nord und Mitte sind nach der Abschätzung der Grundwasserbilanzen für das Kalktertiär (hydrogeologische Einheit KT; oberes Grundwasserstockwerk) das Grundwasserdargebot und die gemessenen Abflüsse in guter Übereinstimmung; die Bilanzen sind im Wesentlichen ausgeglichen.

Für das Kalktertiär (hydrogeologische Einheit KT) ergibt sich nach derzeitigem Kenntnisstand kein spezieller Untersuchungsbedarf.

Im Buntsandsteinaquifer, der das tiefere Grundwasserstockwerk bildet, findet keine relevante Grundwasserneubildung statt. Die Grundwasserentnahmen bewirken hier sehr wahrscheinlich eine Speicherteilentleerung. Für die künftige Grundwasserbewirtschaftung wird eine geeignete Grundwasserbeobachtung empfohlen. Hierzu sollten an geeigneten Grundwasseraufschlüssen in angepassten Zeitabständen u.a. Untersuchungen zur Altersstruktur des Grundwassers durchgeführt werden.

- Im Teilgebiet Mitte bestehen für den Buntsandsteinaquifer (hydrogeologische Einheit z+s+mu) aufgrund der in mehreren Grundwassermessstellen und Brunnen langfristig sinkenden Grundwasserstände Hinweise auf ein Grundwasserdargebotsdefizit (z. B. BITZER 2013, HANAUER & ROSSMANN 2013 und OBERMEYER 2010). Für die künftige Grundwasserbewirtschaftung wird eine den hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Verhältnissen angemessene Grundwasserbeobachtung empfohlen.
 - Hierzu sollten Messstellen zur Beobachtung der Grundwasserstände eingerichtet und die Grundwasserbeobachtung an den wenigen bestehenden Messstellen mit langjährigen Aufzeichnungen fortgeführt werden.
 - In Bereichen, in denen Grundwasser aus der hydrogeologischen Einheit KT in die hydrogeologische Einheit z+s+mu zutreten kann bzw. dies bereits erfolgt (Gewinnungsgebiet Mitte II), ist darüber hinaus auch die Beschaffenheit des Grundwassers zu beobachten.
 - Ergänzend sind an geeigneten Messstellen in angepassten Zeitabständen Untersuchungen zur Altersstruktur des Grundwassers hilfreich.
 - Begleitend sollten wiederholte Abflussmessungen in den Gewässern Eisbach, Eckbach und Krumbach durchgeführt werden. Zu berücksichtigen ist, dass der Eckbach abschnittsweise unterströmt wird und daher nur einen Teil des Grundwasserabstroms aufnimmt. Die Lage von Punkten zur Messung der Abflüsse sollte auf Basis der aktuellen geologischen Karte und unter Berücksichtigung der Eigenschaften der hydrogeologischen Einheiten festgelegt werden.
 - Für das Teilgebiet Mitte werden die Erarbeitung eines Konzepts zur langfristigen Grundwasserbeobachtung (entsprechend der zuvor genannten Punkte) sowie weiterführende Untersuchungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung empfohlen.
 - Mittelfristig sind die Wasserrechte der Brunnen an das nutzbare Grundwasserdargebot anzupassen und die Grenzen der Wasserschutzgebiete zu überprüfen.
 - Zur langfristigen Deckung des Trinkwasserbedarfs im Untersuchungsraum sollte von den Wasserversorgungsunternehmen ein gemeinsamer Bewirtschaftungsplan aufgestellt werden, welcher Bedarf und Deckung sowie notwendige Verbundlösungen beinhaltet.
- Für das Teilgebiet Süd liegen keine Hinweise auf eine Übernutzung des Grundwasserdargebots vor. Allerdings wird in den bisherigen Modellen von einer deutlich höheren Grundwasserneubildung ausgegangen, als dies nach den gemessenen Abflüssen und Entnahmen zu erwarten ist. Im Sinne einer fachlich abgesicherten Grundwasserbewirtschaftung sollte durch geeignete Messungen Sicherheit über die realistisch anzusetzende Grundwasserneubildung gewonnen werden. Hierzu werden weitere Abflussmessungen der Isenach an geeigneten Punkten empfohlen. Weiterhin können Schüttungsmessungen an geeigneten Quellen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung genutzt werden.

Für das Teilgebiet Süd werden weiterführende Untersuchungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung empfohlen.

9 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG DER VORLIEGENDEN ERGEBNISSE

Mit dem Bericht „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Raum Grünstadt“ liegt nun eine aktuelle, den wasserwirtschaftlichen Erfordernissen im Bearbeitungsmaßstab angemessene geologisch-hydrogeologische Grundlage vor.

Die zahlreichen geologischen Einheiten konnten zu hydrogeologischen Einheiten zusammengefasst werden. Auf dieser Basis wurde ein verbessertes Verständnis zum Bau des Untergrunds aus hydrogeologischer Sicht erreicht.

Es besteht eine intensive horizontale und vertikale Gliederung des Untersuchungsgebietes. Erheblich wechselnde Mächtigkeiten Grundwasser leitender und geringleitender hydrogeologischer Einheiten, durch Störungen und unterschiedliches Schichteneinfallen stark wechselnde Lagerungsverhältnisse sowie die räumliche Variation hydrogeologischer Eigenschaften sind Ursache für lokal sehr unterschiedliche Grundwasserverhältnisse.

Es wurde eine Gliederung des Untersuchungsgebietes erarbeitet, die eine Abschätzung der Grundwasserbilanzen für Teilgebiete ermöglicht.

Es bestehen jedoch erhebliche Unsicherheiten und Kenntnislücken bei der Abschätzung dafür relevanter Größen, insbesondere bei der Grundwasserneubildung. Daher sind die Wasserbilanzen für die Teilgebiete bislang nicht hinreichend zuverlässig geklärt.

Eine abgesicherte Festlegung des wasserwirtschaftlichen Rahmens für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung ist derzeit noch nicht möglich.

Aus diesem Grund werden weiterführende Untersuchungen empfohlen, die die zukünftige Grundwasserbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet begleiten sollen.

Hierzu gehören Messungen der Abflüsse von Eisbach, Eckbach und Isenach sowie der Grundwasserstände in Messstellen und Brunnen, Untersuchungen der Beschaffenheit der Grundwässer sowie der Altersstruktur des Grundwassers im wasserwirtschaftlich bedeutsamen Buntsandsteingrundwasserleiter (hydrogeologische Einheit z+s+mu).

Ziel sollte die Aufstellung eines großräumigen Bewirtschaftungsplans insbesondere für das Teilgebiet Mitte sein, in dem das nutzbare Grundwasserangebot für die Gewinnungsgebiete neu definiert wird, um die Deckung des Trinkwasserbedarfs langfristig zu sichern. Hierzu gehören auch ggf. notwendige Verbundlösungen. Der Plan sollte von den betroffenen Wasserversorgungsunternehmen gemeinsam aufgestellt und mit der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes abgestimmt werden.

SCHRIFTEN

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung.– 438 S., 5. Auflage, [Hrsg.]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten; Hannover.
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DBG (1998): Systematik der Böden und bodenbildenden Substrate Deutschlands.– Mitt. d. Dt. bodenkundl. Ges., Bd. 86.
- BAUMEISTER, C. (2013): Bericht zur Abflussregionalisierung für die Hydrogeologische Kartierung Grünstadt.– 7 S., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG); Mainz (unveröffentlicht).
- BAUMEISTER, C. & KAMPF, J. (2002): Materialien zur Regionalisierung des mittleren Niedrigwasserabflusses in Rheinland-Pfalz.– 27 S., [Hrsg.]: Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (LfW); Mainz.
- BITZER, F. (2014): Zur Hydrogeologie im Übergangsbereich von Pfälzer Mulde, Mainzer Becken und Oberrheingraben (Exkursion I am 25. April 2014).– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 96: 195-222; Stuttgart.
- BITZER, F. (2013a): Mittlere Gebirgsdurchlässigkeiten der hydrogeologischen Einheiten im Großraum Grünstadt, Rheinland-Pfalz.– Mainzer geowiss. Mitt., 41: 7-20; Mainz.
- BITZER, F. (2013b): Zur Entwicklung der Grundwasserverhältnisse im Großraum Grünstadt, Rheinland-Pfalz.– Mainzer geowiss. Mitt., 41: 21-36; Mainz.
- BITZER, F. (2012): Zu den Untergrundverhältnissen im Übergangsbereich des westlichen Oberrheingrabenrandes und Mainzer Beckens.– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 94: 9-27; Stuttgart.
- BITZER, F. (2010a): Zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Brunnen 5 und 6 Obrigheim der Verbandsgemeindewerke Grünstadt-Land; Gemarkungen Obrigheim, Mühlheim, Colgenstein-Heidesheim.– Gutachten des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz vom 16.08.2010; Mainz (unveröffentlicht).
- BITZER, F. (2010b): Zur Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Wasserfassungen "Breitenbrunnenquellen" der Stadtwerke Grünstadt; Gemarkung Mertesheim.– Gutachten des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz vom 14.10.2010; Mainz (unveröffentlicht).
- BITZER, F. (2009): Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes für die Gewinnungsanlagen im Leininger Tal der Verbandsgemeindewerke Grünstadt-Land (Gem. Neuleiningen).– Gutachten des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz vom 17.06.2009; Mainz (unveröffentlicht).
- BITZER, F. & LENZ, W. (2002): Hydrogeologisches Gutachten zur Speisung und potentiellen weiteren Entwicklung des Gienanthweiher in Eisenberg.– Gutachten des Büros für Hydrogeologie und Umwelt GmbH vom 01.03.2002; Gießen (unveröffentlicht).
- BLOMENHOFER, A., GUDERA, T., NEUMANN, J., SCHWEBLER, W., SPRENGER, W. & WINGERING, M. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz – Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003- und WETTREG2006-Klimaszenarien.– 112 S., KLIWA-Berichte Heft 17, [Hrsg.]: Landesanstalt für

- Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU), Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG), Deutscher Wetterdienst (DWD).
- BOY, J., DITTRICH, D., DREHER, T., FLICK, H., GAD, J., GOLDSCHMITT, M., HANEKE, J., HAUENSTEIN, M., HOHBERGER, K.-H., JAHNEL, C., KRIMMEL, M., LORENZ, V., LOTHHAMMER, H., LUTZ, H., NAGEL, J., REQUADT, H., ROGALL, M., SCHREIBER, U., SCHÄFER, R., WEHINGER, A. & WEIDENFELLER, M. (2005): Geologie von Rheinland-Pfalz.- 400 S. [Hrsg.]: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller); Stuttgart.
- DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (2012): Stratigraphie von Deutschland X – Rotliegend Teil 1: Innervariscische Becken.– Schr.-R. Dt. Ges. Geowiss., 61: 882 S.; Hannover.
- DEUTSCHE STRATIGRAPHISCHE KOMMISSION (2011): Stratigraphie von Deutschland IX – Tertiär, Teil 1: Oberrheingraben und benachbarte Tertiärgebiete.– Schr.-R. Dt. Ges. Geowiss., 75: 464 S.; Hannover.
- DIN 4049 T3 (1994): Hydrologie. Begriffe zur quantitativen Hydrologie.– 80. S, (Beuth); Berlin.
- DITTRICH, D. (in Vorb): Pfälzer Senke. Stauf-Formation. Gräfenhausen-Formation. Sarnstall-Formation. Queich-Formation. Rothenberg-Formation. Annweiler-Formation. Speyerbach-Formation.– In: [Hrsg.]: Deutsche Stratigraphische Kommission: Stratigraphie von Deutschland. Zechstein, Schr.-R. Dt. Ges. Geowiss.; Hannover.
- DITTRICH, D. (2013): Wüsten und Meere – Die Pfalz im Erdmittelalter.– In: [Hrsg.]: Haneke, J. & Kremb, K.: Beiträge zur Geologie der Pfalz, 108 S., Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften; Speyer.
- DITTRICH, D. (2006): Lagerungsverhältnisse (Tektonik).– In: ROHN, J. & CLAUSS, R.: Geologische Karte von Rheinland-Pfalz 1 : 25 000 – Erläuterungen Blatt 6613 Elmstein, 83 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- DITTRICH, D. (2001): Stratigraphische Gliederung des Pfälzer Buntsandstein.– In: ROHN, J. & KASSEBEER, W.: Geologische Karte von Rheinland-Pfalz 1 : 25 000 – Erläuterungen Blatt 6712 Merzalben, 88 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- DITTRICH, D. (1996): Unterer Buntsandstein und die Randfazies des Zechsteins in der nördlichen Pfälzer Mulde (Exkursionen C1 am 11. und C2 am 12. April 1996).– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 78: 71-94; Stuttgart.
- DRISCOLL, F. G. (1986): Groundwater and wells.– 1089 S., [Hrsg.]: Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul (Minnesota), Reynolds Guyar Designs.
- FRANKE, W. (2014): Geologische Karte von Rheinland-Pfalz 1 : 25 000 – Blatt 6414 Grünstadt-West, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- FURTAK, H. & LANGUTH, H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen.– Mem. IAH-Congress, 1965, VII, S. 86-96; Hannover.
- GLA (1986): Bodenkarte von Rheinland-Pfalz 1 : 25.000, Blatt 6415 Grünstadt-Ost.– Bearbeitet von H.-D. Scheer & A. Wourtsakis, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz; Mainz.
- GLA (1988): Bodenkarte von Rheinland-Pfalz 1 : 25.000, Blatt 6515 Bad Dürkheim-Ost.– Bearbeitet von R. Harke & A. Wourtsakis, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz; Mainz.

- GLA (1989): Bodenkarte von Rheinland-Pfalz 1 : 25.000, Blatt 6315 Worms-Pfeddersheim.– Bearbeitet von J. Ottenstein & A. Wourtsakis, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz; Mainz.
- GLA (1998): Bodenkarte von Rheinland-Pfalz 1 : 25.000, Blatt 6113 Bad Kreuznach.– Bearbeitet von H.-D. Scheer, K. Agsten & A. Wourtsakis, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz; Mainz.
- GOLDSCHMITT, M. (2015): Modellierung der Sickerwasserrate nach dem TUB-BGR-Verfahren für Rheinland-Pfalz.– Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz (unveröffentlicht).
- GRIMM, K. I. & GRIMM, M. C. (2003): Geologischer Führer durch das Mainzer Tertiärbecken.- In: Grimm, K. I. & Grimm, M. C., Neuffer, F. O. & Lutz, H. [Hrsg.]: Die fossilen Wirbellosen des Mainzer Tertiärbeckens, Teil 1-1.– Mainzer Naturwiss. Archiv, Beiheft 26: 158 S.; Mainz.
- HANAUER, B. & SZIJÁRTÓ, I. (2014): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftungskonzept im Raum „Bad Dürkheim – Grünstadt – Göllheim – Eisenberg: Hydrologischer Bericht (3. Zwischenbericht).– Gutachten des Büros für Hydrogeologie und Umwelt GmbH vom Dezember 2014; Gießen (unveröffentlicht).
- HANAUER, B. & ROSSMANN, H. (2014): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftungskonzept im Raum „Bad Dürkheim – Grünstadt – Göllheim – Eisenberg: Hydrologischer Bericht (2. Zwischenbericht).– Gutachten des Büros für Hydrogeologie und Umwelt GmbH vom Juni 2014; Gießen (unveröffentlicht).
- HANAUER, B. & ROSSMANN, H. (2013): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftungskonzept im Raum „Bad Dürkheim – Grünstadt – Göllheim – Eisenberg: Hydrologischer Bericht (1. Zwischenbericht).– Gutachten des Büros für Hydrogeologie und Umwelt GmbH vom Juli 2013; Gießen (unveröffentlicht).
- HANEKE, J. (2013): Sedimentation und Magmatismus – Die Pfalz im Paläozoikum.– In: [Hrsg.]: Haneke, J. & Kremb, K.: Beiträge zur Geologie der Pfalz, 108 S., Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften; Speyer.
- KÄRCHER, T. (1987): Beiträge zur Lithologie und Hydrogeologie der Lockergesteinsablagerungen (Pliozän, Quartär) im Raum Frankenthal, Ludwigshafen, Mannheim, Speyer.– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 69: 5-11; Stuttgart.
- KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMnQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. – Z. deutsch. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeologie: 89-95; Hannover.
- KRAUTHAUSEN, B. & JENTSCH, G. (2007): Hydrogeologische Untersuchungen zur Neuausweisung des Wasserschutzgebietes „Bruch“ – Bericht.– Gutachten des Ingenieurbüros Hydrosond, Rheinmünster (unveröffentlicht).
- KRAUTHAUSEN, B. & JENTSCH, G. (2006): Hydrogeologische Untersuchungen im Isenachtal, Bad Dürkheim, zur Reaktivierung von 4 städtischen Brunnen September 2004 bis Februar 2006 – Dokumentation und Abschlußbericht.– Gutachten des Ingenieurbüros Hydrosond, Rheinmünster (unveröffentlicht).
- LGB (2009): Hydrogeologische Übersichtskarte von Rheinland-Pfalz 1 : 300 000 (HÜK 300).– Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.

- LGB (2003): Geologische Übersichtskarte von Rheinland-Pfalz 1 : 300 000 (GÜK 300).– Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- LGB & LFW (2004): Hydrogeologische Kartierung Kaiserslautern.– 96 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz & Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz; Mainz.
- LGB & LUWG (2010): Hydrogeologische Kartierung Bitburg-Trier.– 134 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz & Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; Mainz.
- LGRB (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben.– Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg, Baden-Württemberg), LGRB-Informationen 28: 104 S., 49 Abb., 7 Tab.; Freiburg i.Br.
- LINCK, C. J. (1963): Geophysics as an aid to the small water well contractor.– *Ground water*, 1: 33-37, (Blackwell) Malden; Mass.
- LOGAN, J. (1964): Estimating transmissibility from routine production tests of water wells.– *Ground Water*, 2, 1: S. 35-37, Columbus, Ohio.
- LOHMAN, S. W. (1972): *Ground-water hydraulics*.– 70 S., Geol. Survey Paper 708, U.S. Geological Survey.
- LORENZ, G. & HEIDINGER, M. (2014): Isotopenhydrologische Untersuchungen an Grundwasserproben aus der Pfälzer Mulde.– Gutachten der Hydroisotop GmbH vom Januar 2014; Schweitenkirchen (unveröffentlicht).
- LORENZ, V., STAPF, K. R. G., HANEKE, J. & ATZBACH, O. (1987): Das Rotliegende des Saar-Nahe-Gebietes in der Umgebung des Donnersberges (Exkursion B am 23. und 24. April 1987).– *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F.* 69: 53-76; Stuttgart.
- LOTHHAMMER, H. (1996): Die Böden des mesozoischen Schichtstufenlandes der Rheinpfalz.– *Mainzer geowiss. Mitt.*, 25: 183-204; Mainz.
- LUWG (2015): Ermittlung der Grundwasserneubildung aus regionalisierten mittleren Niedrigwasserabflüssen in Rheinland-Pfalz – Variantenstudie für den Buntsandstein.– Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; Mainz (unveröffentlicht).
- LUWG (2005): *Hydrologischer Atlas Rheinland-Pfalz*.– 44 Bl., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; Mainz.
- MELUF BW, HESS. MLULF & MLWF RP (1980): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum – Analyse des Ist-Zustandes.– 71 S., Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg & Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten & Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz; Stuttgart, Wiesbaden; Mainz.
- MUF BW, HESS. MULF & MUF RP (1999): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983–1998.– 155 S., Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg & Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten & Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.
- MULEWF (2015): *Digitales Wasserbuch*.– Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten; <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/7845/> (Stand März 2015).

- OBERMEYER (2010): Hydrogeologisches Regionalgutachten für den Bereich der Verbandsgemeinde Göllheim.– Gutachten der Obermeyer Planen + Beraten GmbH vom 18.05.2010; Kaiserslautern (unveröffentlicht).
- OSTER, H. (2014): Altersbestimmung des Grundwassers an Brunnen und Messstellen im Raum Grünstadt.– Gutachten des Spurenstofflabors Dr. Harald Oster vom April 2014; Wachenheim (unveröffentlicht).
- PEMÖLLER, A. (1969): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 160 Landau – Geographische Landesaufnahme 1 : 200.000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands.– 47 S., Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung; Bonn-Bad Godesberg.
- PETERS, G. (2007): Active tectonics in the Upper Rhine Graben – Integration of paleoseismology, geomorphology and geomechanical modeling.– 270 S., Ph. D. Thesis; Vrije Universiteit Amsterdam.
- PIPER, A. M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis.– Trans. Amer. Geophys. Union, 25,6: 914-928; Washington, D.C.
- ROHN, J. & KASSEBEER, W. (2001): Geologische Karte von Rheinland-Pfalz 1 : 25 000 – Erläuterungen Blatt 6712 Merzalben, 88 S., Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- ROTHAUSEN, K. (1989): Das Kalktertiär des Mainzer Beckens Oberoligozän – Untermiozän.– 398 S., Geologisches Jahrbuch Reihe A, Band A 110, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung oHG; Stuttgart.
- ROTHAUSEN, K. & SONNE, V. (1984): Mainzer Becken.– 203 S., Sammlung geologischer Führer Band 79, Gebr. Borntraeger; Stuttgart.
- SCHÄFER, P. (2013): Grabenbildung – Tertiäre Tektonik in der Pfalz.– In: [Hrsg]: Haneke, J. & Kremb, K.: Beiträge zur Geologie der Pfalz, 108 S., Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften; Speyer.
- SCHÄFER, P. (2012): Mainzer Becken, Stratigraphie – Paläontologie – Exkursionen.– 333 S., Sammlung geologischer Führer Band 79, Gebr. Borntraeger; Stuttgart.
- SCHÄFER, P. (2009): Geologische Karte von Rheinland-Pfalz, Blatt 6314 Kirchheimbolanden (mit Erläuterungen).- Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz; Mainz.
- SLA (2013): Statistische Berichte – Bevölkerung der Gemeinden am 30. Dezember 2012.– 55 S., Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz; Bad Ems.
- SONNE V. (1988): Oberer Rupelton, Schleichsand (Rupel) und Cyrenenmergel (tiefes Chatt) im Mainzer Becken: können sie mikropaläontologisch definiert werden?– Mainzer geowiss. Mit. 17: 19-30; Mainz.
- STAHMER, G. (1978): Das Tertiär der Vorbergzone zwischen Ungstein und Grünstadt.– 67 S., Diplomkartierung; Universität Heidelberg (unveröffentlicht).
- STAPF, K. R. G. (1988): Zur Tektonik des westlichen Rheingrabenrandes zwischen Nierstein und Wissembourg (Elsass).– Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 70: 399-410; Stuttgart.
- THEIS, C. V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.– Trans. Amer. Geophys. Union, 16: 519-524; Washington, D.C.

- UHLIG, H. (1964): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 150 Mainz – Geographische Landesaufnahme 1 : 200.000, Naturräumliche Gliederung Deutschlands.– 39 S., Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung; Bonn-Bad Godesberg.
- VOUTTA, A. (2012): Dokumentation – Durchführung eines Pumpversuchs im neuen Brunnen TB14 Wasserwerk Eisbachtal, Grünstadt.– Bericht der A. Voutta Grundwasserhydraulik; Herrenberg (unveröffentlicht).
- VOUTTA, A. (2011a): Dokumentation – Durchführung von zwei Pumpversuchen in den Grundwassermessstellen GWM1 und GWM2 Wasserwerk Eisbachtal, Grünstadt.– Bericht der A. Voutta Grundwasserhydraulik; Herrenberg (unveröffentlicht).
- VOUTTA, A. (2011b): Durchführung von geophysikalischen und geohydraulischen Messungen in der Erkundungsbohrung „EB10“ in Grünstadt, Wasserwerk im Eisbachtal.– Bericht der A. Voutta Grundwasserhydraulik; Herrenberg (unveröffentlicht).
- WEICKSEL & RODE (1998): Bericht Leistungspumpversuch Brunnen „Lindental IV“.– Gutachten der Weicksel & Rode GeoConsult GmbH; Kaiserslautern (unveröffentlicht).
- ZAKOSEK, H. (1991): Zur Genese und Gliederung des Rheintal-Tschernosems im nördlichen Oberrheingraben.– Mainzer geowiss. Mitt. 20: 159-176; Mainz.