



Hydrogeologie von Hessen – Taunus und Idsteiner Senke

Grundwasser in Hessen, Heft 4



Grundwasser in Hessen, Heft 4

Hydrogeologie von Hessen - Taunus und Idsteiner Senke

Wiesbaden, 2023

Impressum

Grundwasser in Hessen, Heft 4

ISSN 2364-9828

ISBN 978-3-89026-963-4

Hydrogeologie von Hessen – Taunus und Idsteiner Senke

Bearbeiter: Hannah Budde, Dr. Karl-Heinz Emmerich, Dr. Johann-Gerhard Fritsche, Mario Hergesell, Dr. Dieter Kämmerer, Dr. Christoph Kludt, Anne Kött, Constanze Lorenz-Hefner, Dr. Georg Mittelbach, Dr. Till Oehler, Dr.-Ing. Angela Prein, Harald Rückert, Renate Senner, Sybille Siebert

Redaktion: Hannah Budde, Renate Senner

Kartographie: Michaela Hoffmann

Layout: Martina Schaffner

Titelbild: Blick vom großen Feldberg zum Pferdkopf (Richtung NNW)

Topographische

Grundlagen: ATKIS@DLM 1000, © GeoBasis-DE/Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Darstellung durch das HLNUG

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611 69 39-111
Telefax: 0611 69 39-555
E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

www.hlnug.de

Das HLNUG auf Twitter:

https://twitter.com/hlnug_hessen

Diese Broschüre wurde mit FSC-Zertifizierung gedruckt.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Inhalt

Vorwort	5
1 Einleitung	6
2 Bearbeitungsgebiet	7
2.1 Geographische Lage	7
2.2 Naturräumliche Gliederung und Landnutzung	11
2.3 Oberflächengewässer	14
2.4 Hydrogeologische Teilräume	15
3 Böden	16
3.1 Übersicht	16
3.2 Entstehungsgeschichte der Böden im Taunus und der Idsteiner Senke	19
3.3 Eigenschaften der Böden im Taunus und in der Idsteiner Senke	20
4 Geologie	26
4.1 Geologischer Überblick	26
4.2 Vordertaunus	30
4.2.1 Bierstadt-Phyllit-Formation	30
4.2.2 Rossert-Metaandesit-Formation	30
4.2.3 Wiesbaden-Metarhyolith-Formation	31
4.2.4 Eppstein-Formation	31
4.2.5 Kellerskopf-Formation	31
4.2.6 Lorsbach-Formation	32
4.3 Taunuskamm-Einheit	32
4.3.1 Bunte-Schiefer-Formation	32
4.3.2 Hermeskeil-Formation	32
4.3.3 Taunusquarzit-Formation	33
4.4 Hintertaunus	34
4.4.1 Hunsrückschiefer-Formation (Ulmen-Unterstufe)	34
4.4.2 Singhofen-Formation (Singhofen/Vallendar-Unterstufe)	35
4.4.3 Ems-Quarzit-Formation (Ober-Ems, Lahnstein-Unterstufe)	36
4.5 Weitere Gesteinsformationen	36
4.6 Griedeler Horst und Oppershofener Horst	37
4.7 Lahn-Mulde	38
4.8 Hofheimer Rotliegend-Scholle	38
4.9 Idsteiner Senke	39
4.10 Quartäre Ablagerungen	39
4.11 Tektonik	39
4.12 Abbau oberflächennaher Lagerstätten	41
5 Hydrogeologie	43
5.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung	43
5.1.1 Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Abflussmessungen	44
5.1.1.1 Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Einzelmessungen des Trockenwetterabflusses im Jahr 2008	44
5.1.1.2 Ermittlung des langjährig mittleren Niedrigwasserabflusses anhand langjähriger Abfluss- Messreihen	50

5.1.2 Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung	56
5.1.2.1 Beschreibung des Bodenwasserhaushaltsmodells	56
5.1.2.2 Ermittlung der Grundwasserneubildung	58
5.1.2.3 Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsmodellierung	59
5.1.3 Diskussion und Bewertung	65
5.2 Hydrogeologische Teilräume	67
5.2.1 Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges	67
5.2.2 Idsteiner Senke	67
5.3 Bohrungen sowie anthropogene und natürliche Grundwasseraufschlüsse	68
5.3.1 Bohrungen	68
5.3.2 Grundwassermessstellen und Grundwasserstände	71
5.3.3 Quellen und Schüttungsverhalten	74
5.3.4 Grundwasserstollen	75
5.4 Mineral- und Thermalwasservorkommen	76
5.4.1 Begriffsbestimmung und Klassifizierung von Mineral- und Heilwässern sowie mineralisierten Wässern	76
5.4.2 Entstehung und Vorkommen	77
5.5 Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung und Verweilzeiten	81
5.6 Grundwasserbeschaffenheit	83
5.6.1 Methodik und Zielsetzung der hydrochemischen Grundwasserbewertung	83
5.6.2 Grundwässer des Paläozoikums des südlichen Rheinischen Schiefergebirges	88
5.6.2.1 Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus.....	89
5.6.2.2 Grundwässer der Sandstein-/Quarzitzüge des Taunuskamms und des Hintertaunus	91
5.6.2.3 Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus	93
5.6.2.4 Grundwässer der Gebiete mit mächtigerer quartärer bzw. tertiärer Überdeckung	96
5.6.3 Grundwässer der Idsteiner Senke	99
5.6.4 Flächenhafte Betrachtung der Verteilung der pH-Werte, Hydrogencarbonat-Konzentrationen, Gesamthärten, Nitrat- und Sulfat-Konzentrationen	100
6 Grundwasserbewirtschaftung	107
6.1 Grundwassererschließung und Grundwassergewinnung	107
6.2 Wasserschutzgebiete	108
6.2.1 Trinkwasserschutzgebiete	108
6.2.1.1 Nitratklassen	109
6.2.2 Heilquellenschutzgebiete	110
6.2.3 Wasserschutzgebiete des Taunus und der Idsteiner Senke	111
6.3 Zustand nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie	112
6.3.1 WRRL-Überwachungsmessnetze	113
6.3.2 Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper nach WRRL	114
6.3.3 Chemischer Zustand der Grundwasserkörper nach WRRL	114
7 Zusammenfassung	116
8 Verwendete Literatur	119
9 Abkürzungsverzeichnis	125

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

die hydrogeologische Landesaufnahme hat eine weitere umfassende Systembeschreibung für einen Teilraum in Hessen erarbeitet. Nach Vogelsberg, Odenwald und Sprendlinger Horst wurde nun das System des Taunus und der Idsteiner Senke eingehend hydrogeologisch untersucht und umfassend dargestellt.

Hydrogeologische Erläuterungen wurden den Geologischen Karten (GK 25) bereits seit Ende des 19. Jahrhunderts beigelegt. In der Regel wurde dabei für die Fläche des jeweiligen Kartenblatts ein hydrogeologischer Überblick zu den Themengebieten Grundwasserleiter, Grundwasserfließrichtungen, Grundwasserneubildung, Grundwasserbeschaffenheit und Wassergewinnung gegeben.

Seit Mitte der 1990er Jahre erfolgt die hydrogeologische Kartierung in Hessen blattschnittfrei. Zielsetzung ist hierbei die Erarbeitung einer umfassenden Systembeschreibung auf Ebene der einzelnen hydrogeologischen Teilräume. Diese Herangehensweise bietet den Vorteil, dass alle Informationen zur Beschreibung und zum Verständnis größerer, zusammenhängender Gesteinseinheiten mit ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften erhoben, dargestellt und ausgewertet werden. Die Themen Hydraulik, Grundwasserneubildung, Grundwasserbeschaffenheit und Wasserwirtschaft werden zu einer sich ergänzenden Systembeschreibung zusammengefasst, wobei sowohl vorhandene Daten aufbereitet als auch neue Daten erhoben werden.

Die hydrogeologische Landesaufnahme bietet hiermit der hessischen Landesregierung und ihr nachgeordneten Behörden sowie Planungs- und Ingenieurbüros, der Wasserwirtschaft und der Wissenschaft, aber auch interessierten Bürgerinnen und Bürgern ein umfassendes Grundlagenmaterial zur Hydrogeologie.



Dies ist gerade im Hinblick auf den Klimawandel, den demografischen Wandel und den damit einhergehenden Nutzungsdruck auf die Ressource Grundwasser wichtig, stellen diese Aspekte doch die Wasserversorgung einiger Regionen in den nächsten Jahrzehnten vor große Herausforderungen. Die hydrogeologische Landesaufnahme trägt somit u. a. zu einer umweltschonenden Grundwassernutzung sowie einem optimierten Schutz des Grundwassers und damit des Trinkwassers bei. Sie bietet weiterhin die Grundlage für kostensparende Planungen.

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Prof. Dr. Thomas Schmid
Präsident des Hessischen Landesamtes
für Naturschutz, Umwelt und Geologie

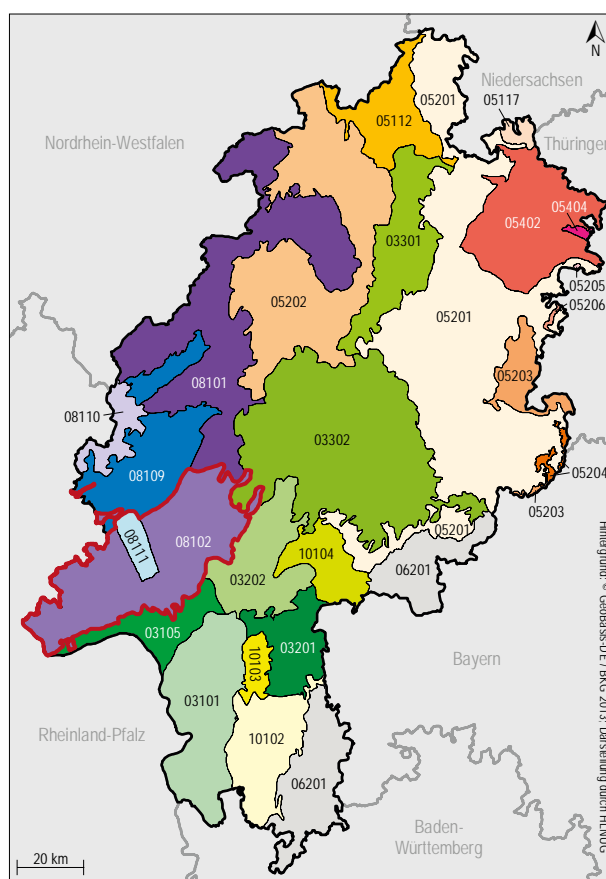
1 Einleitung

In Hessen finden sich 25 hydrogeologische Teilräume, die teilweise über die Landesgrenzen hinweggehen. Die Abgrenzung basiert auf der „Übersichtskarte der hydrogeologischen Einheiten grundwasserleitender Gesteine in Hessen“ (DIEDERICH et al. 1991). Die Teilräume werden im Wesentlichen durch die geologischen Gegebenheiten definiert, wobei sie durch Gesteinsart, Hohlraumart, Verfestigung, Durchlässigkeit, geochemischer Gesteinstyp und Leitercharakter gekennzeichnet sind (FRITSCHKE et al. 2003).

Die Ziele der hydrogeologischen Landesaufnahme liegen in der Bereitstellung von Arbeits- und Planungsgrundlagen zur Bearbeitung hydrogeologischer und wasserwirtschaftlicher Fragestellungen sowie zur Lösung möglicher Interessenskonflikte, die aus konkurrierenden Flächennutzungen entstehen können. Folgende Vorhaben sind als typische Beispiele für solche Interessenskonflikte zwischen Grundwasserschutz und meist ökonomisch getriebenen Bauvorhaben anzuführen:

- Verkehrsbaumaßnahmen,
- Gebäudegründungen und Bodenversiegelungen,
- Nutzungen von Rohstoffen,
- geothermische Nutzungen,
- Benutzungen von Gewässern.

Die Versorgungssicherheit der Bevölkerung mit Trinkwasser hängt wesentlich von den hydrogeologischen Kenntnissen über das jeweilige Einzugsgebiet und der daraus abgeleiteten Wasserschutzgebietsausweisung ab. Die Grundwasserbewirtschaftung kann aber auch selbst zur Gefahr für das Grundwasser, für den Naturhaushalt und für Bauwerke werden, wenn die hydrogeologischen Randbedingungen nicht ausreichend bekannt sind oder nicht angemessen beachtet werden. Dann kann es zur Überbeanspruchung des Grundwasservorkommens und einem damit verbundenen Absinken der Grundwasseroberfläche mit möglichen negativen Folgen für Naturhaushalt und Bauwerke kommen. Auch für eine erfolgreiche und nachhaltige Nutzung der Geothermie sind regionale Kenntnisse zur Geologie und Hydrogeologie eine unabdingbare Voraussetzung.



03101	Rheingrabscholle
03105	Tertiär und Quartär des Rhein-Main-Gebietes
03201	Hanau-Seligenstädter Senke
03202	Wetterau
03301	Niederhessische Senke
03302	Vogelsberg
05112	Borgentreicher Mulde und Kasseler Graben
05117	Leinetalgraben
05201	Fulda-Werra-Bergland und Solling
05202	Trias und Zechstein westlich der Niederhessischen Senke
05203	Kuppenrhön
05204	Lange Rhön
05205	Zechsteinrand Südwestthüringens
05206	Werra-Talau
05402	Buntsandsteinumrandung der Thüringischen Senke
05404	Muschelkalk der Thüringischen Senke
06201	Spessart, Rhönvorland und Buntsandstein des Odenwaldes
08101	Paläozoikum des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges
08102	Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges
08109	Lahn-Dill-Gebiet
08110	Tertiär des Westerwaldes
08111	Idsteiner Senke
10102	Kristallin des Odenwaldes
10103	Rotliegend des Sprendlinger Horstes
10104	Kristallin des Vorspessart und Rotliegend der östlichen Wetterau

Abb. 1.1: Hydrogeologische Teilräume Hessens (FRITSCHKE et al. 2003)

2 Bearbeitungsgebiet

Das Bearbeitungsgebiet umfasst den gesamten hessischen Teil des Taunus. Die Grenzziehung orientiert sich dabei an der Ausdehnung der hydrogeologischen Teilräume „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ sowie der „Idsteiner Senke“ (FRITSCHÉ et al. 2003) und umfasst damit eine Gesamtfläche von etwa 1 700 km². Dort wo es sinnvoll erscheint, zum Beispiel beim Übertritt des Grundwassers an den Teilraumgrenzen, werden Teile der angrenzenden Gebiete in die Auswertung ein-

bezogen. Die hessische Landesgrenze verläuft durch den westlichen Hintertaunus und begrenzt das Bearbeitungsgebiet in diesem Bereich. Die beiden sehr kleinen, separat abgegrenzten Teilgebiete Hadamarer Unterdevon und Niederbrechener Unterdevon im nordwestlichen Teil des Bearbeitungsgebietes werden in den anschließenden Beschreibungen nur in speziellen Zusammenhängen, wie der Grundwasserneubildung, explizit berücksichtigt.

2.1 Geographische Lage

Das Rheinische Schiefergebirge wird durch den Rhein in einen westlichen und einen östlichen Teil getrennt, den Hunsrück und den Taunus. Begrenzt wird der Taunus im Norden durch die Lahn und die Lahn-Mulde. Im Osten und Süden wird er durch die Taunus-Hunsrück-Südrandstörung vom Rhein-Main-Tiefland getrennt. Seine höchste Erhebung ist der Große Feldberg mit einer Höhe von 881,5 m ü. NN, der ebenfalls den höchsten Punkt des gesamten Rheinischen Schiefergebirges darstellt. Der Taunuskamm tritt als Höhenzug deutlich hervor und fällt morphologisch im Süden und Südosten zum Vordertaunus hin auf etwa 150 m ü. NN ab. Nach Norden und Nordwesten fällt die Morphologie ebenfalls, jedoch nicht so stark, ab (Abb. 2.3). Der Hintertaunus ähnelt damit eher einer Hochfläche. Eine Ausnahme dazu bildet die Nordnordwest-Südsüdwest verlaufende Grabenstruktur der Idsteiner Senke. Der Hintertaunus verliert vom Taunuskamm in Richtung Nordwesten allmählich an Höhe. Es sind Verebnungsflächen mit zum Teil tief eingeschnittenen Tälern ausgebildet.

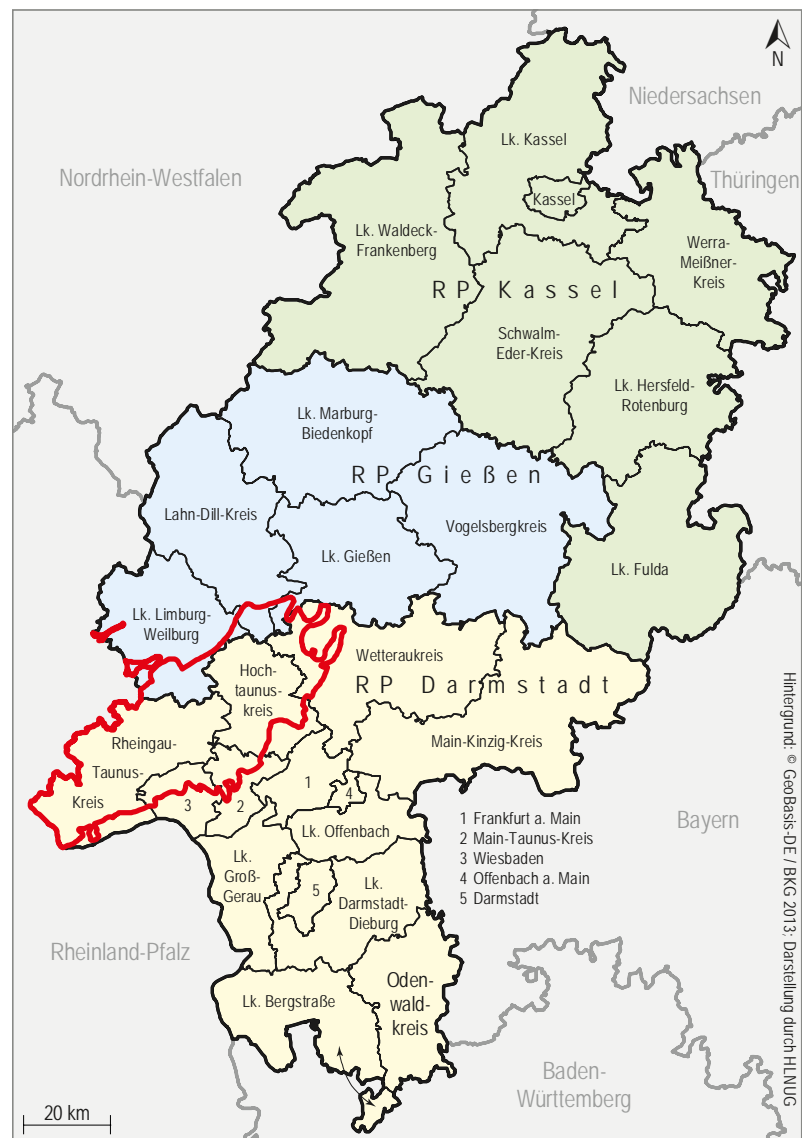


Abb. 2.1: Lage des Bearbeitungsgebietes (rot umrandet)

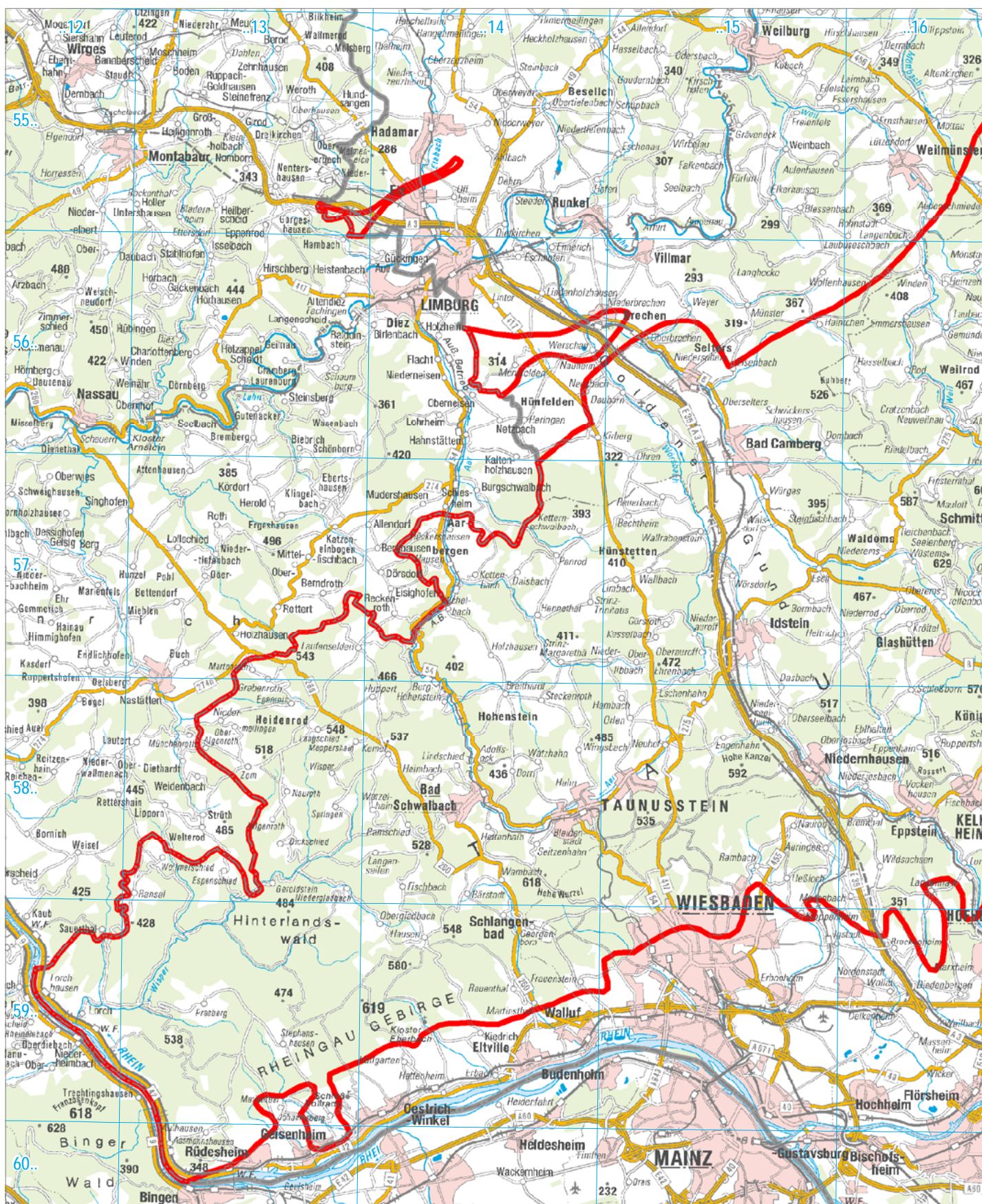
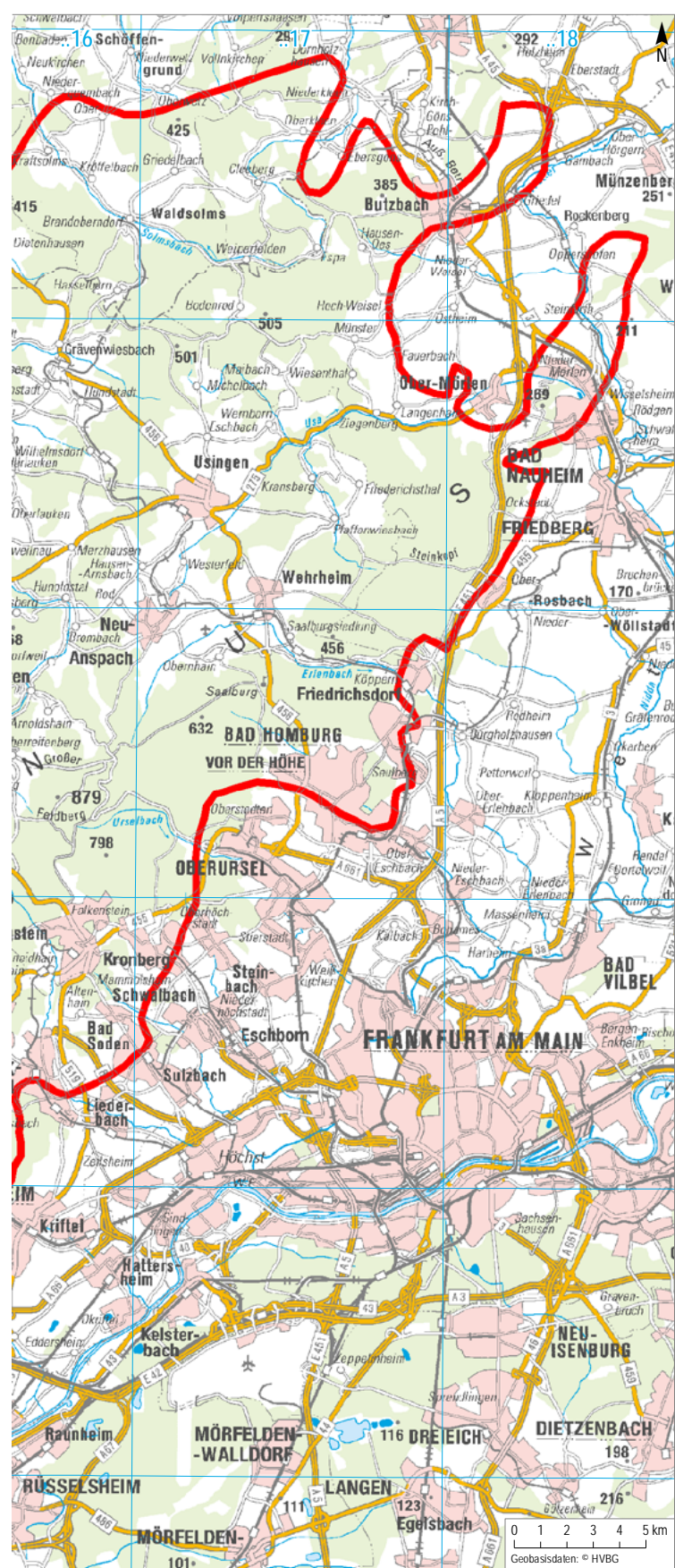


Abb. 2.2: Topographische Übersichtskarte mit Bearbeitungsgebiet (rot umrandet)



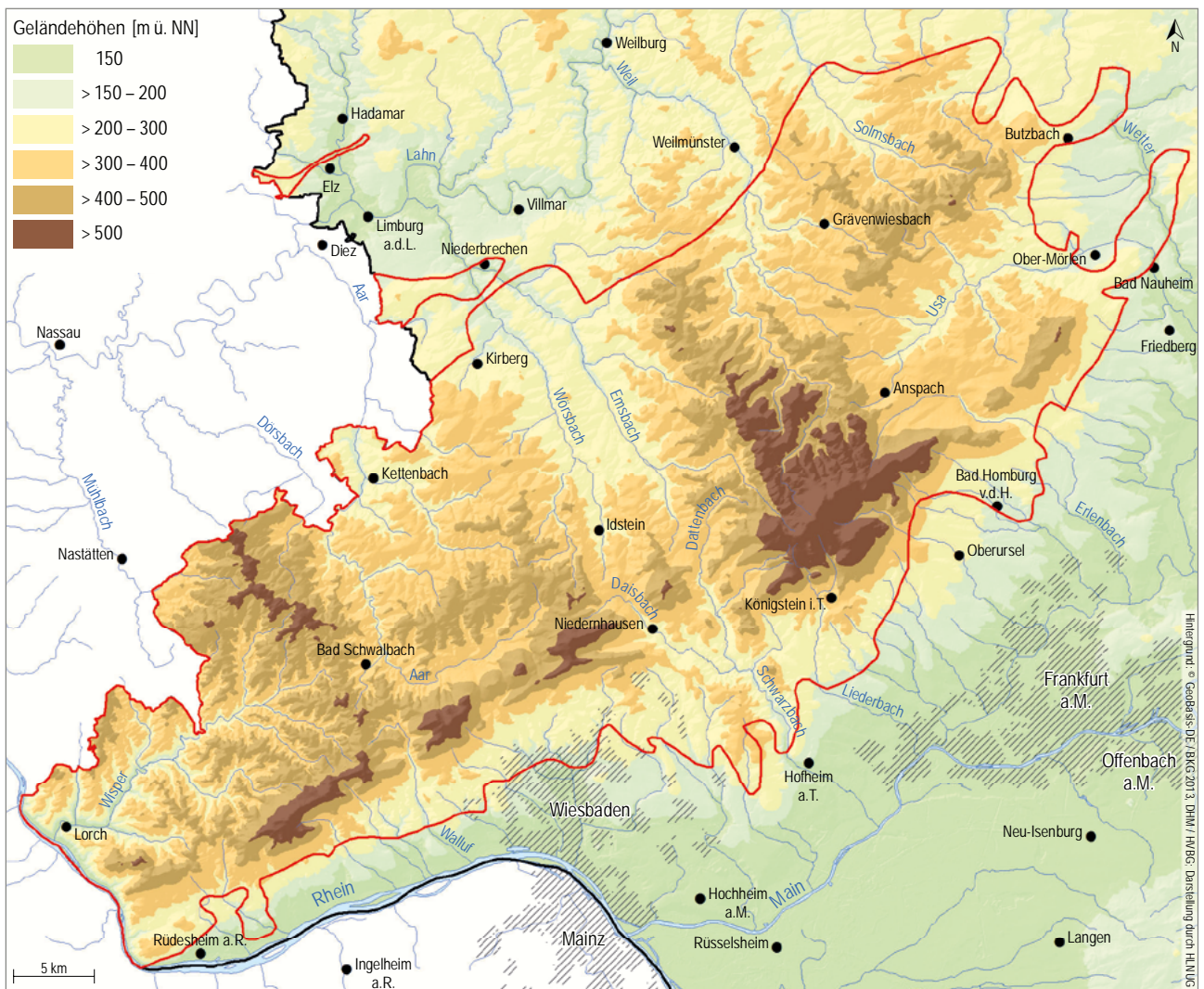


Abb. 2.3: Reliefkarte des Bearbeitungsgebietes (rot umrandet)

2.2 Naturräumliche Gliederung und Landnutzung

Nach der naturräumlichen Gliederung von KLAUSING (1988) gehört der Taunus (als Haupteinheitengruppe) der Region Rheinisches Schiefergebirge an. Er besteht aus den fünf Haupteinheiten Vortaunus, Hoher Taunus, Östlicher Hintertaunus, Idsteiner Senke und Westlicher Hintertaunus. In Abb. 2.4 sind die Haupteinheitengruppen und Haupteinheiten dargestellt.

Der **Vortaunus** ist geomorphologisch stark gegliedert und befindet sich im Wesentlichen im Höhenbereich zwischen 300 und 500 m ü. NN. 55 % der Fläche besteht aus Wald, wobei Misch- und Laubwald den größten Teil ausmachen. Aufgrund des starken Reliefs gibt es prinzipiell nur wenige Flächen, die für Siedlungen geeignet sind. Gleichzeitig ist durch die

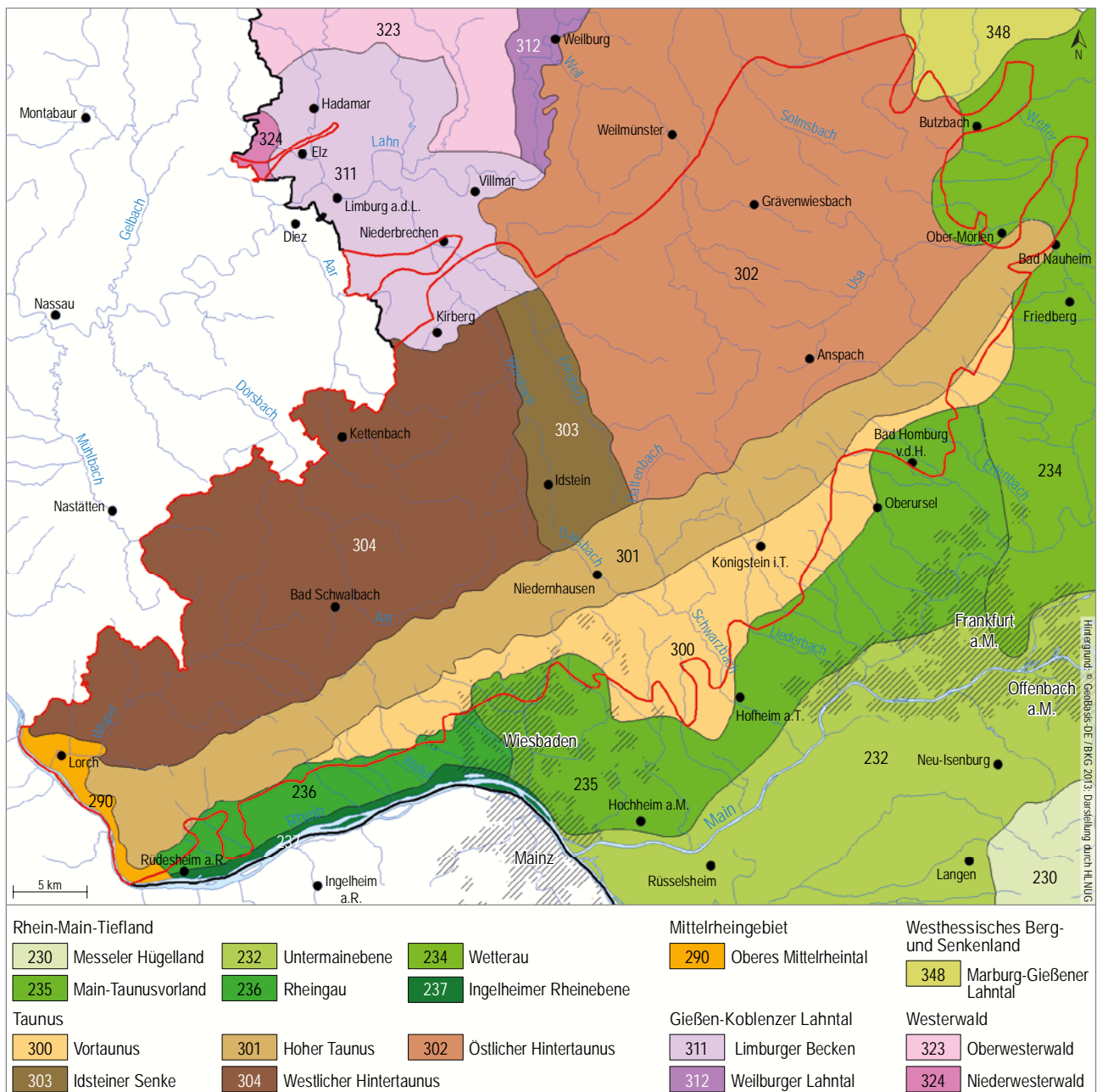


Abb. 2.4: Naturräumliche Gliederung (nach KLAUSING 1974)

Nähe des Ballungsraums Frankfurt eine hohe Nachfrage an entsprechenden Flächen gegeben, was sich in den Daten mit dem höchsten Anteil Siedlungsfläche für den gesamten Untersuchungsraum niederschlägt. Für landwirtschaftliche Nutzung sind die wenig ebenen Flächen kaum geeignet.

Der **Hohe Taunus** rechtfertigt seinen Namen mit einer durchschnittlichen Höhe von über 500 m ü. NN. Nur im SW und NE ist er niedriger. Mit fast 80% ist der größte Teil des Gebietes bewaldet. Mischwald macht hierbei mit fast 45% der Gesamtfläche den

höchsten Anteil aus. Die steilen Hänge erschweren auch andere Nutzungsarten, so dass diese mit weniger als 10% deutlich unterrepräsentiert sind. Sonderkulturen (Obst- und Weinanbau) sind an den sonnenreichen Hängen an der Grenze zum Rheingau im Verhältnis überproportional vertreten, jedoch mit einem Flächenanteil von unter 2% in der Gesamtbetrachtung kaum relevant.

Die Verebnungsflächen des **Hintertaunus** bieten allgemein mehr Raum für Siedlungen und landwirtschaftliche Nutzung als die anderen Räume. Der

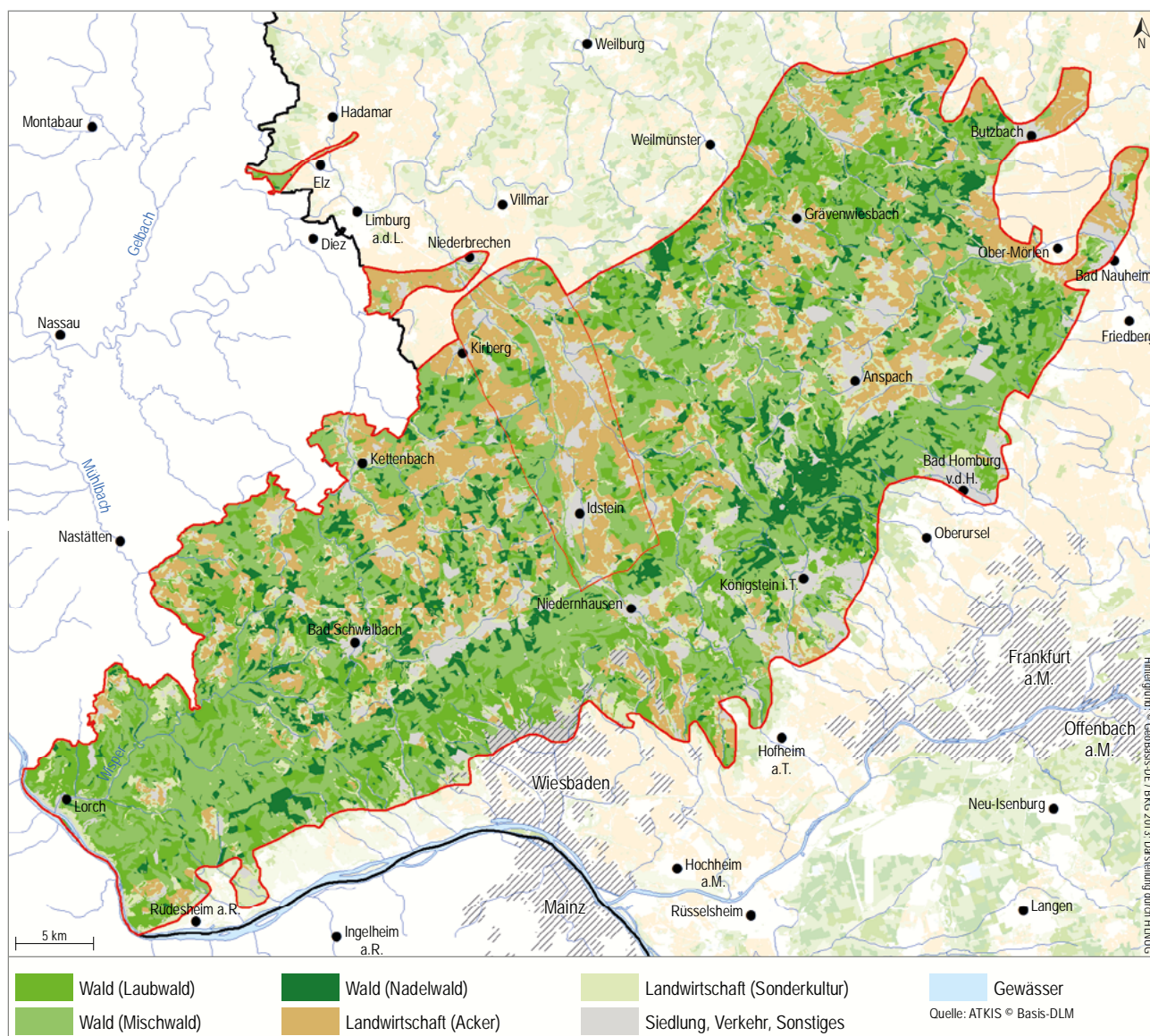


Abb. 2.5: Landnutzung im Bearbeitungsgebiet

dennoch hohe Waldanteil von etwa einem Drittel der Gesamtfläche verteilt sich insbesondere auf die Flanken der zum Teil tiefeingeschnittenen Täler.

Im **Östlichen Hintertaunus** hebt sich aus der Ver-
ebnungsfläche die Untereinheit des Pferdskopf-Tau-
nus heraus und hat ähnlich wie der Hohe Taunus ein
raueres Klima, eine gering mächtige Bodenbildung
und eine starke Bewaldung. Im Gegensatz dazu bil-
det das Usinger Becken eine flachwellige Becken-
landschaft mit Lössüberdeckungen und tiefgründiger
Bodenbildung aus. Das Landschaftsbild ist entspre-
chend geprägt durch Ackerflächen und Siedlungen.

Der **Westliche Hintertaunus** ist nahezu zweigeteilt.
Im Westen fällt vor allem das stark bewaldete und
tief eingeschnittene, weitläufige Wispertal auf. Im

Gegensatz dazu ist mit dem geringeren Relief nach
Osten eine Zunahme des Anteils landwirtschaftlich
genutzter Flächen (Acker- und Grünland) und Sied-
lungsflächen zu beobachten.

Die 5–8 km breite Grabenstruktur der **Idsteiner
Senke** ist größtenteils mit Löss und Lösslehm über-
deckt. Sie bietet daher gute landwirtschaftliche
Bedingungen, was ihrem nördlichen, tiefer gelege-
nen Teil den Namen „Goldener Grund“ einbrachte.
Ackerflächen machen insgesamt nahezu 45 % der
Fläche aus. Daneben stellt Mischwald den zweit-
größten Flächenanteil dar, ist räumlich größtenteils
jedoch eng auf den Idsteiner Wald begrenzt. Bedingt
durch den Verlauf der Autobahn A3 und das Schie-
nennetz, erreicht die Idsteiner Senke mit immerhin
0,7 % den höchsten Anteil Verkehrsfläche im Taunus.

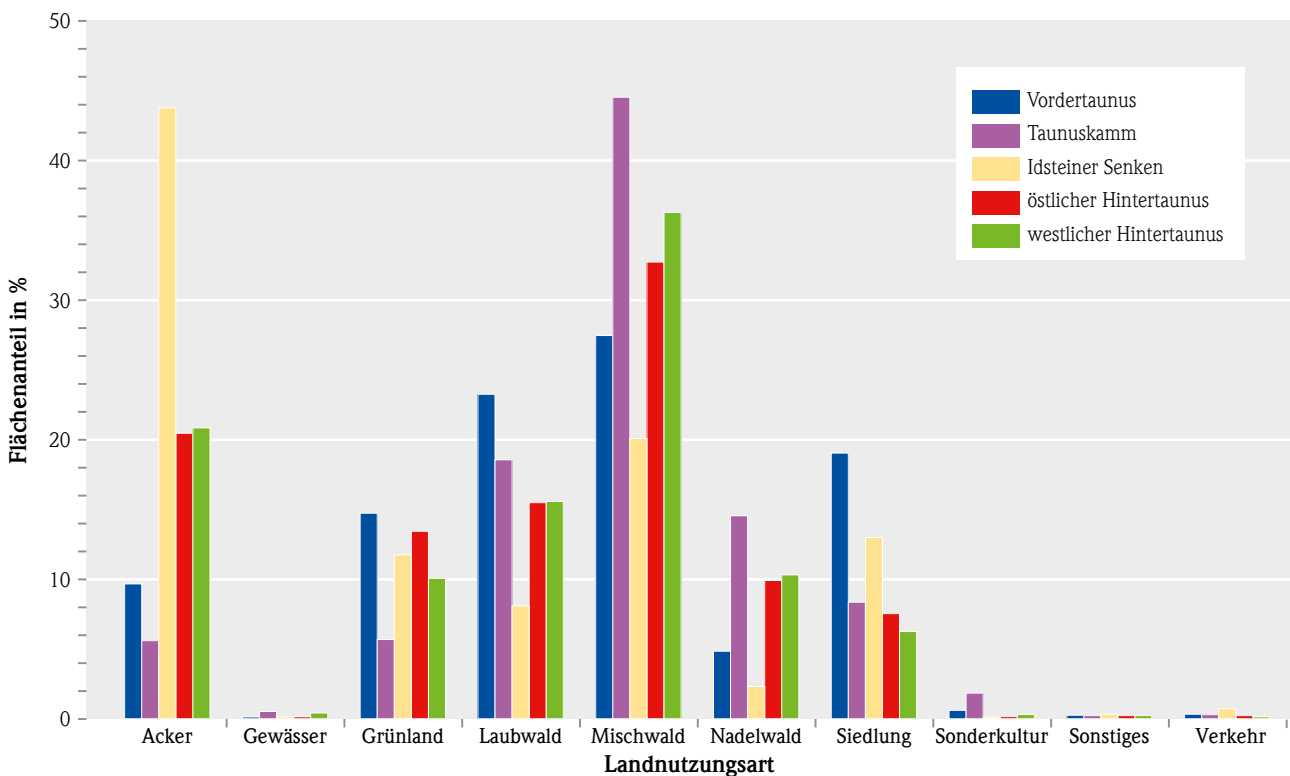


Abb. 2.6: Landnutzungsarten in % der Flächenanteile für jede Haupteinheit des Taunus und für den Taunus gesamt

2.3 Oberflächengewässer

Der Taunushauptkamm wirkt als Wasserscheide und teilt das Gewässersystem im Bearbeitungsgebiet. Die Gewässer des Hintertaunus und der Idsteiner Senke entwässern überwiegend nach Norden, während die Gewässer des Vordertaunus nach Süden fließen.

Die Gewässer im Vordertaunus haben im Vergleich zu den Gewässern im Hintertaunus nur kurze Fließstrecken bis zu ihrer Mündung. Der Vordertaunus entwässert über eine Vielzahl von Bächen und Flüssen. Im Osten fließen die Gewässer in die Nidda und den Main, im Westen münden sie direkt in den Rhein. Zu den Vorflutern im Vordertaunus gehören der Eschbach, der Erlenbach, der Wickerbach, der Salzbach, die Walluf, der Kiedricher Bach und der Elsterbach.

Der Östliche Hintertaunus entwässert oberirdisch nach Norden über die Weil, den Wiesbach, den Solmsbach und den Kleebach zur Lahn und nach Osten über die Usa und die Wetter in die Nidda und schließlich in den Main.

Der Westliche Hintertaunus entwässert oberirdisch nach Norden über den Aubach und die Aar zur Lahn und nach Westen über die Wisper in den Rhein.

Die Idsteiner Senke entwässert oberirdisch überwiegend nach Norden und Nordwesten zur Lahn. Die Hauptvorfluter für die Idsteiner Senke sind der Dombach, der Emsbach sowie der Wörsbach.

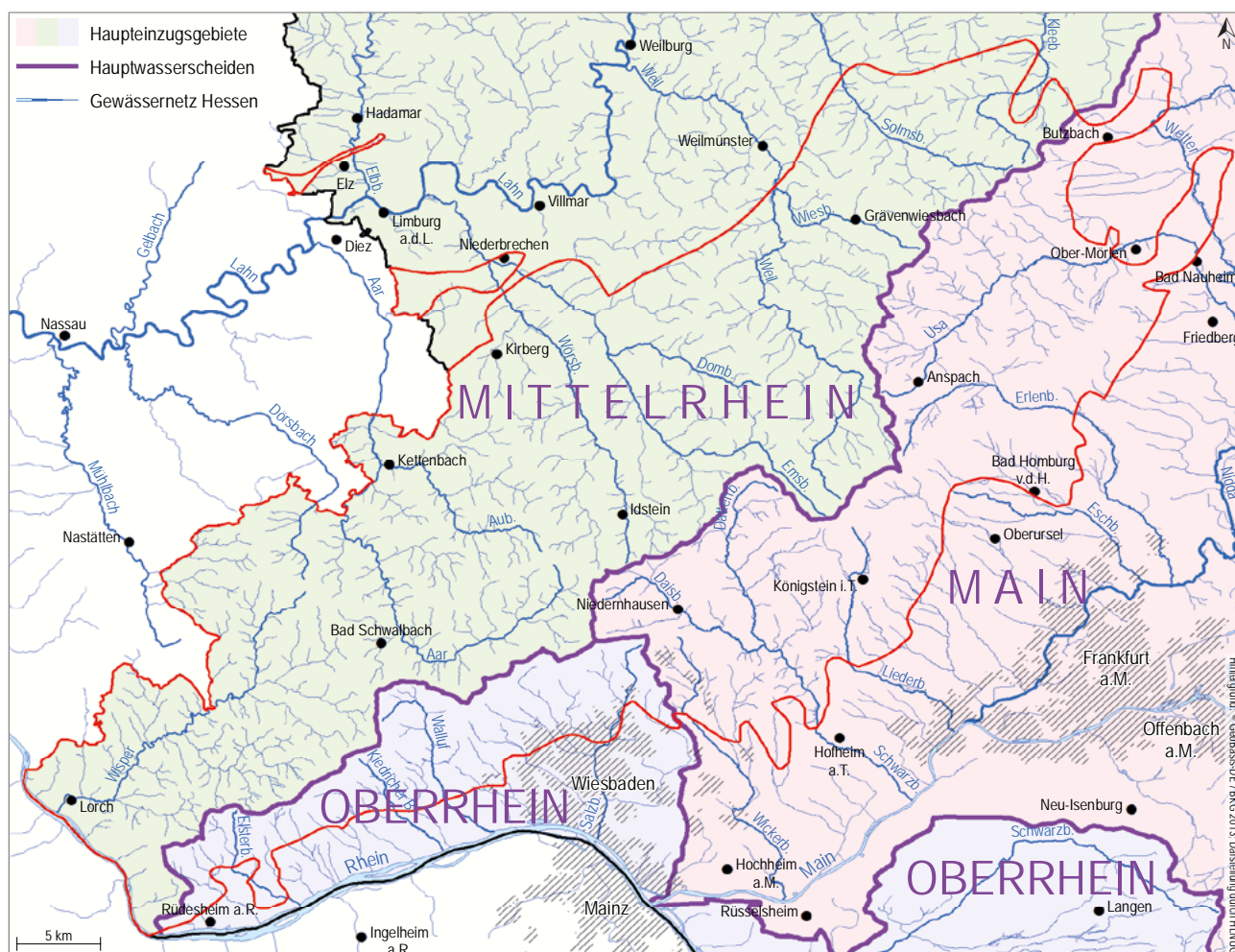


Abb. 2.7: Gewässernetz

2.4 Hydrogeologische Teilräume

Das Bearbeitungsgebiet umfasst zwei hydrogeologische Teilräume:

- Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges (08102)
- Idsteiner Senke (08111)

Die angrenzenden Teilräume „Tertiär und Quartär des Rhein-Main-Gebietes (03105)“ und „Wetterau (03202)“ wurden teilweise in die Betrachtung mit einbezogen. Eine genaue Beschreibung der Eigenschaften der Teilräume erfolgt in Kapitel 5.2.

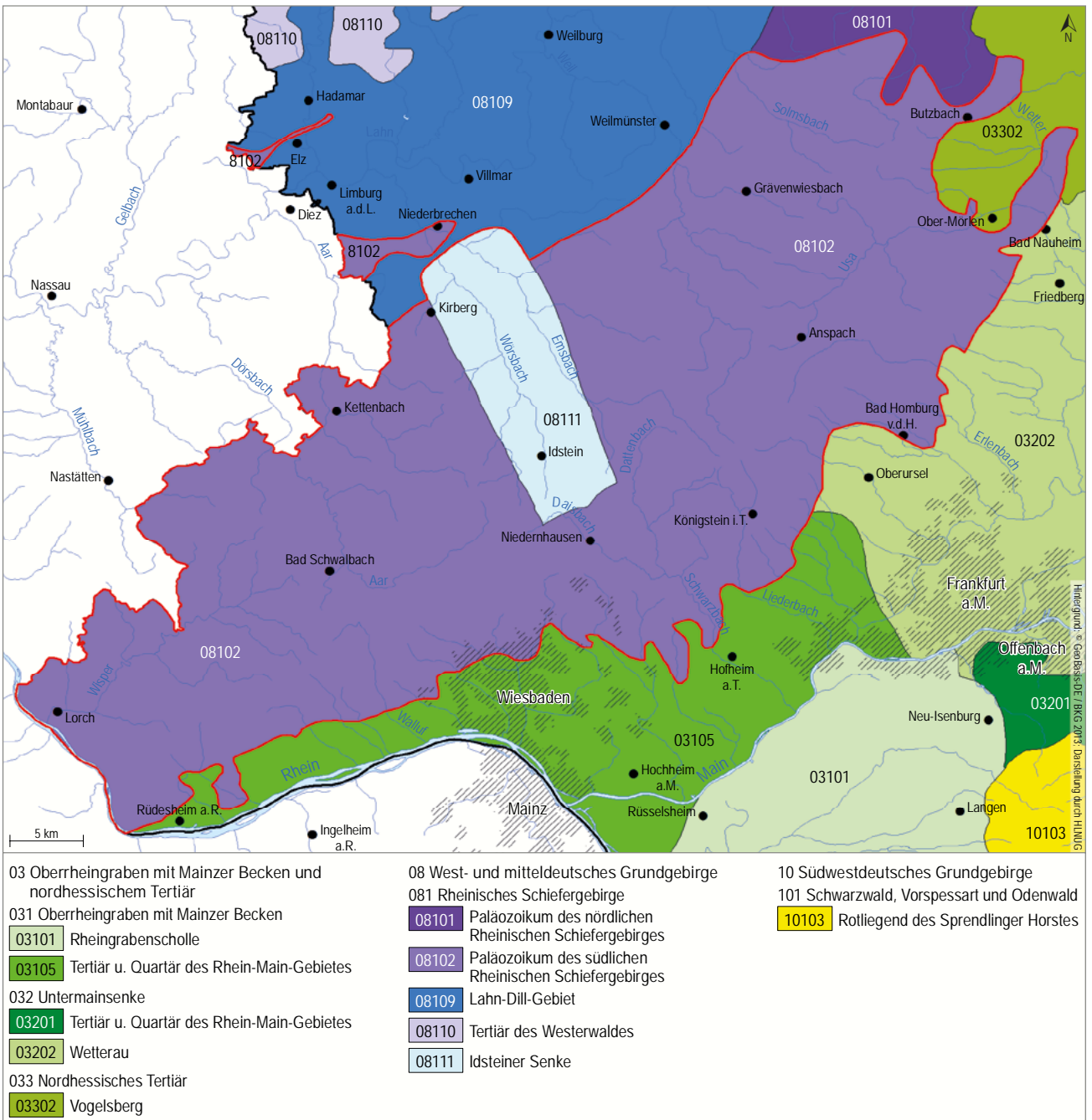


Abb. 2.8: Hydrogeologische Teilräume des Bearbeitungsgebietes (FRITSCHÉ et al. 2003)

3 Böden

3.1 Übersicht

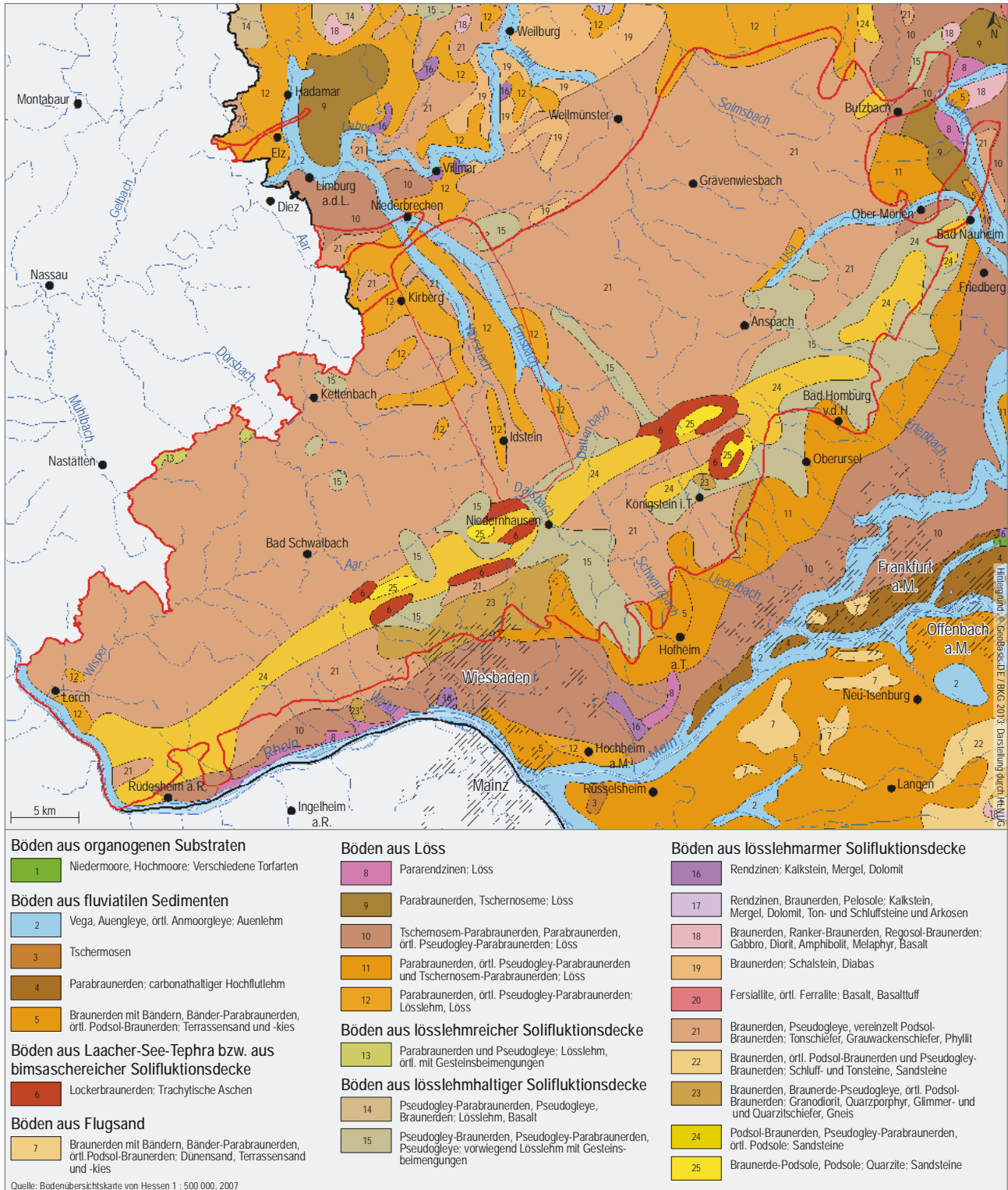


Abb. 3.1: Bodenübersichtskarte (BÜK500)

Böden

Böden bilden das zentrale Medium zwischen der Atmosphäre, der Pflanzenwelt und dem Gesteinsuntergrund mit dem Grundwasser. Der Einfluss auf Mensch und Tier ist meist indirekt. Schadstoffe, die eingetragen werden, können je nach Boden mehr oder weniger zurückgehalten und dadurch in ihrer Wirkung abgemildert werden. Versauerung führt u. a. dazu, dass die Löslichkeit von Schwermetallen zunimmt und diese ins Grundwasser ausgewaschen oder von den Pflanzen aufgenommen werden und so schließlich in die Nahrungskette gelangen können.

Böden sind aber nicht nur chemische Puffer, sie bilden auch einen rein mechanischen Fließwiderstand für Niederschläge und Versickerungswasser. Je nach Porenvolumen und -verteilung können Böden Wasser speichern und langsam an die Pflanzen abgeben (nutzbare Feldkapazität) oder dem Grundwasser zuführen. Unverdichtete Böden weisen eine höhere Aufnahme von Niederschlagswasser auf. Versiegelte und verdichtete Böden erhöhen hingegen den direkten Oberflächenabfluss und begünstigen damit die Erosion und die Entstehung von Hochwäs-

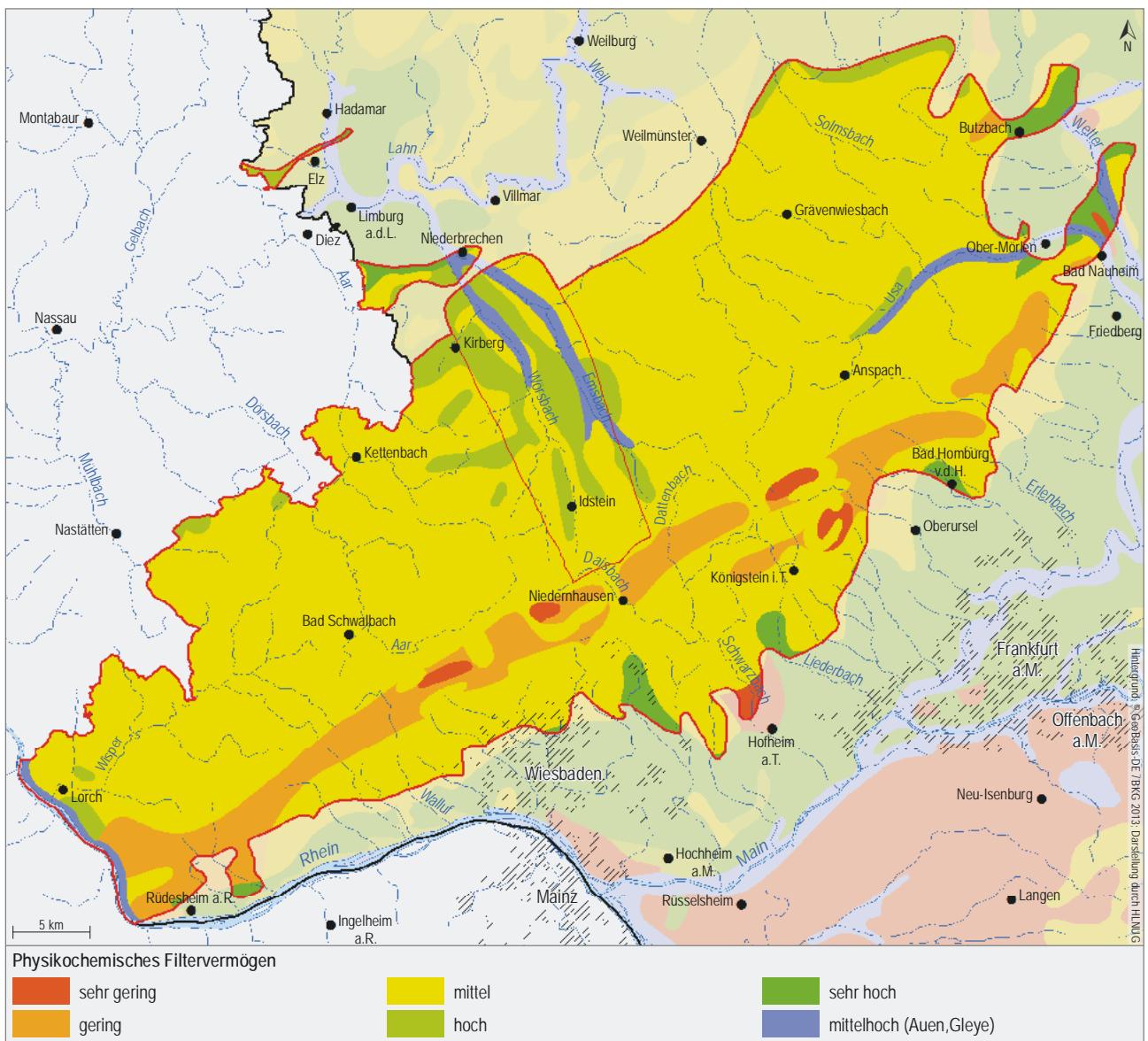


Abb. 3.2: Physikochemisches Filtervermögen (BÜK500)

sern. Das Wasserspeichervermögen (Feldkapazität) ist gleichzeitig auch ein weiterer Puffer gegenüber Schadstoffeinträgen ins Grundwasser. Je länger im Bodenwasser gelöste Stoffe im Wurzelraum zurückgehalten werden, umso mehr können Pflanzen davon aufnehmen und umso weniger können mit dem Sickerwasser ins Grundwasser gelangen. Ein Beispiel dafür ist Nitrat, ein für das Pflanzenwachstum essen-

zieller Stoff, der im Trinkwasser jedoch schädlich und unerwünscht ist. Eine der größten Gefährdungen des Grundwassers geht auf flächenhafte Einträge von Nitrat und Pflanzenschutz- und -behandlungsmitteln aus der Landwirtschaft zurück. Die über den Pflanzenbedarf hinausgehende Düngung überfordert häufig die Regulationsfunktion des Bodens.

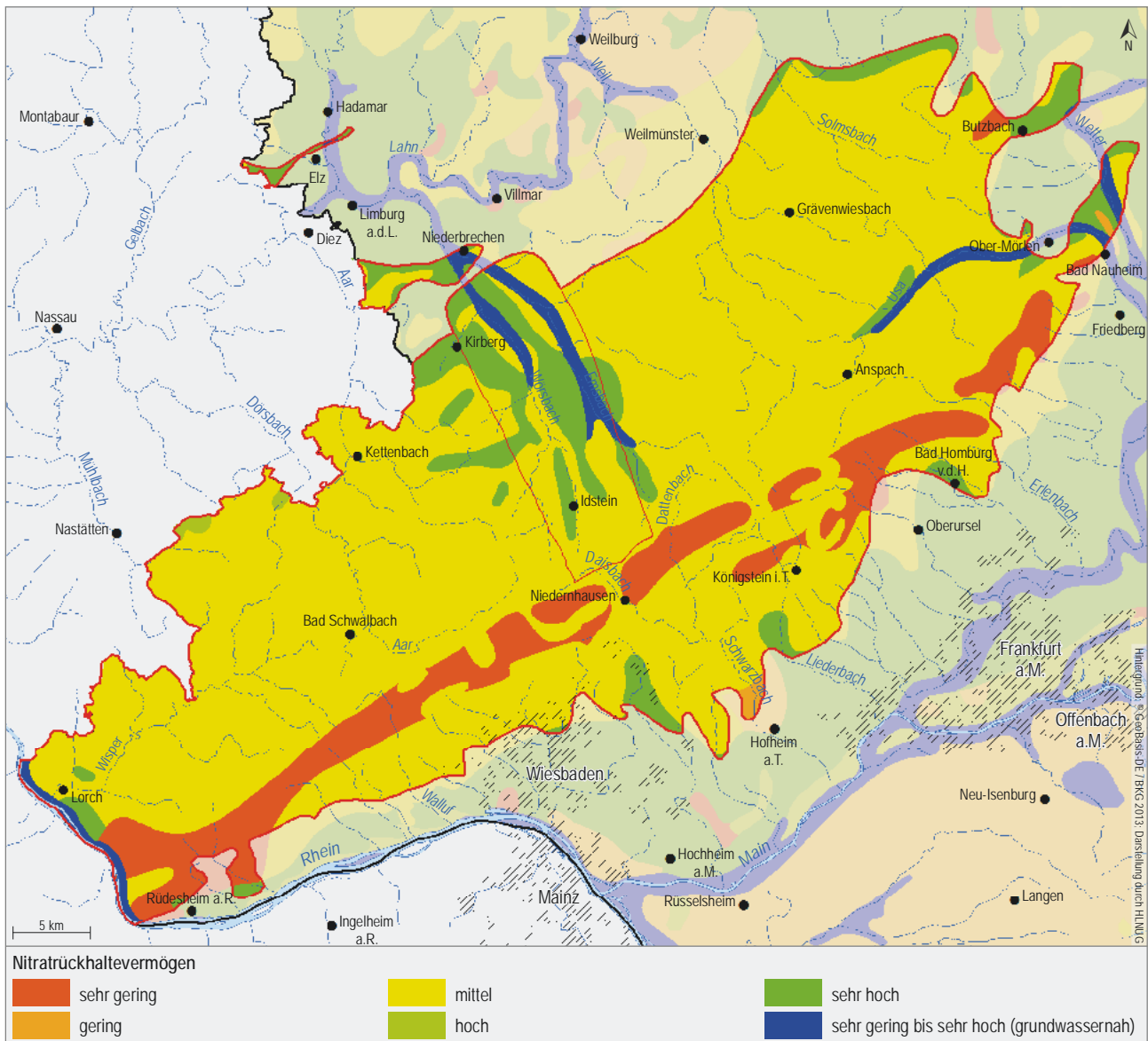


Abb. 3.3: Nitratrückhaltevermögen (BÜK500)

3.2 Entstehungsgeschichte der Böden im Taunus und der Idsteiner Senke

Die lange Entwicklungsgeschichte der Böden im Taunus reicht Millionen Jahre zurück und beginnt im Zeitalter des Tertiär (ca. 65 Mio. Jahre). Unter den damals herrschenden tropischen Klimabedingungen mit sehr hohen Niederschlägen und Temperaturen zeitweise auch Wüstenklima kam es zu intensiver chemischer Zersetzung der Gesteine, zum Teil bis 50 m tief. Es bildeten sich tropische Verwitterungsböden mit ihren typischen intensiven, meist roten Farben (Rotlehme = Latosole). Aus diesen Böden wurden die meisten Nährstoffe ausgewaschen und neu gebildete Tonminerale (vor allem Kaolinit) und Oxid-/Hydroxidminerale (vor allem Aluminium-Gibbsit) und Eisenverbindungen (vor allem Hämatit) reicherten sich an. Resultat diese Verwitterung sind tonige, intensiv rot und gelb gefärbte, nährstoffarme Substrate.

Reste dieser Böden finden sich noch heute im Taunus und sind für unsere heutigen Böden noch von Bedeutung. Erstens wirken die tonreichen, nährstoffarmen Böden unter den lösslehmreichen Solifluktionsschuttdecken wasserstauend und verhindern eine tiefere Durchwurzelung. Außerdem beeinflussen die tertiärzeitlichen Verwitterungslehme auch die chemische Zusammensetzung der Böden. Ähnliche Eigenschaften haben auch die kiesigen und tonigen tertiären Sedimente aus dem Oligozän, die man in der Idsteiner Senke und im Lahn-Dill-Gebiet findet.

Von größter Bedeutung für die heutigen Böden war das Eiszeitalter (*Quartär*), das vor ca. 2 Mio. Jahren begann und durch zahlreiche Vereisungsphasen gekennzeichnet war. In den gemäßigten Breiten herrschte Dauerfrostklima (*Permafrost*) zwischen den Gletschereisschilden aus dem Norden und denen der Hochgebirge. Der Boden war im Untergrund ständig gefroren und von Tundravegetation bedeckt. Nur in den kurzen arktischen Sommern taute der Boden an der Oberfläche auf. Durch das jährliche Auftauen und Gefrieren der obersten Bodenschichten über lange Jahre wurde das anstehende Gestein mechanisch verwittert. Schon bei sehr geringen Hangneigungen auf fast ebenen Flächen kam es in den sommerlichen Auftauphasen zu Bodenfließen (Solifluktion). Daneben führte das Auffrieren und Aufpressen zu Durchmischungsvorgängen. So wurden durch Wind verblasene und an der Oberfläche abgelagerte (äolische)

Sedimente (Löss) in den Unterboden eingemischt (Kryoturbation). An Gesteinsgrenzen kam es auch zu einer Überwanderung und Durchmischung der hangaufwärtigen mit den hangabwärtigen Gesteinen.

Die Westwinde von heute sind im Winter am stärksten, da dann die Temperaturdifferenz zwischen den Tropen und den höheren Breiten am größten sind. Durch großräumige atmosphärische Zirkulation werden diese Temperaturen ausgeglichen. Während der Eiszeiten waren die Temperaturdifferenzen größer und die Zirkulation dementsprechend intensiver. Eine Analyse aus grönländischen und antarktischen Eisdecken zeigt, dass die Atmosphäre damals hundertmal staubiger war als heute. Die Flüsse (z. B. Rhein und Main) hatten damals einen sich stetig verändernden, geflochtenen Flussverlauf in breiten Tälern und bildeten dabei breite Kies-, Sand- und Treibsandbänke, die besonders während trockener Periode eine reichlich vorhandene Staubquelle waren. Das so abgelagerte, sehr feinkörnige, ockergelbe und kalkhaltige Material ist als Löss bekannt. Lösskörner haben einen Durchmesser von 2–60 µm.

Löss wurde vor allem auf den weiten älteren Terrassenflächen des Mains in zum Teil mehrere Meter mächtigen Decken abgelagert. Aus Asien sind sogar mehrere hundert Meter mächtige Lössdecken bekannt. Dort, wo sich mächtige Lössdecken ablagerten, entstanden nach den Eiszeiten die fruchtbarsten Ackerböden. Jedoch auch dort, wo der Löss nicht in mächtigen Decken liegt, sorgt er als Beimischung in den oberen Bodenschichten für eine deutliche Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

Im Quartär wurde auch der größte Teil der tertiären, tropischen Böden wieder abgetragen, so dass heute keine vollständigen Profile mehr auffindbar sind. Reste tropischer Böden und ihre Umlagerungsprodukte sind im Taunus weit verbreitet. Meist sind sie in den periglazialen Solifluktionsschuttdecken eingearbeitet und haben so teilweise für die heutigen Böden die Rolle als Bodenausgangssubstrat gebildet. In die jüngsten dieser Solifluktionsschuttdecken wurden zum Teil auch größere Mengen Löss eingemischt.

Eine wichtige Zeitmarke im jüngeren Pleistozän ist der Ausbruch des Laacher Vulkans in der Vorderei-

fel (heute Laacher See) vor ca. 13 077 Jahren, in der sogenannten Allerödzeit (vor 13 540–12 680 Jahren). Die Bildung bzw. die Überprägung der obersten dieser Fließerden lässt sich, auf Grund der Einmischung von Mineralen der allerödzeitlichen Laacher-See-Vulkanaschen, in die Jüngere Tundrenzeit stellen (*Hauptlage*). Diese Hauptlage ist mit Ausnahme der holozänen Sedimente und einiger Erosionsstandorte ubiquitär verbreitet und ist somit das wichtigste Ausgangssubstrat der holozänen Bodenbildung. Die tieferen, mit Lösslehm angereicherten Solifluktionsschuttdecken werden als Mittellage, die lösslehmfreien als Basislage bezeichnet (SEMMELE 1964, 1991, 2002).

Das Ausgangssubstrat der Bodenbildung, die nach der letzten Eiszeit vor ca. 10 000 Jahren einsetzte, ist also mit dem anstehenden Festgestein stofflich nicht identisch. Die Beimischung von Löss führt je nach Gestein bei einzelnen Elementen zu An- oder Abreicherungen im Vergleich zum darunterliegenden Locker- oder Festgestein. Die Bodenbildung der letzten 10 000 Jahre bewirkte durch verwitterungsbedingte Stoffneubildungen und Stoffverlagerungen durch Sickerwasser oder auch Bodentiere weitere An- oder Abreicherungen von Stoffen.

3.3 Eigenschaften der Böden im Taunus und in der Idsteiner Senke

Dem Humus kommt bei der Bodenentwicklung eine besondere Bedeutung zu, da hier Nähr- und Schadstoffe in besonderer Masse gebunden werden. Die Humusbildung beginnt unmittelbar nach der Ansiedlung von Pflanzen. Als Humus wird die Gesamtheit der abgestorbenen (toten) organischen Substanz im Boden bezeichnet. Der Humus liegt dem Mineralboden auf oder ist mit diesem durchmischt.

Die Mineralisierung, d. h. der Abbau zu anorganischen Stoffen, setzt die in den organischen Stoffen enthaltenen Pflanzennährstoffe frei, z. B. Magnesium (Mg), Eisen (Fe), Stickstoff (N), Schwefel (S). Das Adsorptionsvermögen der Huminstoffe ist für die Bindung vieler Nährstoffe von Bedeutung. Humus besitzt eine hohe Wasserkapazität. Er kann circa das drei- bis fünffache seines Eigengewichtes an Wasser

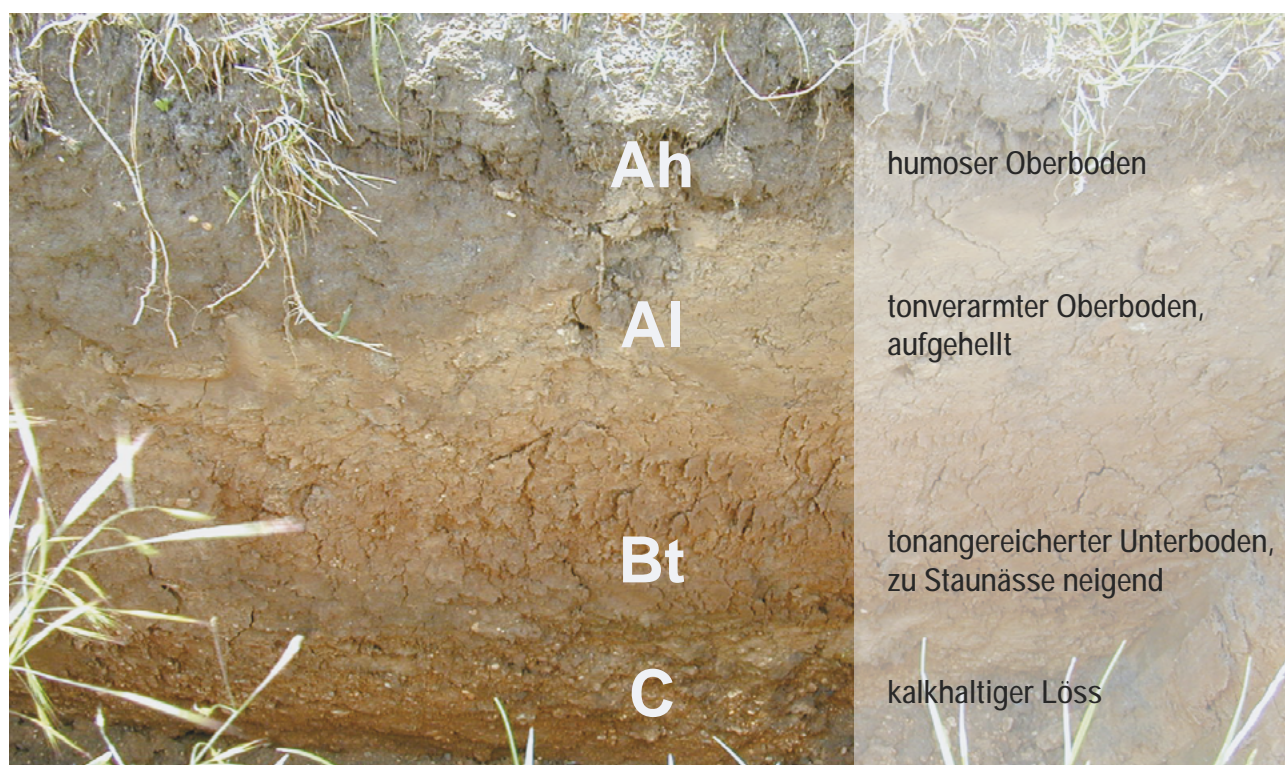


Abb. 3.4: Parabraunerde

festhalten. Außerdem begünstigt er in hohem Maße die Bildung und Stabilität eines grobporigen Aggregatgefüges, wodurch deren Wasser- und Lufthaushalt verbessert wird.

Böden aus Löss/Lösslehm sind im Taunus am Südrand und im Bereich der Idsteiner Senke sowie an den ostexponierten Talhängen zu finden. Durch Niederschläge wurden aus den oberen Bodenzonen des Lösses Kalk ausgewaschen und durch Verwitterung entstandene Tonpartikel und Metalloxide aus den oberen Bodenhorizonten ausgewaschen und in tiefere Bodenhorizonte verlagert. Es bildeten sich **Parabraunerden**, die durch einen typischen Verlehmungshorizont in ca. 50–100 cm Tiefe gekennzeichnet sind. Auf Grund der lang andauernden und intensiven Nutzung dieser Böden gibt es heute fast nur noch Erosionsformen dieser Böden. Durch Stau-nässe über dem Tonanreicherungshorizont kommt es stellenweise auch zur Pseudovergleyung (Stauwasserbildung im Boden). Bei Bad Camberg und Würges kommen in Hanglagen vereinzelt Pararendzinen vor, die durch vollständige Erosion aus Parabraunerden hervorgegangen sind. Hier liegt der Löss, das ursprüngliche Ausgangsmaterial der Böden, wieder direkt an der Oberfläche. Diese Böden neigen durch ihre Standortfaktoren (Hanglage, Exposition) zur Trockenheit.

Dort, wo der oberflächennahe Untergrund von festen Gesteinen oder kalkfreien Sedimenten gebildet wird, haben sich **Braunerden** gebildet. Sie haben wegen ihrer Eisen- und Manganverbindungen eine braune Farbe. Ihre Eigenschaften werden stark von den unterschiedlichen Ausgangsgesteinen geprägt. Das Spektrum reicht von steinfreien Flugsanden bis zu schuttreichen Gesteinsverwitterungsböden. Diese Böden haben dementsprechend ein geringes Wasserspeichervermögen und Ertragspotential. Der Basengehalt ist abhängig von dem Ausgangssubstrat und seinen verwitterbaren Silikaten.

Im Bereich der Kuppen steht mitunter Fels an oder er ist von einer schütterten Lage von Gestein bedeckt. Meist hat sich darauf etwas Humus gebildet. Diese Felshumusböden und Ranker sind extrem flachgründig, sehr nährstoffarm und trocken.

Ab einer Höhenlage von etwa 460 m ü. NN sind verbreitet **Lockerbraunerden** zu finden. Ihre charak-

teristischen Eigenschaften sind die leuchtend ockerbraune Farbe, die außergewöhnliche, namensgebende Lockerheit (mit bis zu 80 % Porenvolumen), der hohe Schluffgehalt und die im Vergleich zur sauren Braunerde meist erheblich höheren Gehalte an pedogenem Eisen und Aluminium. Obwohl sie sehr sauer sind, findet keine Podsolierung (Einwaschung von Eisen, Mangan, Aluminium und organischer Substanz aus dem Ober- in den Unterboden) statt. Ursächlich für die Entstehung von Lockerbraunerden ist ein sehr hoher Anteil von Laacher-See-Vulkanasche im Bodenausgangssubstrat. Es bildeten sich sogenannte Allophane, die aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche sehr stabil sind. Diese Böden sind ein hervorragender Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen. Die Lockerbraunerden haben eine hohe Feldkapazität (MAHR 1998).

Bodenversauerung ist ein Stichwort, das im Zusammenhang mit der Diskussion über das Waldsterben auch großes öffentliches Interesse erweckte. Dabei wird aber oft vergessen, dass auch unter natürlichen Bedingungen alle Böden allmählich versauern und dass auch schon vorindustrielle, menschliche Eingriffe die Bodenversauerung beschleunigten. In Landschaften mit hohen Niederschlägen, niedrigen Jahresmitteltemperaturen und gut durchlässigem, basenarmem Gestein gibt es auch unter natürlichen Bedingungen sehr saure Böden, die sogenannten **Podsole**, im Volksmund vielfach als Heideböden bekannt. Solche Böden sind u. a. in den Hochlagen des Taunus zu finden. Die Bearbeitung dieser Böden ist schwieriger und die Erträge sind geringer. Meist handelt es sich um Wald- oder Grünlandstandorte.



Abb. 3.5: Lockerbraunerden

Stark wasserbeeinflusste Böden sind für die ackerbauliche Nutzung fast ausnahmslos schwierige Böden. Eine Bewirtschaftung ist nur in Trockenphasen möglich. Entscheidend für das Gedeihen von Pflanzen ist die Dauer der zwischen Nass- und Trockenphase liegenden Feuchtphase, in der sich genügend Wasser- und Luftgehalte nebeneinander finden. Hierbei wird zwischen grundwasserbeeinflussten Böden, sogenannten **Gleyen**, und stauwasserbeeinflussten Böden, sogenannten **Pseudogleyen**, unterschieden. Der Wechsel von trockenen (→ *Reduktion*) und nassem (→ *Oxidation*) Phasen führt zu einem typisch fleckigem Aussehen. Durch den Grundwassereinfluss sind Gleye nährstoffreich, während bei Pseudogleyen die Nährstoffe durch das Stauwasser aus dem Oberboden gelöst werden. Pseudogleye werden auch als „Stundenböden“ bezeichnet, da sie nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten kurzfristig den richtigen Wassergehalt zur Bewirtschaftung haben. Treffend ist auch der Name „Sommerzement“. Von den klassischen heimischen Getreidearten kommt der Hafer mit solchen Böden am besten zurecht. Meist handelt es sich jedoch auch hier um Wald- oder Grünlandstandorte. Pseudogleye sind im Taunus häufig auf den Resten tertiärer Rumpfflächen zu finden, wo tertiäre Verwitterungstone im Unterboden vorhanden sind. Pseudogleye und ihre Übergangsformen besitzen eine mittlere bis hohe Feldkapazität.

Eine Sonderrolle kommt den Überschwemmungsbereichen der Bäche und Flüsse zu. Hier werden und wurden durch die jährlichen Überschwemmungen große Mengen fruchtbarer Schlamm abgelagert. Auenböden sind meist recht homogene Sedimentpakete, die keine deutliche Horizontierung oder Schichtung im Profil aufweisen. Durch ihre graue Farbe sehen sie oft den Schwarzerden sehr ähnlich. Bei höheren Grundwasserverhältnissen bilden sich Übergänge zum Gley aus und mit steigender Vernässung entwickeln sich schwarze anmoorige Horizonte bis hin zu Niedermoores. FICKEL (1991) weist auf Niedermoores ostwärts an der Straße Oberseelbach-Heftrich hin. Die regelmäßige Überschwemmungsgefahr der Auen wurde bei uns durch Flussregulierungen eingedämmt, so dass sie auch ackerbaulich genutzt werden können, vielfach dominiert aber die Grünlandnutzung.

Der menschliche Einfluss auf Böden und Relief ist im Taunus allgegenwärtig. Erste menschliche Rodungstätigkeiten begannen im späten Neolithikum und verstärkten sich bis zur keltischen Besiedlung. Zur Zeit der Römer war das Umfeld des Limes großflächig entwaldet, verbunden mit einer zunehmenden Bodenerosion. In großem Stil begann die Waldrodung im Hochmittelalter durch Holz- und Holzkohlegewinnung. Auch verbleibende Wälder wurden genutzt: die Krautschichten, Eicheln und Bucheckern

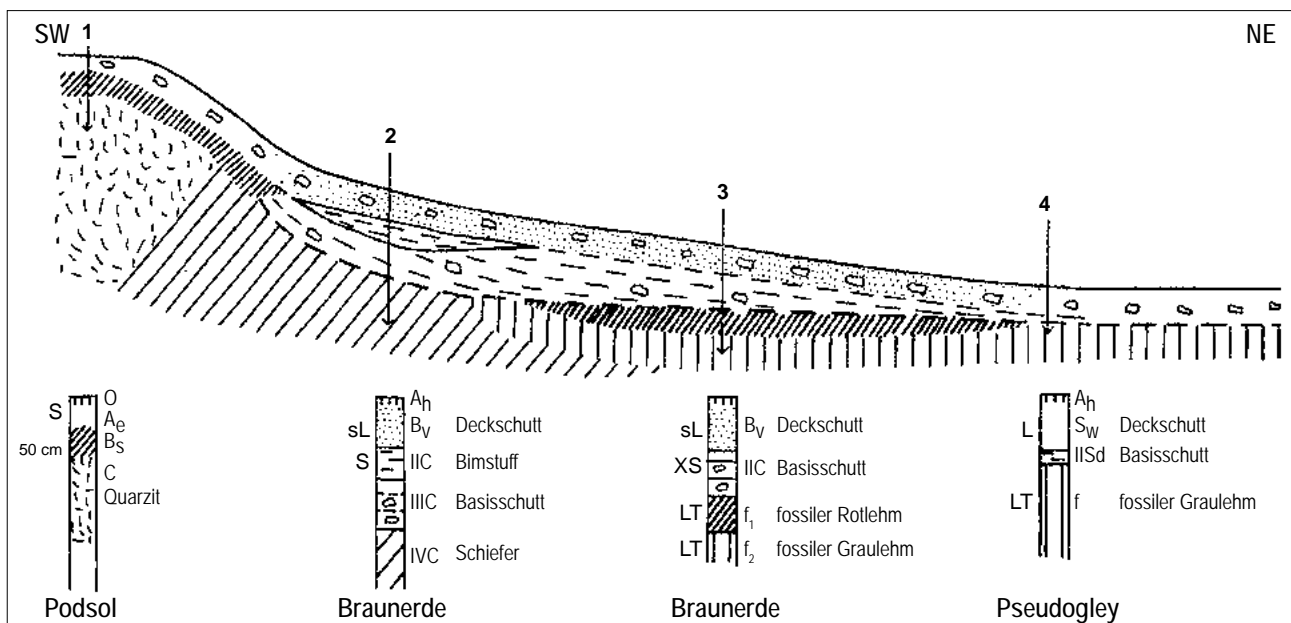


Abb. 3.6: Bodenabfolge im Bereich alter Rumpfflächenreste (Symbole rechts der Profile = Horizontsymbole, links = Bodenarten) (SEMMELE 1993)

als Viehfutter, die frische Laubstreu als Stroherersatz. Die Folge war eine Bodenerosion und die Bildung zahlreicher Runsen (Abb. 3.8). Zur besseren landwirtschaftlichen Nutzung wurden Ackerterrassen angelegt. Erst im 19. Jahrhundert begann die Wiederaufforstung, die Erosion kam weitgehend zum Erliegen. Erosionsgefährdet sind aktuell nur Ackerstandorte. Die Böden im Taunus haben zum großen Teil lediglich ein mittleres natürliches Ertragspotenzial (Abb. 3.7).

Ein typisches Beispiel für den menschlichen Einfluss sind Köhlerplätze. Es sind zahlreich auftretende Verflachungen im Hang, ähnlich wie alte Ackerterrassen (SABEL o. D.). Man findet mehr oder weniger deutliche Nutzungsspuren, wie Holzkohlereste und Aschen. Typisch ist ein oft mehrere Dezimeter mächtiger, schwarzer Oberboden. Dieser ist nährstoffreicher als die umliegenden Böden. Durch die hohen Temperaturen wurde die Eisenoxide im Boden an der Basis der Meiler stellenweise zu verfestigtem Rot-eisen gefrittet.

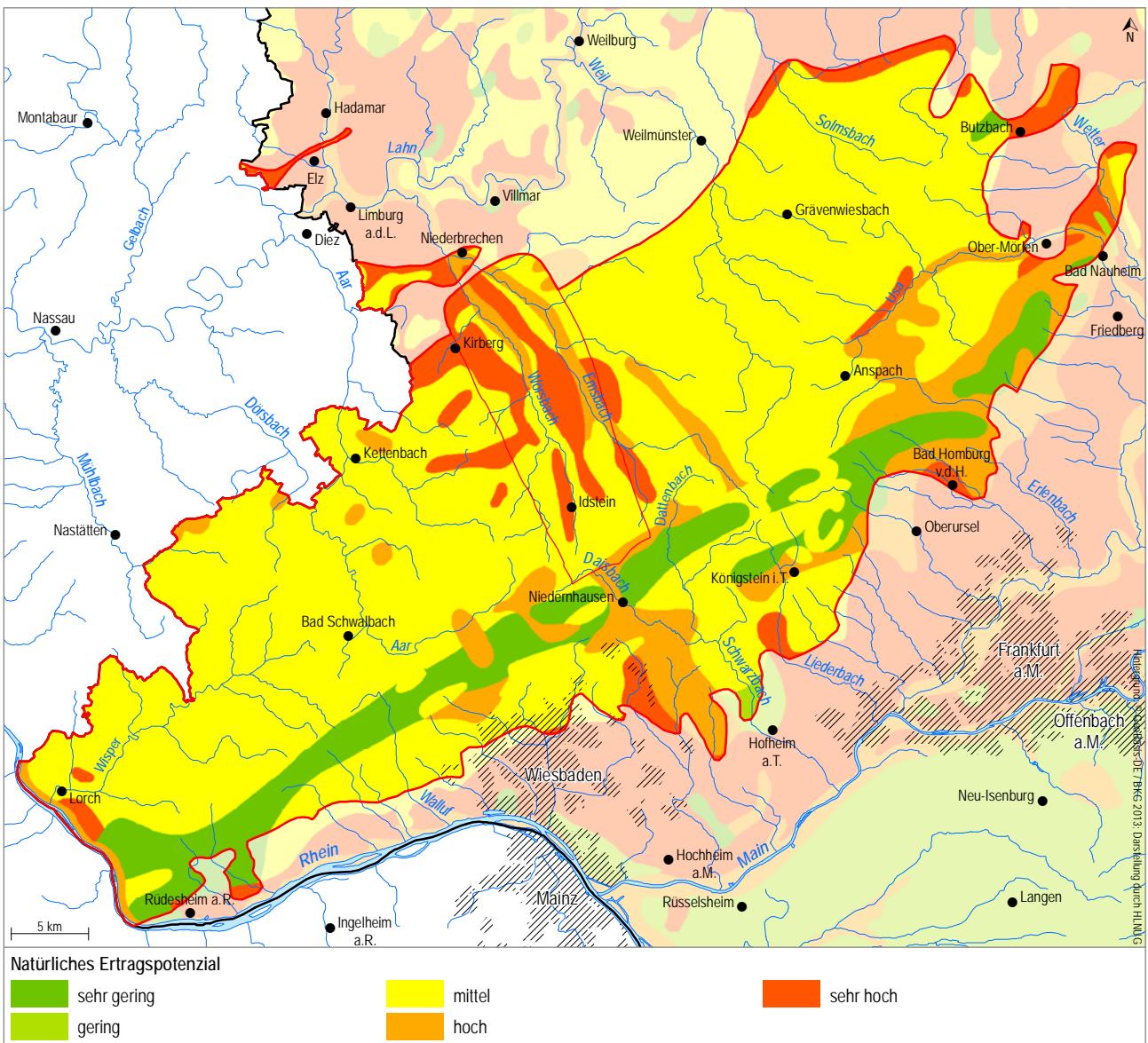


Abb. 3.7: Natürliches Ertragspotenzial (BÜK 500)

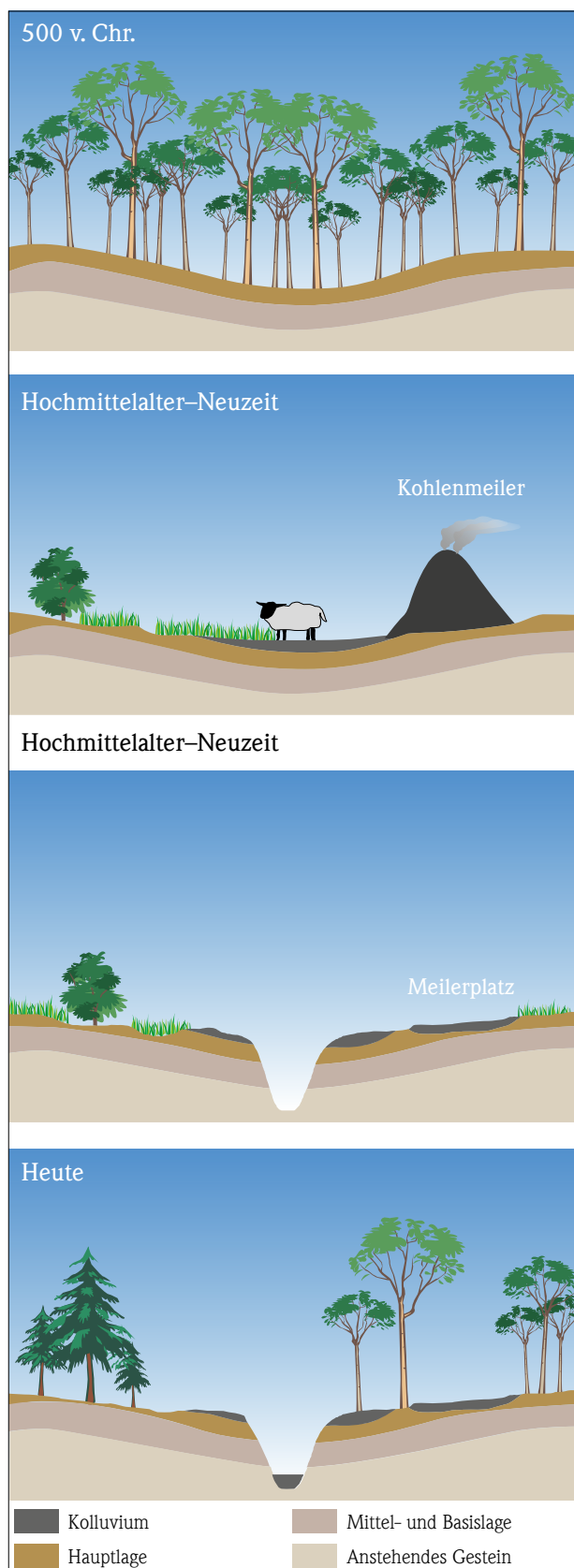


Abb. 3.8: Entstehung einer Runse (Erosionsgraben) im Mittelgebirge (STAHR 2015)



Abb. 3.9: Historischer Köhlerplatz

Das in Abb. 3.9 gezeigte Profil eines historischen Köhlerplatzes wurde im Taunus nahe Niedernhausen-Oberjosbach durch den Bau eines Forstweges angeschnitten. Unter einer Schicht aus Bodenaushub (Wegebau = Spateneinstich) folgt eine Lage dunkler Holzkohle. Darunter ist die Frittlingszone an ihrer rötlich-braunen Farbe zu erkennen.

Die in nord-südlicher Richtung verlaufenden Täler am Taunussüdrand besitzen einen typisch asymmetrischen Talquerschnitt, wie in Abb. 3.11 schematisch dargestellt. Die nach Osten exponierten Westhänge weisen eine weniger starke Neigung auf. Grund hierfür sind die überwiegend aus Westen kommenden Winde und die daraus resultierende Leelage (Wind Schatten). Auf den Gesteinen und Kiesen der Bachterrasse wurde dadurch Löss abgelagert. Die auf den mächtigen Lössablagerungen entstandene Parabraunerde ist attraktiv für die landwirtschaftliche Nutzung. Die gegenüberliegenden Osthänge wurden durch die nach Osten abgedrängten Fließgewässer und ihre verstärkte Verwitterung durch die exponierte Lage immer steiler. Hier überwiegt auf den zu tonigen, wasserundurchlässigen Staunässeböden (Pseudogley) verwitterten Osthängen der Wald (SEMMELE 1993, STAHR 2017). In der Aue entwickelte sich über den Schottern ein vom Grundwasser beeinflusster Auenboden (Gley).

Böden

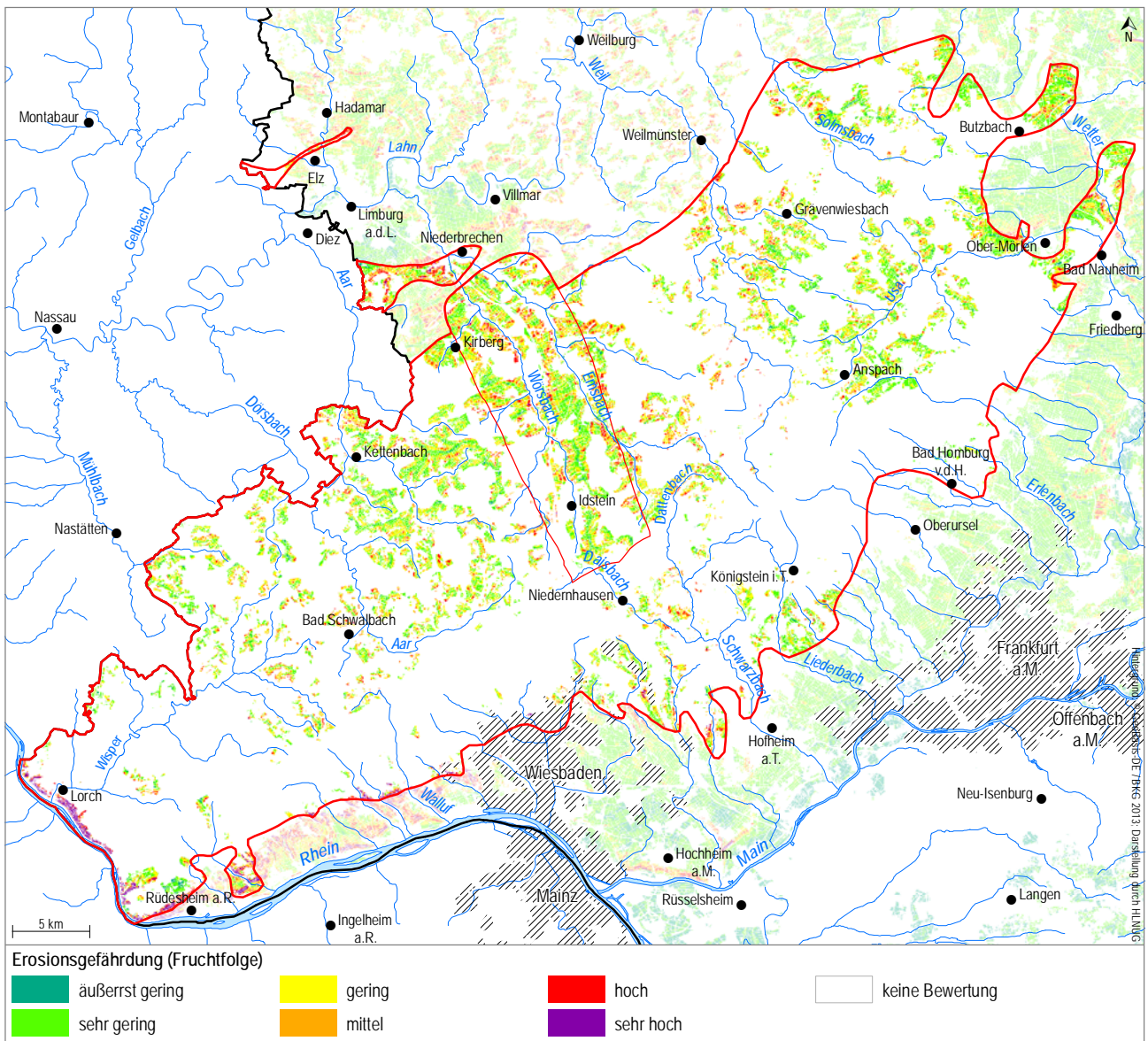


Abb. 3.10: Erosionsgefährdung

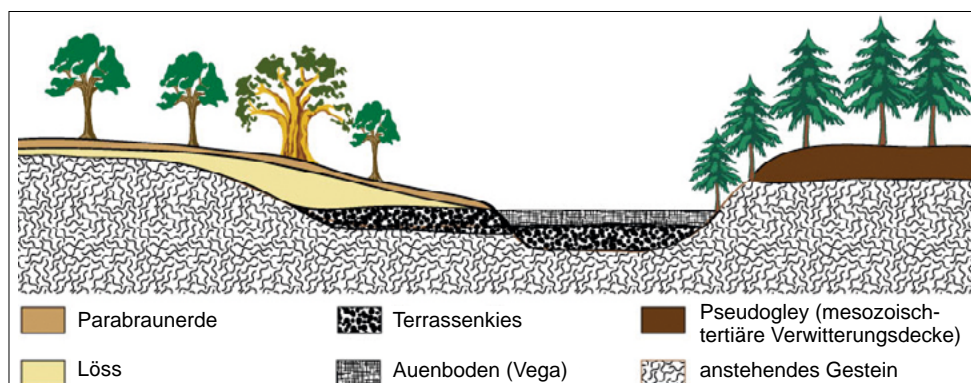


Abb. 3.11: Asymmetrisches Tal im Taunus (STAHR 2017)

4 Geologie

4.1 Geologischer Überblick

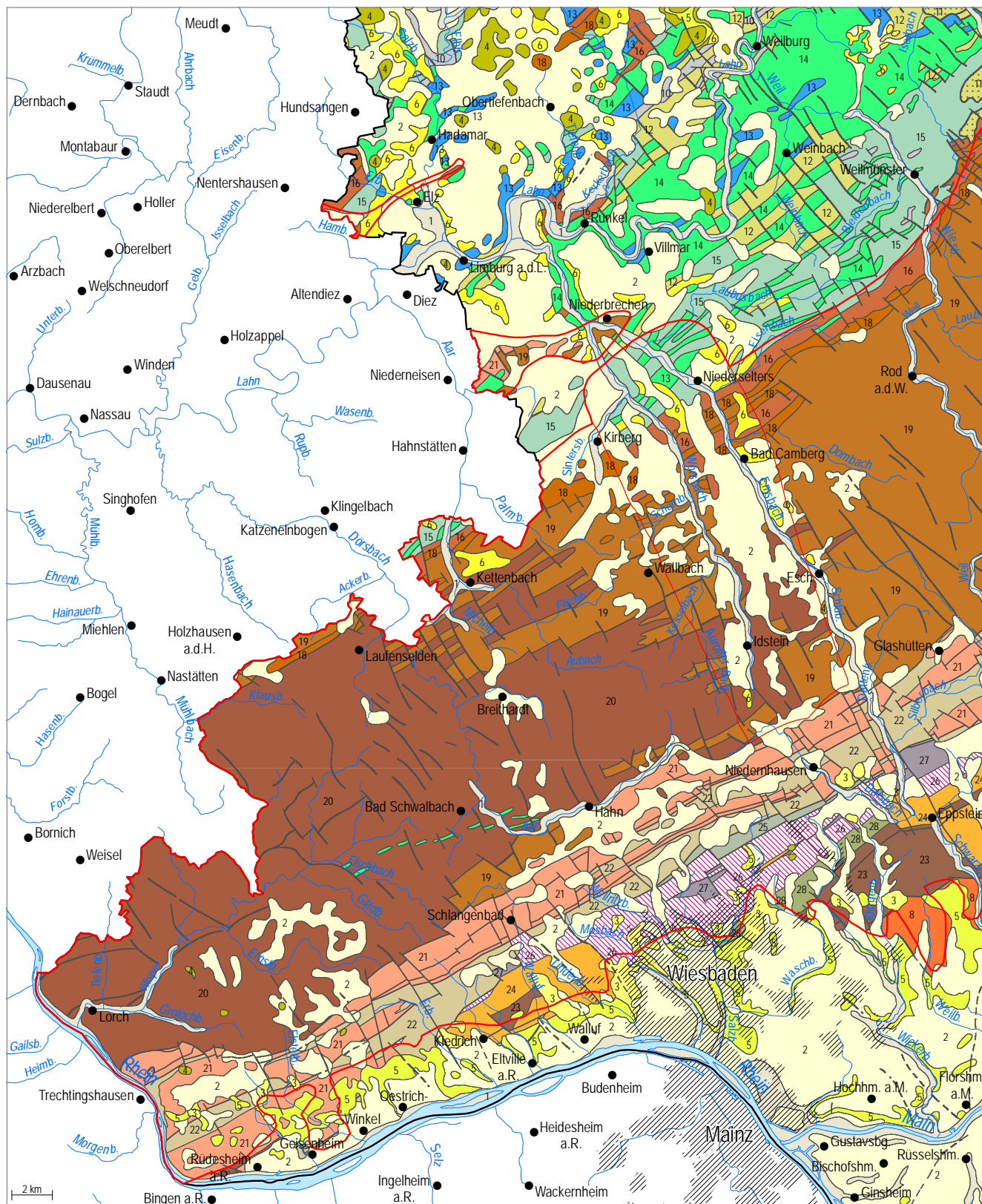
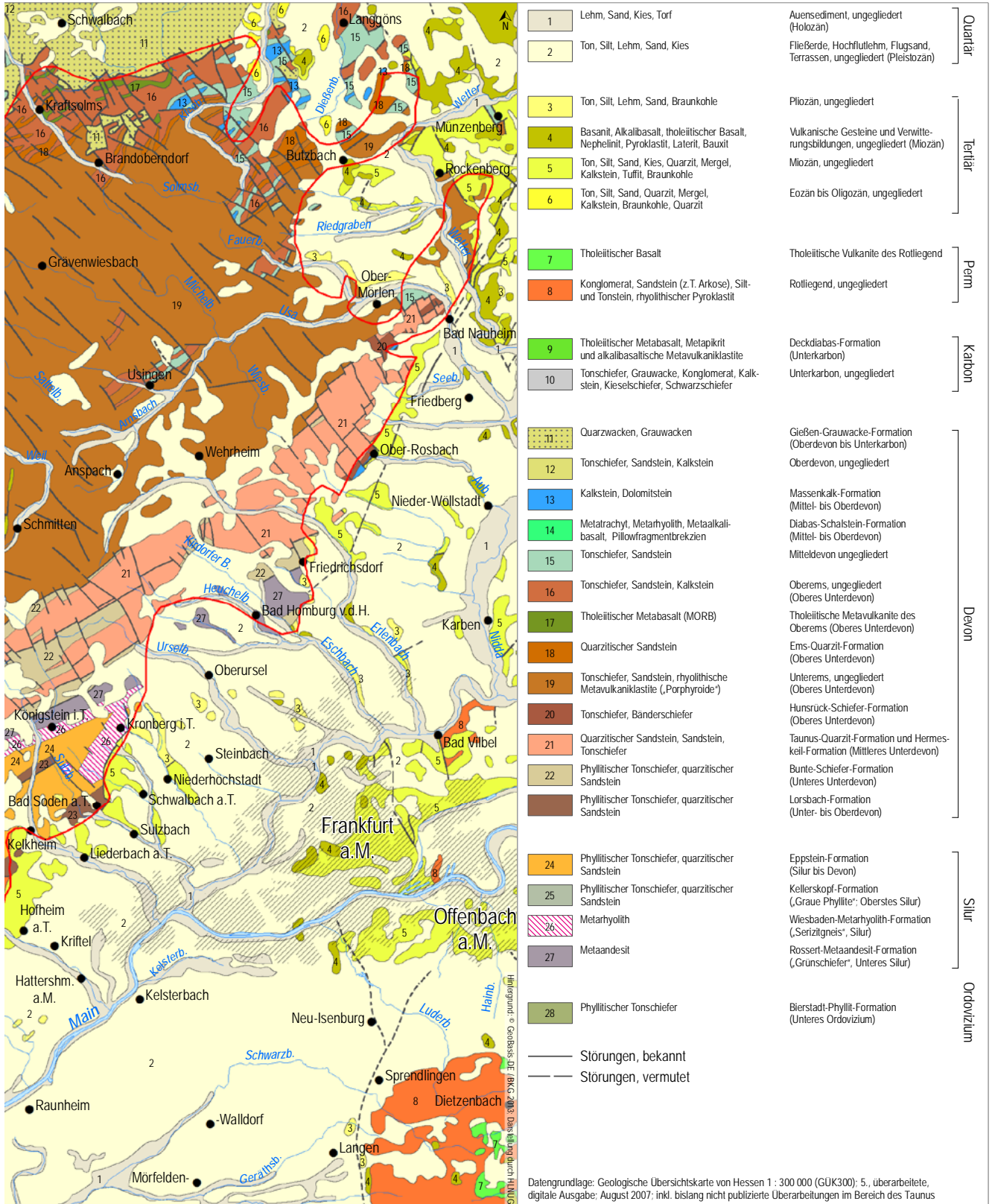


Abb. 4.1: Geologische Übersichtskarte (GÜK300, HLUK 2007)

Geologie



Der südliche Bereich des Rheinischen Schiefergebirges besteht aus dem Hunsrück im Westen und dem Taunus im Osten. Die beiden Teile werden durch das Mittelrheintal getrennt. Der Taunus gliedert sich von SE nach NW in drei tektonisch-stratigraphische, rund 60° streichende Großeinheiten: im Süden die

bis zu 7,5 km breite Vordertaunus-Einheit, nördlich anschließend die maximal 8 km breite Taunuskamm-Einheit und im Norden die Hintertaunus-Einheit (ANDERLE 1991, 2008 und ANDERLE et al. 2021). Hierbei handelt es sich um übereinander geschobene Gesteinspakete, die sich auch morphologisch vonei-

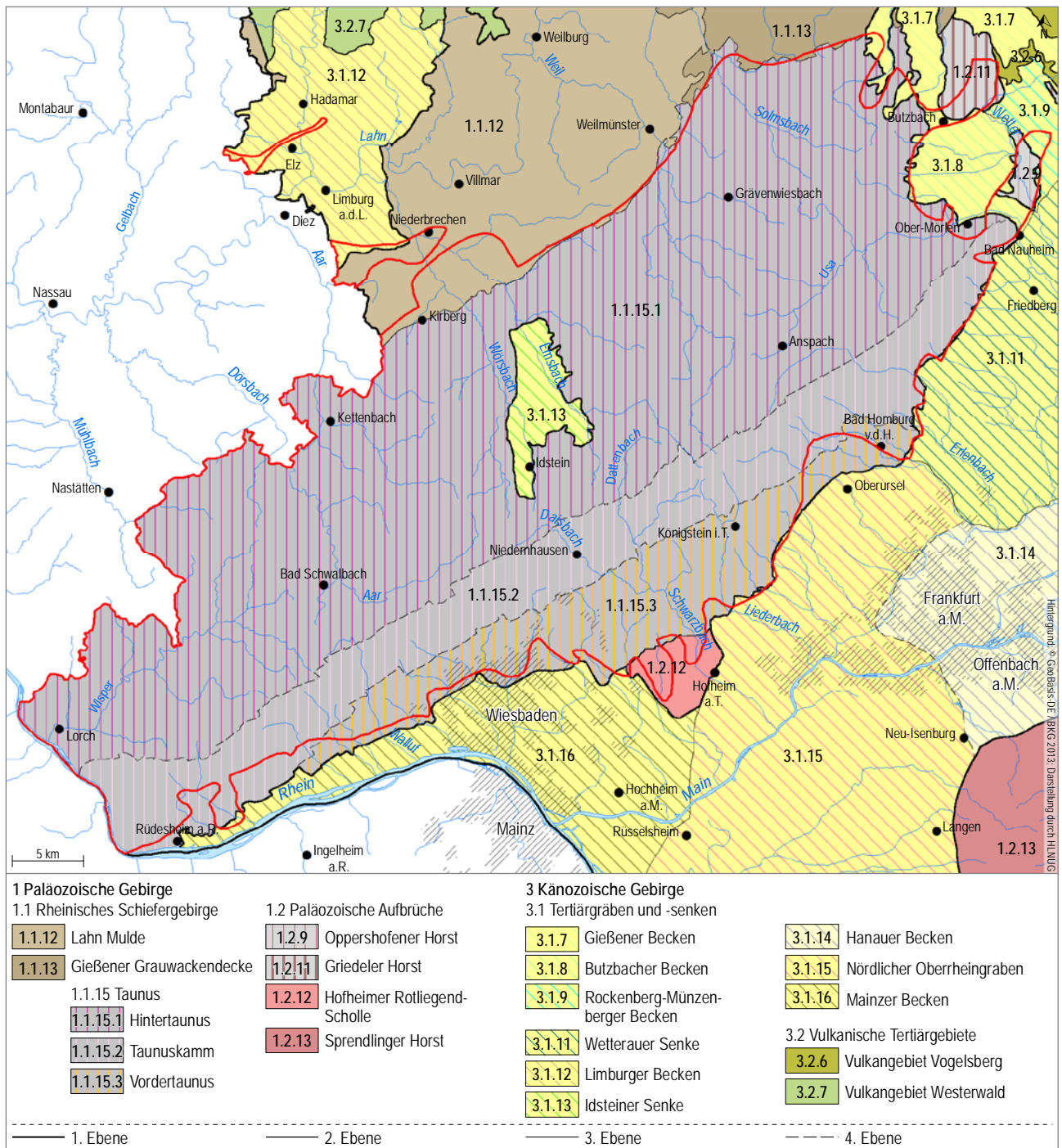


Abb. 4.2: Geologische Strukturräume (Basis: GÜK 300 (HLUG 2007))

System	Serie	Reg. Stufen	Vordertaunus	Taunuskamm	Hintertaunus		
Devon	Oberdevon	Famenne	Lorsbach-Formation				
		Frasne					
	Mitteldevon	Givet					
		Eifel					
	Unterdevon	Ems				Lahnstein	Ems-Quarzit-Formation
						Vallendar	
		Unterems				Singhofen	Singhofen-F.
Ulmen			Hunsrück-schiefer-F.	Schwall-SF. Kaub-SF. Bornich-SF. Hennethal-SF.			
Siegen	Taunusquarzit-F. Hermeskeil-F.						
Gedinne	Bunte-Schiefer-F.						
Silur	Pridoli Ludlow Wenlock Llandovery		Kellerskopf-Formation Eppstein-Formation Wiesbaden-Metarhyolith-F. Rossert-Metaandesit-F.				
Ordovizium	Oberordovizium	Ashgill Caradoc					
	Mittelordovizium	Llanvirn Arenig	Bierstadt-Phyllit-F.				
	Unterordovizium	Tremadoc			SF. = Subformation		

Tab. 4.1: Tektonisch-stratigraphische Einheiten des Taunus (ANDERLE 2021, bearbeitet)

inander abgrenzen lassen. So steht der Taunuskamm mit seiner höchsten Erhebung, dem Feldberg, markant gegenüber den deutlich flacheren Ebenen des Hintertaunus und dem reliefierten, aber weniger hohen Vordertaunus heraus.

Während des Ordoviziums bis zum Devon war das Rheinische Schiefergebirge Teil einer alluvialen Küstenebene sowie eines flachmarinen Sedimentationsbeckens mit zyklisch wechselnden Meeresspiegelständen. Das Becken nahm die Abtragungsprodukte des im Norden liegenden Urkontinents Laurussia auf, wobei die in Küstennähe zur Ablagerung kommenden Sedimente aufgrund der Gezeitenenergie überwiegend sandig waren, während in größeren Wassertiefen auch feinkörniges Material wie Ton und Schluff abgelagert wurde. Diese waren das Ausgangsmaterial der heutigen, diagenetisch und metamorph überprägten Sedimente des Taunus. Die ebenfalls

aufretenden Vulkanite werden angesichts ihrer geochemischen Zusammensetzung als Relikte eines Inselbogenvulkanismus interpretiert.

Mit dem Einsetzen der sogenannten variszischen Gebirgsbildung (Orogenese) gegen Ende des Devons wurden die Gesteine intensiv verfaultet und verschuppt. Teilweise kam es zu großräumigen Deckenüberschiebungen (z. B. Gießener Decke). Dieser Prozess fand seinen Höhepunkt im Oberkarbon. Nach dem Herausheben des variszischen Gebirges begann eine Zeit der Abtragung und Einebnung (KÄMMERER 1998). Erst im Tertiär setzten erneute Hebungsphasen ein. Mit der Bildung des Oberrheingrabens kam es unter anderem auch im Taunus zu jüngeren, rheinisch (NNE-SSW) streichenden Bruchstrukturen. Die 5–8 km breite Idsteiner Senke senkte sich im Zuge dessen grabenartig ein und trennte fortan den westlichen und östlichen Hintertaunus.

Aufgrund seiner Nähe zum nördlichen Oberrheingraben ist der Taunus stark bruchtektonisch beansprucht (STENGEL-RUTKOWSKI 1970, ANDERLE 1984, 1991). Offene Klüfte und Störungen im Festgestein

stellen die wichtigsten Wasserwegsamkeiten für das Grundwasser dar (Kluftgrundwasserleiter). Gebiete mit hoher tektonischer Beanspruchung weisen daher in der Regel ein höheres Grundwasserdargebot auf.

4.2 Vordertaunus

Im Vordertaunus (auch als „Vordevon“ oder „Metamorphe Zone“ bezeichnet) finden sich die ältesten und am stärksten deformierten Gesteine des Betrachtungsgebiets (SOMMERMANN et al. 1992). Er ist Teil der Nördlichen Phyllitzone, die sich vom Südhunsrück bis zum Südharz erstreckt. Diese markiert den Verlauf einer variszischen Suturezone zwischen dem Südrand von Avalonia und Amorika (Mitteldeutschen Kristallinschwelle; ANDERLE 2021, Anderle et al. 2021). Der Vordertaunus ist die am stärksten deformierte Gesteinseinheit im Rheinischen Schiefergebirge. Die ordovizischen bis unterdevonischen

Sedimente und Vulkanite stehen heute als metamorph überprägte Gesteine in Form von Metapeliten, Phylliten und phyllitischen Tonschiefern, Quarzite, Kalksteine sowie Metaandesiten („Grünschiefern“), Metarhyolithen („Serizitgneis“) und vereinzelt Metabasalte im Gelände an (KLÜGEL 1997, ANDERLE 2008). Da es kaum Fossilfunde gibt und sich die Gesteine durch die heterogen verteilte Deformation und metamorphe Überprägung nur schwer gegeneinander abgrenzen lassen, gestaltet sich die stratigraphische Einstufung häufig schwierig.

4.2.1 Bierstadt-Phyllit-Formation

Die Bierstadt-Phyllit-Formation wird aus grauen, mylonitischen Metapeliten aufgebaut. Relikte eines magmatischen Gefüges weisen darauf hin, dass es sich um stark zerscherte Vulkanite handelt und nicht, wie bisher angenommen, um metamorph überprägte Ton- und Siltsteine (ANDERLE 2021). Das Alter der Ausgangsgesteine wird anhand von Fossilfunden (Acritarchen) auf tieferes Ordovizium datiert. Damit handelt es sich bei der Bierstadt-Phyllit-Formation um die ältesten Gesteine im Taunus (REITZ et al.

1995). Natürliche Aufschlüsse der Formation sind nicht bekannt. Jedoch wurden die Gesteine in Bohrungen und während des Baus des Schulwald-Tunnels östlich von Wiesbaden-Medenbach angetroffen. Teilweise sind die Gesteine zu rötlichen bis gelben Saproliten umgewandelt. Hierbei handelt es sich um tiefgründige, chemische Verwitterungsdecken, die in der Regel unter humiden Bedingungen gebildet wurden.

4.2.2 Rossert-Metaandesit-Formation

Bei der Rossert-Metaandesit-Formation („Grünschiefer“) handelt es sich um meist graugrüne, geschieferte Gesteine (ANDERLE 2008, 2021), in deren feinkörnigem Gefüge einzelne größere Kristalle vorhanden sind („porphyrisches“ Gefüge). Geochemisch werden sie nach WINCHESTER & FLOYD (1977) als Andesite, Trachyandesit und Dazite klassifiziert (MEISL 1995). Lokal treten auch Kupfervererzungen auf (ANDERLE &

KIRNBAUER 1995, KIRNBAUER 1998). Als Alter wird anhand einer Probe von Ruppertshain das unterste Silur angenommen (SOMMERMANN et al. 1992). Gemeinsam mit den Gesteinen der Wiesbaden-Metarhyolith-Formation repräsentiert die Rossert-Metaandesit-Formation die Gesteine bimodalen vulkanischen Ursprungs.



Abb. 4.3: Ehemaliger Steinbruch (NSG) zwischen Eppstein-Vockenhausen und Eppstein-Ehlhalten: Rossert-Metaandesit-Formation

4.2.3 Wiesbaden-Metarhyolith-Formation

Die schiefrigen, grünlich-grauen und meist leicht silbrig glänzenden Gesteine der Wiesbaden-Metarhyolith-Formation waren früher unter dem Namen „Serizitgneis“ bekannt. Sie sind in einem breiten Streifen von Wiesbaden bis Kronberg verbreitet und treten auch im SW noch vereinzelt auf. Die große

Ausstrichbreite lässt sich durch die faltentektonische Verdopplung der Gesteinseinheit erklären (ANDERLE 2021). Anhand von radiometrischen Uran-Blei-Datierungen an Zirkonen wird das Alter der Gesteine ebenfalls als silurisch eingestuft (SOMMERMANN et al. 1992).

4.2.4 Eppstein-Formation

Die Gesteine der Eppstein-Formation bestehen aus einer Serie grünlich-grauer Phyllite unterschiedlicher Ausprägung. Vermutlich sind sie aus Peliten, Tuffen sowie schlecht sortierten Quarzwacken und Quarzi-

ten hervorgegangen. Die Altersstellung ist unsicher. Ein silurisches bis unterdevonisches Alter erscheint als wahrscheinlich (KLÜGEL et al. 1994).

4.2.5 Kellerskopf-Formation

Die Kellerskopf-Formation, ehemals „Graue Phyllite“ genannt (LEPPLA 1924), besitzt Ähnlichkeit mit den zuvor beschriebenen grünlich-grauen Phylliten. Aufgrund eines geringeren metamorphen Überprägungs-

grades sind diese im Fall der Kellerskopf-Formation eher als phyllitische Tonschiefer zu klassifizieren. Es sind zudem mehrere Zwischenlagen aus feinkörnigen, glimmerreichen Sandsteinen und Quarziten vor-

handen (LEPPLA 1924). Vereinzelt mylonitische Lagen mit einem deutlichen Feldspatanteil weisen auf ehemalige Vulkanite hin.

Die Kellerskopf-Formation bildet vermutlich eine eigene tektonische Schuppe (KLÜGEL et al. 1994). Sie

ist zudem eine der wenigen Einheiten im Taunus, in der Fossilien gefunden wurden. Insbesondere mit Hilfe des Fundes der Brachiopoden *Dayia shirleyi* (muschelähnliche Fossilien) im Goldsteintal konnte die Formation dem obersten Silur zugeordnet werden.

4.2.6 Lorsbach-Formation

Die Lorsbach Formation ist die jüngste paläozoische Einheit im Vordertaunus. Sie besteht aus dunkelgrauen bis schwarzgrauen, teils pyritführenden Tonschiefern, in die Quarzite, dünne Kalksteinbänke und Metabasalte eingeschaltet sein können. Teilweise fand eine Saprolitisierung (chemische Verwitterung des Gesteins) oder Verwitterung in Alaun(salz) statt.

Im Unterschied zu den Phylliten der Eppstein-For-

mation, die eher grünlich-grau sind, dominieren in der Lorsbach-Formation die dunkleren Farben. Aufgrund der verschiedenen Gesteinsausprägungen und widersprüchlicher Altersdatierungen (silurisch-unterdevonisch bis mitteldevonisch) wird die Lorsbach-Formation als tektonischer Stapel interpretiert, bei dem verschiedene Gesteinspakete zusammengeschoben wurden (REITZ 1989, KLÜGEL et al. 1994, ANDERLE 2021).

4.3 Taunuskamm-Einheit

Die Taunuskamm-Einheit besteht überwiegend aus schwach metamorph überprägten Gesteinen, die dem tiefen Unterdevon (Gedinne- bis Siegen-Stufe) zugeordnet werden (ANDERLE 2008, 2021). Die Abfolgen repräsentieren die beginnende Absenkung des damaligen Ozeanbeckens. Bei den Gesteinen der Taunuskamm-Einheit handelt es sich überwiegend um Quarzite, Sandsteine und Tonschiefer. Morphologisch dominiert vor allem die Taunusquarzit-For-

mation, die aufgrund ihrer Verwitterungsresistenz markante Höhenrücken bildet. Die Bunte-Schiefer-Formation und die Hermeskeil-Formation treten dagegen zurück. Im nordöstlichsten Bereich des Taunuskammes kommen außerdem noch mitteldevonische Wissenbacher Schiefer (Eifel) und Massenkalk (Givet) vor, die in die unterdevonischen Folgen eingeschuppt wurden.

4.3.1 Bunte-Schiefer-Formation

Die Bunte-Schiefer-Formation zählt zeitlich zum oberen Teil der Gedinne-Stufe (Unterdevon), was durch Fossilfunde bestätigt wurde (SCHMIDT 1958, REITZ in ANDERLE 2008). Sie besteht überwiegend aus weinroten, dunkelvioletten bis dunkelrotbraunen sowie dunkel- bis grauolivgrünen phyllitischen Tonschiefern, in denen auch Übergänge zu schluffig-feinsan-

digen Tonschiefern, hellgrüne und graue Sandsteine und Quarzite sowie Konglomeratlinsen vorkommen können (LEPPLA 1922, REISCHMANN 1967, EHRENBERG et al. 1968). Die charakteristischen Farben können dabei auf höhere Anteile an dem eisenhaltigen Mineral Hämatit (rot) oder Chlorit (grün) zurückgeführt werden.

4.3.2 Hermeskeil-Formation

Die Schichten der Hermeskeil-Formation wurden als ehemalige Küstensedimente abgelagert. Es handelt sich vorwiegend um stark glimmerführende Sand-

steine und Quarzite mit Korngrößen im Mittel-Grob-sandbereich. Sie haben eine hellrote, braune und selten gelbe bis graue Farbe (ANDERLE 2008, 2021).

Teilweise sind rötliche bis graue Tonschiefer in die Abfolge eingeschaltet. Aufgrund des hohen Anteils an Glimmer sind die Hermeskeil-Sandsteine verwitterungsanfällig und besitzen eine gute Klüftigkeit. Die

zeitliche Einstufung erfolgt anhand von Sporen- sowie Faunenfunden in die unterdevonische Siegen-Stufe (SCHWARZ 1991, ANDERLE 2008).

4.3.3 Taunusquarzit-Formation

Die Taunusquarzit-Formation besteht aus Ablagerungen, die ursprünglich etwa einem Strand bis Schelfbereich entsprachen. Sie wird repräsentiert durch weiße und rötliche Sandsteine und hellgraue bis weiße Quarzite (ANDERLE 2008). Teilweise, insbesondere im Osten, finden sich auch eingelagerte Tonschiefer und Konglomerate. Die Gesteine sind sehr hart und bilden bis zu drei parallel verlaufende, markante Hö-

henrücken. Entlang von Schwächezonen können sie zudem eine ausgeprägte Klüftigkeit aufweisen, die Fließwege für versickerndes Niederschlags- und Grundwasser bilden. Die Einstufung der Taunusquarzit-Formation erfolgt ebenfalls in die unterdevonische Siegen-Stufe (MITTMEYER 1974, 1982, CARLS et al. 1982, ANDERLE 2008).



Abb. 4.4: Ehemaliger Steinbruch an der Wambacher Mühle, Schlangenbad: Taunusquarzit-Formation

4.4 Hintertaunus

Der Hintertaunus wird überwiegend aus Gesteinen der unteren Ems-Stufe (Unterdevon) aufgebaut, untergeordnet auch des Mittel- bis Oberdevons und sogar Unterkarbons (ANDERLE 2008, 2021). Die Gesteine setzen sich aus Sand-, Schluff- und Tonsteinen bzw. Tonschiefern zusammen, vereinzelt treten auch Vulkanite („Porphyroide“) auf.

Durch die Senkungsstruktur der Idsteiner Senke wird der Hintertaunus in einen östlichen und einen westlichen Teil unterteilt, wobei die älteren Einheiten, der „Hunsrückschiefer“, im Wesentlichen im südwestlichen Teil und die jüngeren „Singhofener Schichten“ im Nordosten verbreitet sind.

4.4.1 Hunsrückschiefer-Formation (Ulmen-Unterstufe)

Die Hunsrückschiefer-Formation besteht hauptsächlich aus dunkelgrauen, deutlich geschieferten Tonsteinen. In die Tonschiefer sind Schluff- bis Feinsandstein- und hellgraue Feinquarzit-Lagen eingeschaltet. Stellenweise treten pyritreiche Kieselgallen auf. Die Einstufung in die Ulmen-Unterstufe des Unterems gelang MITTMEYER (1973) mittels reicher Faunen (ANDERLE 2021).

Innerhalb der Formation sind mehrere Subformationen vorhanden: Die Hennethal-Subformation („Sauerthaler Schichten“), die Bornich-Subformation, die Kaub-Subformation und die Schwall-Subformation (MITTMEYER 1973, 2008, MICHELS & ANDERLE 2010). Letztere unterscheidet sich insbesondere durch das Vorkommen von Porphyroiden (KIRNBAUER 1991) von den ansonsten sedimentär geprägten Schichten der Hunsrückschiefer-Formation.



Abb. 4.5: Straßenanschnitt an der L3092 nahe Daisbach: gefaltete Tonschiefer und Quarzite der Bornich-Subformation

4.4.2 Singhofen-Formation (Singhofen/Vallendar-Unterstufe)

Der Singhofen-Formation werden die Spitznack- und Beuerbach-Subformationen zugeordnet. Es handelt sich um dunkelgraue Tonschiefer, die auch schluffig-sandig sein können, sowie bankige, hellgraue Feinsandsteine und Quarzite. Einzelne Bänke mit Schalen von Muscheln und Brachiopoden kommen vor. Charakteristisch für die Formation ist das Auftreten von Porphyroiden (FUCHS 1927, 1978), einem Mischgestein aus wechselnden Anteilen pyroklastischen, epiklastischen und bioklastischen Materials. Die pyroklastischen Anteile lassen auf explosiven Vulkanismus in der näheren Umgebung schließen. Die biostratigraphische Einstufung in das Unterems erfolgte nach SOLLE (1951).



Abb. 4.6: Ehemaliger Steinbruch an der B 275, östlich von Esch: flexurartig verbogene Schichten der Spitznack-Subformation



Abb. 4.7: Ehemaliger Steinbruch südöstlich von Dietenhausen: Falte in der Singhofen-Formation

4.4.3 Ems-Quarzit-Formation (Ober-Ems, Lahnstein-Unterstufe)

Die Ems-Quarzit-Formation steht in einem schmalen Streifen am nordwestlichen Rand des Taunus an. Es sind überwiegend helle, weißgraue Quarzite und Sandsteine vertreten. Die Gesteine können ei-

ne reiche Schalenfauna führen. Die stratigraphische Einstufung erfolgte in die tiefere Oberems-Stufe (ANDERLE 2021).

4.5 Weitere Gesteinsformationen

Im Nordosten der Hintertaunus-Einheit treten mit einer geringeren Verbreitung weitere Gesteinseinheiten auf. Es handelt sich u. a. um die Oberems-Schiefer-Sandstein-Formation (Tonschiefer, Grauwacken und Sandsteine), die Wissenbach-Schiefer-Formation (v.a. Tonschiefer), die Givet-Massenkalk-Subformation (Platten- und Riffkalke), die Krofdorf-Formation (Kieselschiefer) und die Gießen-Grauwacke-Formation (Grauwacken). Vor allem im Hintertaunus sind auch Vulkanite („Diabase“) in die devonischen Sedimente als Gänge und Lagergänge eingedrungen. Dies sind vor allem die Deckdiabas-Formation (tholeiitischer Metadolerit) und die Solmstal-Vulkanit-Formation (tholeiitischer Metabasalt). Bei der Unterems-Porphyr-Formation handelt es sich um einen rhyolithischer bis rhyodacitischer Metavulkaniklastit.

Als Zeugen einer tertiären vulkanischen Tätigkeit



Abb. 4.9: Ehemaliger Steinbruch am Rabenkopf („Basalter Bruch“), Geisenheim-Stephanshausen: säuliger Basalt

(EHRENBERG et al. 1968) sind im gesamten Taunus einzelne Basalte und Basalttuffe als Schlotfüllungen und Gänge zu finden.



Abb. 4.8: Ehemaliger Steinbruch Oberkleen: Givet-Massenkalk-Subformation

4.6 Griedeler Horst und Oppershofener Horst

Ganz im Osten tauchen die paläozoischen Gesteinseinheiten der Taunuseinheit staffelförmig an NNW-SSE-streichenden Störungen unter das Tertiär und Quartär der Wetterau ab (KÜMMERLE 1981). Einzelne Schollen, u. a. der Griedeler und auch der Oppershofener Horst, wurden weniger stark abgesenkt und reichen spornartig in die Wetterau hinein. Der zentrale Bereich des komplizierten aufgebauten Oppershofener Horstes wird von unterdevonischen Gesteinen der Ems-Stufe aufgebaut. Die Oppershofen-Formation gilt als porphyroidfreies Äquivalent der Sing-

hofen-Formation. Sie besteht aus Ton- und Grauwackenschiefern mit Sandstein- und Quarzit-Lagen und zeichnet sich durch eine reichhaltige Fauna (u. a. Mollusken, Brachiopoden, Bryozoen und Echinodermen) aus.

Im Bereich des Griedeler Horstes („Griedeler Devon-scholle“) finden sich v. a. unterdevonische Sedimentgesteine der Ems- (Spitznack-Formation) und der Eifel-Stufe (Wissenbach-Schiefer-Formation).



Abb. 4.10: Ehemaliger Steinbruch Rockenberg-Oppershofen: Locus Typicus der Oppershofen-Formation

4.7 Lahn-Mulde

Zum Betrachtungsraum gehören im Nordwesten noch kleinere Anteile der Lahn-Mulde und des Limburger Beckens an. Hier treten zusätzlich zu den bereits genannten Einheiten des Hintertaunus die Unterems-Schiefer-Sandstein-Formation, die Ober-

ems-Schiefer-Sandstein-Formation, die Plattenkalk-Formation, die Tentakulitenschiefer-Formation und die Massenkalk-Formation sowie die Diabas-Schalestein-Formation, die Keratophyr-Formation und die Deckdiabas-Formation auf (ANDERLE 2021).

4.8 Hofheimer Rotliegend-Scholle

Südlich von Eppstein und Kelkheim schließt sich an die Vordertaunus-Einheit die Hofheimer Rotliegend-Scholle an. Während des Perms senkte sich zwischen der Saar und der Saale an einer tiefreichenden, SW-NE-verlaufenden Störungszone – der Hunsrück-Taunus Südrandstörungszone – ein Graben ab. Dieser wurde zur Zeit des Rotliegend mit rötlichen

Sand- und Tonsteinen und Konglomeraten aufgefüllt. Diese sind bei Hochheim in einer Hochscholle aufgeschlossen. Lokal überdecken die pliozänen Hofheimer Sande und Kiese („Kalkfreie Randfazies“) die Rotliegend-Sedimente sowie die Gesteine der Vordertaunus-Gruppe.



Abb. 4.11: Weganschnitt südlich von Losbach: Rotliegend-Konglomerat

4.9 Idsteiner Senke

Die Idsteiner Senke ist, wie das Limburger Becken, eine Senkungsstruktur im Taunus, die durch junge, postoligozäne Dehnungsbrüche entstanden ist. Sie ist in unterschiedliche Hoch- und Tiefschollen und unterschiedlich verkippte Teilbereiche untergliedert (ANDERLE 2021). Hier stehen an der Oberfläche auch tertiäre Gesteine (v. a. fluviatile Kiese und Sande der oligozänen Arenberg-Formation) in geringer Mächtigkeit an. Die Sedimente werden anhand von

Mikrofossilien (SONNE 1982, SCHÄFER 1993, 2005) und Mikroflora (HOTTENROTT 1993, 2007, FREILING & HOTTENROTT 1995) in das jüngere Unteroligozän – älteres Oberoligozän datiert. Am Ostrand der Idsteiner Senke sind auch pliozäne Terrassenkiese (MÜLLER 1973) zu finden. Ebenso sind die Kiesvorkommen im Bereich des Usinger Beckens und der Mörlener Bucht (Nauheim-Kantkies-Formation) ins Pliozän zu stellen (HOTTENROTT 2021).

4.10 Quartäre Ablagerungen

In den Kaltzeiten des Pleistozän entstanden ausge dehnte Decken periglazialer Ablagerungen mit tiefgreifender physikalischer Verwitterung. Vor allem die devonischen Tonschiefer sind in den oberen Metern stark verwittert und zersetzt (EHRENBERG et al. 1968, ROGALL 1997). Häufig liegt tonig-siltig-sandiger Hangschutt mit wechselnden Anteilen von stark verwitterten Tonschieferbruchstücken als 1–6 m mäch-

tige Decke auf den anstehenden Gesteinseinheiten (HEITFELD et al. 1981, ROGALL 1997).

Besonders an Ost-, Südost- und Nordost-Hängen ist Löss und Lösslehm verbreitet. Im Nordteil der Idsteiner Senke treten sie fast flächendeckend auf und erreichen Mächtigkeiten bis zu 8,5 m.

4.11 Tektonik

Die Gesteinseinheiten des Taunus sind von den tektonischen Bewegungen der variszischen Gebirgsbildung überprägt worden, deren Hauptphase im Karbon stattfand. Die Gesteine wurden zunächst in Nordost–Südwest-streichende, Nordwest-vergente Falten mit flachen Südost- und steilen Nordwest-Schenkeln gelegt. Durch fortschreitende Einengung – WUNDERLICH (1964) ermittelte für das gesamte Rheinische Schiefergebirge einen Einengungsbetrag von etwa 140 km (vgl. auch AHREND et al. 1983) – kam es schließlich zu großräumigen Aufschiebungen beziehungsweise Überschiebungen, zu denen unter anderem die Taunuskamm-Überschiebung gehört (EHRENBERG et al. 1968, ONCKEN 1988, 1989). Entlang dieser Zone wurden die älteren Gesteine des südlichen Taunus auf die Gesteine des jüngeren Unterdevons überschoben.

trale Seitenverschiebung (ANDERLE 2021). Sowohl der Taunuskamm (KLÜGEL 1997) als auch der Hintertaunus (MITTMAYER 1963, 1965) sind Schuppenstapel.

Aufgrund intensiver Bewegungen unter großem Belastungsdruck (JUNG 1955) entstanden zahlreiche Spezialfalten im Zentimeter- bis Kilometer-Maßstab, wobei größere Faltenstrukturen häufig an Überschiebungen gebunden sind (ANDERLE 1991). Überschiebungsbahnen wie auch Querstörungen können großräumige Erstreckungen aufweisen und pausen sich häufig in den Luft- und Satellitenbildern als Lineationen durch (ROGALL 1997). Besonders die Überschiebungsbahnen können Trennflächen erster Ordnung sein. Der Gesteinsverband ist hier meist weiträumig stark aufgelockert und tiefgründig verwittert bis hin zur völligen Auflösung.

KLÜGEL (1997) hat innerhalb der Vordertaunus-Einheit und an der Grenze zum Taunuskamm duktile Scherzonen nachgewiesen. Die Nördliche Phyllitzone zwischen der Taunuskamm- und Vordertaunus-einheit ist aufgrund der Streckungslineare eine sinis-

Querklüfte treten in relativ einheitlicher Ausrichtung und in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen auf (KÖTT 2016, KÖTT & ROGALL 2016), wobei die 140–160° streichenden von größerer Bedeutung sind, da sie häufig engständig, klaffend und nur ge-

legentlich mit Quarz gefüllt sind (MITTMEYER 1978). Die Querstörungen sind meist wasserwegsam, können allerdings auch durch zerriebenes Gestein (Mylonit) weitgehend abgedichtet sein (EHRENBERG et al. 1966, HOLTZ 1968, ROGALL 1997).

Die Schichtung streicht häufig Südwest–Nordost, spielt jedoch als Trennfläche kaum eine Rolle. Sie wird von der ersten Schieferung stark überprägt und weist ähnliche räumliche Orientierungen auf. Die variszische Gebirgsbildung hat zu zwei Deformationen mit jeweils zugehöriger Schieferung geführt, deren Intensität mit der Zunahme des Tonmineral-Gehalts der Gesteine steigt. Wichtigste Trennfläche ist die erste Schieferung (ANDERLE 1991, ROGALL 1997), während die 2. Schieferung meist als Runzelschieferung auftritt (ANDERLE 2021).

Die Nähe zum nördlichen Oberrheingraben bedingte eine starke bruchtektonische Zerlegung des Taunus im Laufe des Tertiärs mit Vertikalbewegungen bis zu 200 m (ANDERLE 1976, 1984, 1991). Viele Störungen verlaufen NNW–SSE und zahlreiche Täler folgen diesem Verlauf. Daneben sind auch E–W- und N–S-verlaufende Kluft- und Störungszonen von Bedeutung (ANDERLE 2021), wobei die rheinisch verlaufenden N–S-Störungen besonders wasserwegsam sind.

An Störungszonen gebunden treten fünf Typen von postvariszischen hydrothermalen Mineralisationen auf (ANDERLE et. al. 2021). Dies sind metasomatische Dolomite und Calcit-(Quarz-)Mineralisationen in devonischen Massenkalken, Pseudomorphosenquarz-Gänge, Quarz-Gänge mit Pb-Zn-Ci-Erzen und fahlerzführende Quarz-Ankerit-Gänge.



Abb. 4.12: Naturdenkmal Eschbacher Klippen (Buchsteinfelsen), Usingen-Eschbach: herausragendes Beispiel von herauspräparierten, postvariszischen Gangquarz-Felsklippen („Usinger Quarzgang“)

4.12 Abbau oberflächennaher Lagerstätten

Im Bereich der strukturgeologischen Einheit Taunus sind derzeit acht Abbaustellen mineralischer Rohstoffe aktiv (Abb. 4.14). Im Vordertaunus wird bei Fischbach und Mammolshain in zwei kleinen Steinbrüchen Metarhyolith („Serizitgneis“) als Naturwerkstein abgebaut. Im sich nordwestlich anschließenden Taunusquarzit-Gürtel wird Quarzit bei Stephanshausen und westlich von Köppern in zwei Steinbrüchen gebrochen und überwiegend zu hochwertigen Splitten und Schottern verarbeitet. Im Hintertaunus

wird Hartgestein, d. h. Keratophyr, bei Mensfelden gewonnen, Kaolin bei Kettenbach und hochwertiger Bremthaler Quarz aus einem Nordwest–Südost streichenden Quarzgang bei Usingen gefördert. Bei Werschau im Bereich der Idsteiner Senke werden zudem tertiäre Sande und Kiese der Arenberg-Formation abgebaut („Vallendarer Schotter“), die durch Abtragung und Umlagerung der mesozoisch-tertiären Verwitterungsdecke des Rheinischen Schiefergebirges entstanden sind.



Abb. 4.13: Steinbruch Mensfelden: Felskeratophyr (Metarhyolit)

Hydrogeologie von Hessen – Taunus und Idsteiner Senke

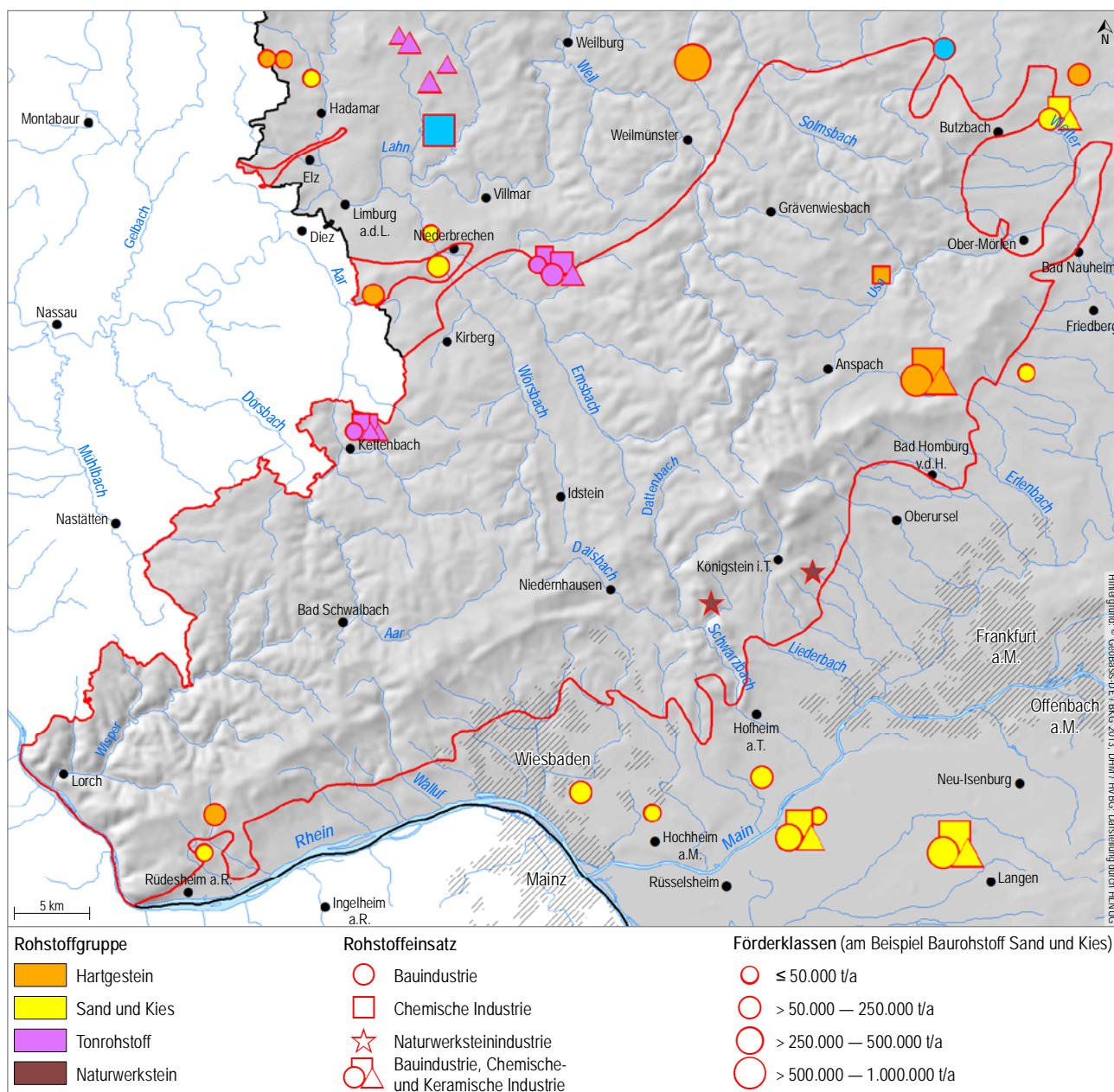


Abb. 4.14: Abbaustellen im Taunus und der näheren Umgebung mit Angabe des gewonnenen Rohstoffs, der Fördermenge sowie Angaben zur industriellen Verwertung

5 Hydrogeologie

5.1 Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist eine zentrale Größe bei der nachhaltigen Bewirtschaftung von Grundwasser und ein Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist durch die mittlere Grundwasserneubildung nach oben begrenzt, meist jedoch erheblich kleiner als diese. Die Gegenüberstellung von Grundwasserdargebot und Grundwasserbedarf ist eine zwingende Voraussetzung für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen und ist für die mengenmäßige Beschreibung der Grundwasserkörper nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000, vergl. Kap. 6.3.2) sowie für wasserrechtliche Genehmigungsverfahren zur Grundwasserentnahme vorgeschrieben. Hierzu sind detaillierte Kenntnisse der Wasserhaushaltsgrößen unverzichtbar.

Nach DIN 4049-3 wird unter Grundwasserneubildung der Zugang von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser verstanden. Das Volumen des auf einer bestimmten Fläche infiltrierten Wassers in einer bestimmten Zeit ergibt die Grundwasserneubildungsrate. Wie beim Abfluss wird unterschieden zwischen der Grundwasserneubildungshöhe [mm/a] und der Grundwasserneubildungsspende [$l/(s \cdot km^2)$]. Letztere wird auf eine definierte Fläche, das unterir-

dische Einzugsgebiet, bezogen (HÖLTING & COLDEWEY 2013).

Als residuale Komponente der Wasserbilanz stellt die Grundwasserneubildung (GWN) aus Niederschlag den um die tatsächliche Verdunstung (Evapotranspiration, ET_a) und schnelle laterale Abflusskomponenten (Q_{direkt}) reduzierten Anteil der Niederschlagshöhe (N) dar (Abb. 5.1):

$$GWN = N - ET_a - Q_{\text{direkt}}$$

Die räumliche Differenzierung der Grundwasserneubildung zeichnet sich durch den großräumigen Einfluss des Niederschlags und die kleinräumig wirkenden Auswirkungen der Standortfaktoren Boden, Landnutzung, Relief und Hydrogeologie aus.

Im Gegensatz zu anderen Wasserhaushaltsgrößen kann die Grundwasserneubildung nicht flächenhaft direkt gemessen werden. Sie lässt sich jedoch durch unterschiedliche Verfahren und Methoden indirekt ermitteln. Zur flächenbezogenen Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate wird generell empfohlen mehrere voneinander unabhängige Verfahren einzusetzen (Arbeitskreis Grundwasserneubildung

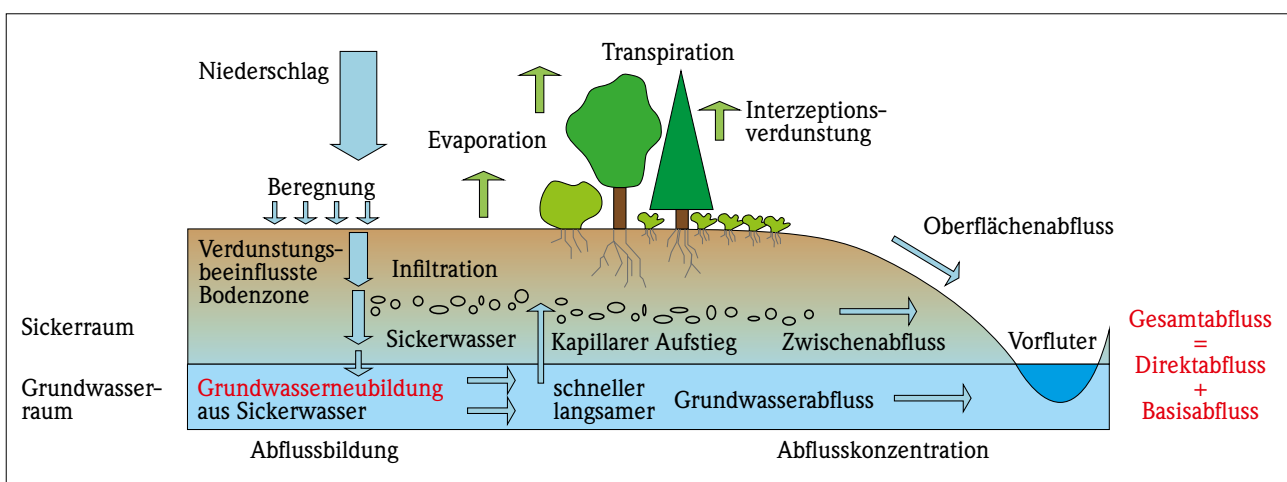


Abb. 5.1: Abflusskomponenten des terrestrischen Wasserkreislaufs (BMU 2003) – bearbeitet durch das HLNUG

1977). Daher wurde für den Odenwald und den Spremlinger Horst die Grundwasserneubildung mit drei unterschiedlichen Methoden, die in den nachfolgenden Kapiteln erläutert werden, ermittelt:

- Trockenwetterabflussmessungen (Stichtagsmessungen)
- Auswertung langjähriger Pegeldata
- Bodenwasserhaushaltsmodellierung

5.1.1 Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Abflussmessungen

Die Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate eines Gebietes aus Abflussdaten beruht auf der Möglichkeit, den Gesamtabfluss (Q_{gesamt}) in schnelle laterale Abflusskomponenten (Q_{direkt}), die der Summe aus Oberflächen- und Zwischenabfluss entsprechen, und einem dem Grundwasser entstammenden Anteil, der als Basisabfluss (Q_{basis}) den Vorfluter speist, zu zerlegen (Abb. 5.1):

$$N - ET_a = Q_{\text{gesamt}}$$

$$Q_{\text{gesamt}} = Q_{\text{direkt}} + Q_{\text{basis}}$$

Die unterschiedlichen Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung aus dem Abfluss in Vorflutern gehen davon aus, dass in Trockenwetterzeiten der gesamte Abfluss ausschließlich dem Grundwasser entstammt. Auf der Skala von Jahreswerten entspricht die Grundwasserneubildung näherungsweise dem Basisabfluss:

$$\text{GWN} = Q_{\text{basis}}$$

5.1.1.1 Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Einzelmessungen des Trockenwetterabflusses im Jahr 2008

Für eine Abschätzung von Gebietswerten der Grundwasserneubildung können Einzelmessungen des Trockenwetterabflusses herangezogen werden (Arbeitskreis Grundwasserneubildung 1977). Erfahrungsgemäß liegen die dabei gewonnenen absoluten Werte im Allgemeinen unter der langjährig mittleren Grundwasserneubildung.

Das Verfahren eignet sich dennoch für großräumige hydrogeologische Kartierungen und Systembeschreibungen, da es wertvolle Anhaltspunkte über die flächenhafte Verteilung der Grundwasserneubildungsrate innerhalb eines größeren Einzugsgebietes liefern kann. So können durch die Bewertung des Trockenwetterabflusses oft Gebiete mit unterschiedlichen hydrogeologischen Eigenschaften abgegrenzt werden.

Durch das „Abflussmessprogramm bei Niedrigwasser“ werden in Hessen die Abflüsse in Trockenperioden an ausgewählten Messstellen erfasst (LÖNS-HANNA et al. 2019). Im Bearbeitungsgebiet umfasst das Messprogramm 81 Messstellen. In den Jahren 2003

und 2018 wurden die landesweiten Niedrigwassermessungen durchgeführt. Das Jahr 2003 war von hohen Temperaturen und langanhaltender Trockenheit geprägt, das Vorjahr war jedoch überdurchschnittlich nass. Das Jahr 2018 wies ein starkes Niederschlagsdefizit in den Monaten Februar bis November auf. Durch den vorausgegangenen nassen Winter waren die Auswirkungen auf das Grundwasser nicht so extrem wie sie sonst gewesen wären.

Darüber hinaus erfolgte im Jahr 2008 eine Trockenwetterabflussmessung für 173 Teileinzugsgebiete im Taunus (vergl. Abb. 5.2). Das Jahr 2008 war im Gegensatz zu den Jahren 2003 und 2018 kein Trockenjahr. Im Frühjahr waren die monatlichen Gebietsniederschläge überdurchschnittlich hoch, im September lagen sie unter dem langjährigen Monatsmittel der Jahre 1971–2000. In der Zeit vom 3. September bis 29. September 2008 sowie am 20. und 21. Oktober 2008 wurden im Bearbeitungsgebiet einmalig die Abflüsse gemessen.

Das Bearbeitungsgebiet wurde in die Abflusssysteme Hintertaunus Ost und West, Vordertaunus Ost und West und die Idsteiner Senke unterteilt. Jedes Abflusssystem wurde nach Möglichkeit jeweils innerhalb eines Tages gemessen. Die Abflüsse wurden durch Anemometer-, Flügelmessungen oder bei kleineren Gewässern durch Gefäßmessungen ermittelt (AMBS et al. 2008). Die Abflüsse an den kontinuierlich beobachteten Pegeln zeigen im Untersuchungs-

zeitraum überwiegend Werte unter dem mittleren Abfluss (MQ) bzw. meist nahe dem mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ).

Bei der Messkampagne im Jahr 2008 konnte an neun Messstellen aufgrund des Trockenfallens des Gewässers kein Abflusswert gemessen werden (siehe gelbe Punkte und gelb schraffierte Teileinzugsgebiete in Abb. 5.2). Das Trockenfallen der Teileinzugsgebiete

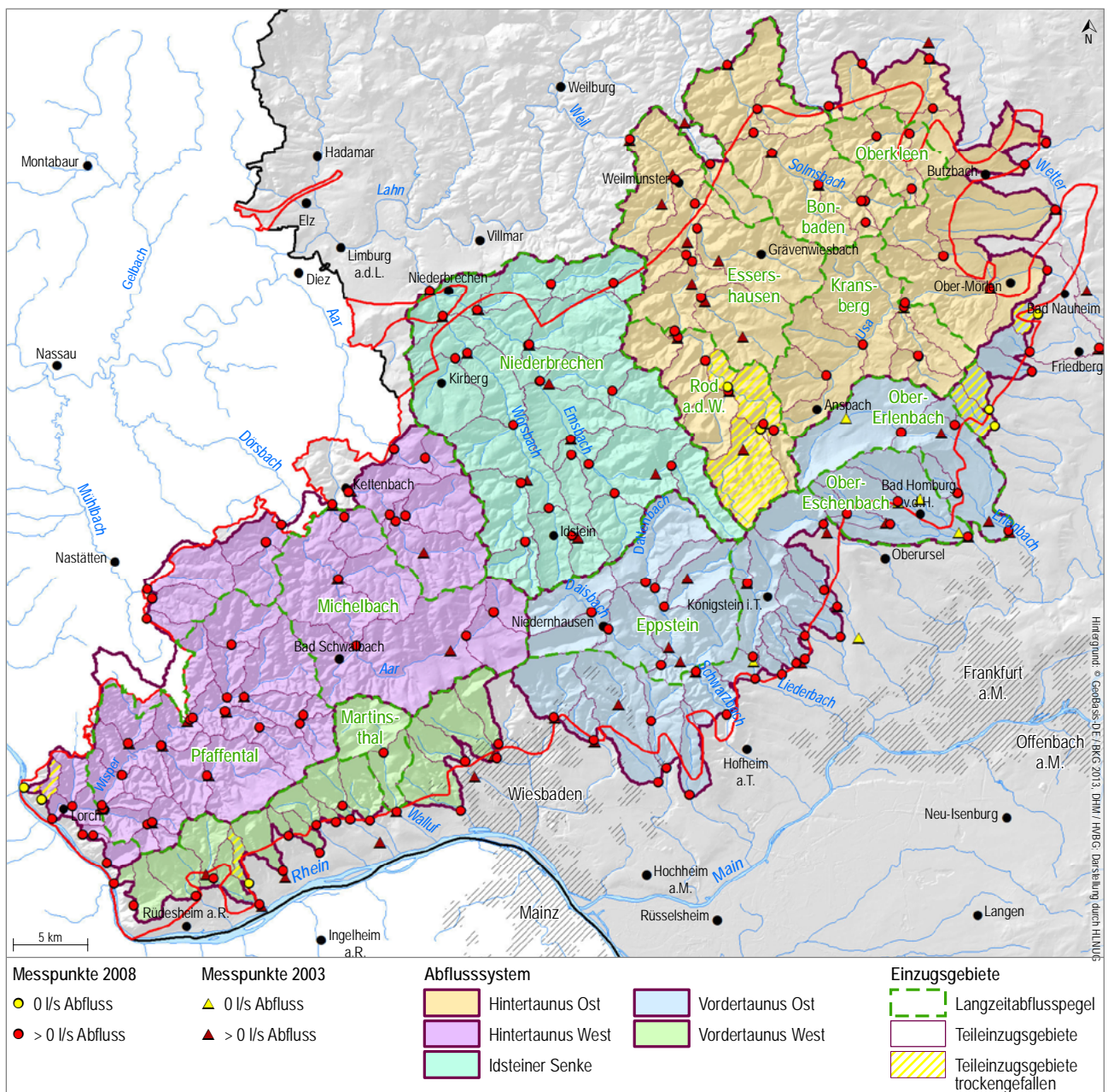


Abb. 5.2: Abflussmessstellen aus den Niedrigwassermesskampagnen 2003 und 2008 mit Pegel-einzugsgebieten

wird sowohl durch die der Messung vorausgegangenen niederschlagsarmen Periode, als auch durch den geringen Speicherkoeffizienten der Gesteine verursacht, die im Bearbeitungsgebiet überwiegend aus klastischen Gesteinen (Tonschiefer, Grauwackenschiefer, Sandsteine sowie Metavulkaniklastite) bestehen.

Neben den kleineren Bächen, die am Taunusrand trockengefallen sind, ist vor allem auf die trockenen Bachabschnitte der Weil hinzuweisen. Die Weil entspringt aus mehreren Bächen nördlich des Großen Feldbergs, fließt im weiteren Verlauf nach Nordosten und mündet schließlich außerhalb des Bearbeitungsgebietes, auf der Höhe von Weilburg, in die Lahn. Der Untergrund wird vorwiegend aus Ton- und Grauwacke

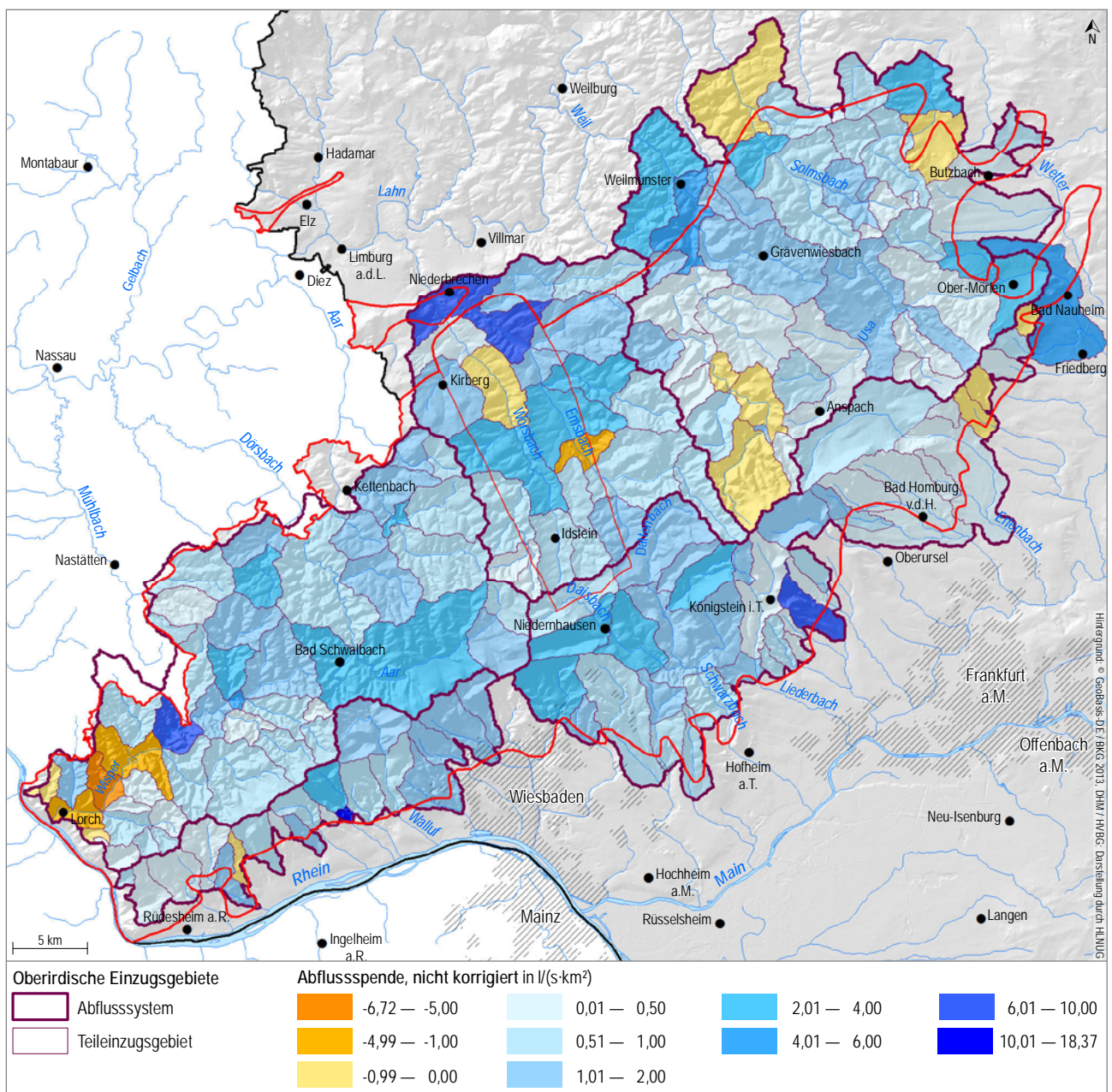


Abb. 5.3: Abflusspende in l/(s·km²) von 2008 (Messwerte sind nicht um anthropogene Einflüsse wie Grundwasserentnahmen und Einleitungen in Vorfluter bereinigt.)

ckenschiefern aufgebaut, die stark geklüftet und mit zahlreichen Störungen durchzogen sind. Südlich von Weilrod waren im Herbst 2008 die Bachabschnitte bis auf eine kurze Strecke zwischen Schmitten und Dorfweil trocken. Hier wurde der Abfluss auf ca. 1 l/s geschätzt.

Zum Vergleich sind die bei der Niedrigwassermessung im Jahr 2003 als trocken festgestellten Messstellen in Abb. 5.2 mit gelben Dreiecken dargestellt. Im Jahr 2003 war die Weil in Rod a. d. Weil trocken. Zudem waren Bachabschnitte der Usa nördlich von Kransberg und der Erlenbach westlich von Wehrheim trockengefallen.

Die nicht bereinigten Abflussspenden liegen für die in Tab. 5.1 angegebenen Pegel zwischen 0,6–2,71 (l/s·km²). Sie befinden sich damit im gleichen Wertebereich wie die nach DEMUTH (1989) ermittelten monatlichen mittleren Niedrigwasserabflüsse (MoMNQ) mit 0,5–2,71/(s·km²) (vergl. Kap. 5.1.1.2). Allerdings zeigt die über die Fläche differenzierte Auswertung mittels Teileinzugsgebieten eine deutlich abweichende räumliche Verteilung.

Die überwiegende Anzahl der 173 Teileinzugsgebiete ist von anthropogenen Einflüssen wie Grundwasserentnahmen und Einleitungen in die Vorfluter betroffen. Um diese zu berücksichtigen, wurden

Tab. 5.1: Vergleich der Abflussmessungen in den Pegelinzugsgebieten aus dem Jahr 2008 mit der Auswertung des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses nach DEMUTH (1989) (unkorrigierte Werte)

Bezeichnung	Pegel-Nr. (DGJ)	A _{EO} km ²	MoMNQ _{DEMUTH}		Abflussmessung ₂₀₀₈		
			l/(s·km ²)	%*	l/(s·km ²)	%*	
Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges							
Hintertaunus Ost						1,24	
Oberkleen	25832357	23,5	1,5	100	0,6	42	
Bonbaden	25850257	98,6	1,8	100	0,8	46	
Essershausen	25860851	206,2	1,7	100	2,7	159	
Kransberg	24840950	93,3	0,8	100	0,7 **	86	
Rod a.d.Weil	25860454	77,1	1,4	100	0,2 **	14	
Hintertaunus West						0,57	
Pfaffental	25650156	170,4	1,4	100	0,7	53	
Michelbach	25880305	143,7	2,2	100	1,6	74	
Vordertaunus Ost						1,11	
Eppstein	24960307	108,7	2,7	100	1,7	62	
Ober-Eschbach	24890256	45,9	0,5	100	0,3	66	
Ober-Erlenbach	24880208	71,3	0,5	100	0,6	124	
Vordertaunus West						1,24	
Martinsthal	25140058	24,5	1,4	100	1,5	104	
Idsteiner Senke							
Niederbrechen	25871756	305,2	2,3	100	1,8 **	79	

* Die Grundwasserneubildungsspenden nach DEMUTH (1989) wurden als Referenzwerte zum Vergleich mit den anderen Auswertemethoden auf 100% gesetzt.

** Messwerte wurden bei den Betreibern erfragt.

die Messwerte um die Förderraten aus den Wassergewinnungsanlagen sowie um die Einleiteraten der kommunalen Kläranlagen bereinigt (vergl. LESSMANN 2001). Für diese Korrektur wurden 516 Wassergewinnungsanlagen sowie 43 Kläranlagen berücksichtigt. Für die Wassergewinnungsanlagen wurden die tatsächlichen Jahresentnahmen aus dem Jahr 2008 zugrunde gelegt und die durchschnittlichen Entnahmeraten berechnet. Für 31 Kläranlagen wurde die

Einleiterate zum Zeitpunkt der Abflussmessungen ermittelt, für die verbleibenden 12 wurden näherungsweise die durchschnittlichen Einleiteraten aus dem Jahreswert berechnet (siehe Abb. 5.4). Abbildung 5.5 zeigt die korrigierten Abflusspenden für die Teileinzugsgebiete der Trockenwetterabflussmessung von 2008. Der Vergleich der Abb. 5.3 und Abb. 5.5 zeigt, dass es deutliche anthropogene Einflüsse gibt.

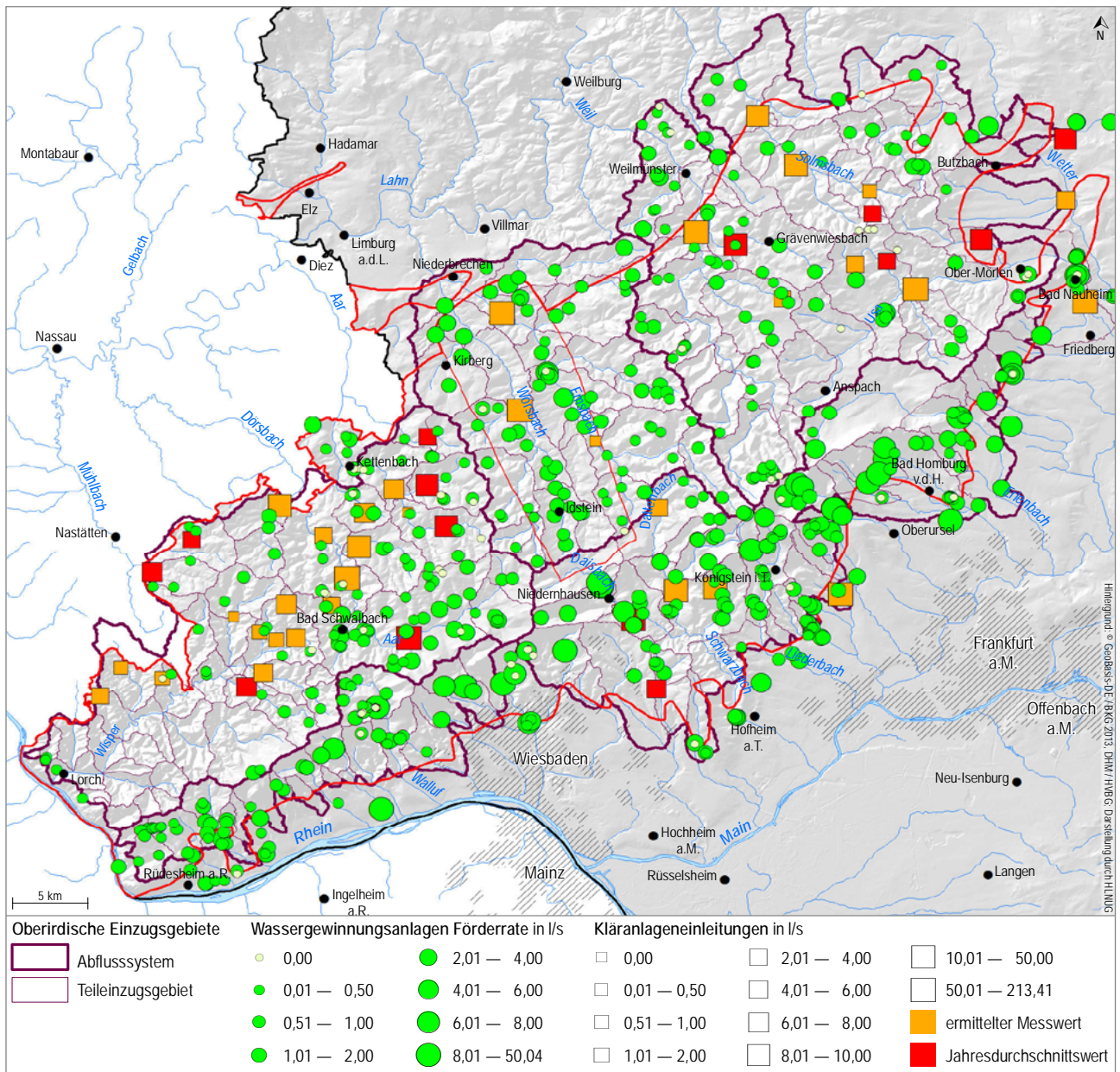


Abb. 5.4: Wassergewinnungsanlagen und Kläranlagen, die für die Berechnung der korrigierten Abflusspende berücksichtigt wurden

Die Auswertung der Pegel­daten unter Berücksichtigung der anthropogenen Einflüsse ergab, dass bei einigen Teileinzugsgebieten der gemessene Abfluss geringer war als der gemessene Zufluss (siehe Abb. 5.5, gelbe und orange Flächen). Solche Bereiche mit Abflussabgaben (negative Abfluss­spenden) liegen vor allem in Gebieten mit Störung­zonen vor. Doch nicht alle Teileinzugsgebiete mit Abfluss­abgaben lassen sich mit bekannten Störung­zonen korrelieren. Hier fällt

vor allem die Wisper im Südwesten des Taunus auf. Sie verläuft parallel zu den in Richtung SW–NE angelegten Überschiebungen und Faltenachsen, weist ein starkes Gefälle auf und ist tief in den vorwiegend aus Tonschiefer aufgebauten Untergrund eingeschnitten. Der Wörsbach und der Emsbach, der Solmsbach und der Klee­bach weisen ebenfalls in einzelnen Teileinzugsgebieten deutliche Abfluss­abgaben auf.

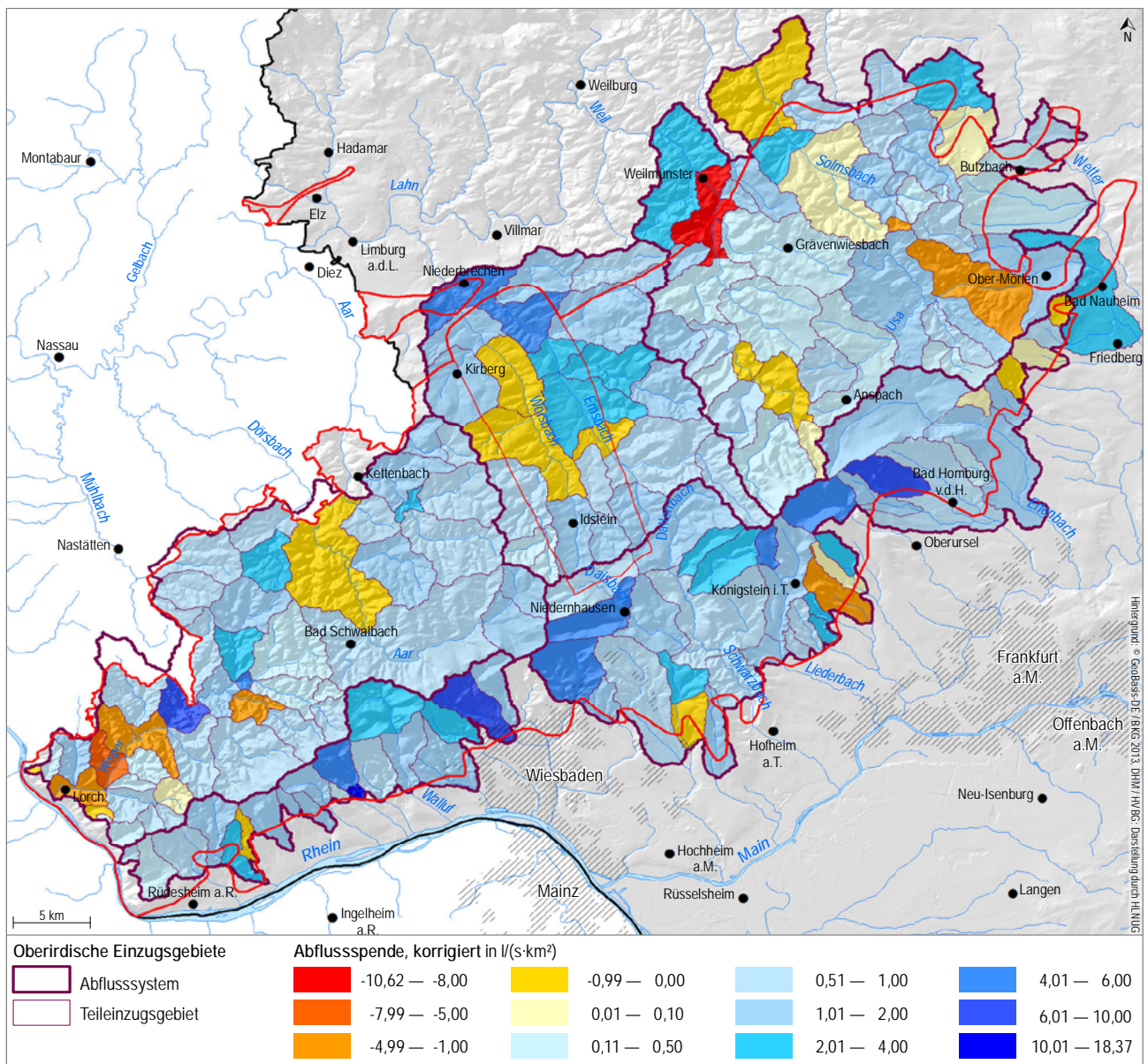


Abb. 5.5: Korrigierte Abfluss­spende in $l/(s \cdot km^2)$ von 2008 (Messwerte sind um anthropogenen Einflüsse wie Grundwasserentnahmen und Einleitungen in die Vorfluter bereinigt.)

Tab. 5.2: Auswertung der Abflussmessung 2008 bezogen auf die Abflusssysteme (vergl. **Abb. 5.2**)

Gebiet (Anzahl Teileinzugsgebiete)	Fläche km ²	Abfluss l/s	Entnahmen der Gewinnungs- anlagen in 2008 l/s	Einleitungen von Kläranlagen in 2008 l/s	unkorrigierte Abflusspende l/(s·km ²)	korrigierte Abflusspende l/(s·km ²)
Hintertaunus Ost	567,85	706,42	82,03	259,71	1,24	0,93
Hintertaunus West	458,14	261,61	70,77	261,84	0,57	0,15
Hintertaunus	1053,81	968,03	152,80	521,55	0,92	0,57
Vordertaunus Ost	387,34	430,05	320,23	127,41	1,11	1,61
Vordertaunus West	132,04	163,12	127,64	-	1,24	2,20
Vordertaunus	519,38	593,17	447,87	127,41	1,14	1,76
Idsteiner Senke	305,78	553,00	100,42	158,80	1,81	1,62
Gesamt Taunus	1878,97	2114,20	701,09	807,76	1,13	1,07

5.1.1.2 Ermittlung des langjährig mittleren Niedrigwasserabflusses anhand langjähriger Abfluss-Messreihen

Während eine einmalige Messung des Trockenwetterabflusses eine Momentaufnahme darstellt und in der Regel nur Näherungswerte für die Grundwasserneubildung liefert, bietet die Auswertung langjähriger Abfluss-Messreihen (> 10 Jahre) wesentlich belastbarere Ergebnisse, die auch zur Bearbeitung und Klärung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen genutzt werden können.

Für die Bestimmung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in Festgesteinen werden unterschiedliche Verfahren wie z. B. die MoMNOQ-Verfahren nach WUNDT (1958) und KILLE (1970) oder das A_u-Linienverfahren nach NATERMANN (1951) vorgeschlagen. Eine weitere Methode ist die Auswertung der langjährigen mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse (MoMNOQ) nach DEMUTH (1989), die eine Erweiterung der grafischen Auswertemethode von KILLE (1970) darstellt.

Die Auswertemethoden nach WUNDT (1958) und DEMUTH (1989) wurden auf zwölf Abflusspegel angewendet, die im Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges und in der Idsteiner Senke liegen. Für die in Abb. 5.6 dargestellten Pegel liegen geprüfte Daten bis einschließlich des Jahres 2017 sowie für die Jahre 2018 bis 2020 ungeprüfte Daten des HLNUG vor.

Die Einzugsgebiete der Abflusspegel Pfaffental, Michelbach, Martinthal, Rod a. d. Weil, Kransberg und Ober-Erlenbach liegen vollständig im Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges. Das Einzugsgebiet des Abflusspegels Niederbrechen überdeckt die Idsteiner Senke fast vollständig. Die Einzugsgebiete der zwölf Abflusspegel decken rund 80 % des Bearbeitungsgebietes ab. Berücksichtigt wurden die Abflusswerte der hydrologischen Jahre 2000 bis 2020, um die Nass- und Trockenperioden der nahen Vergangenheit repräsentativ abzubilden.

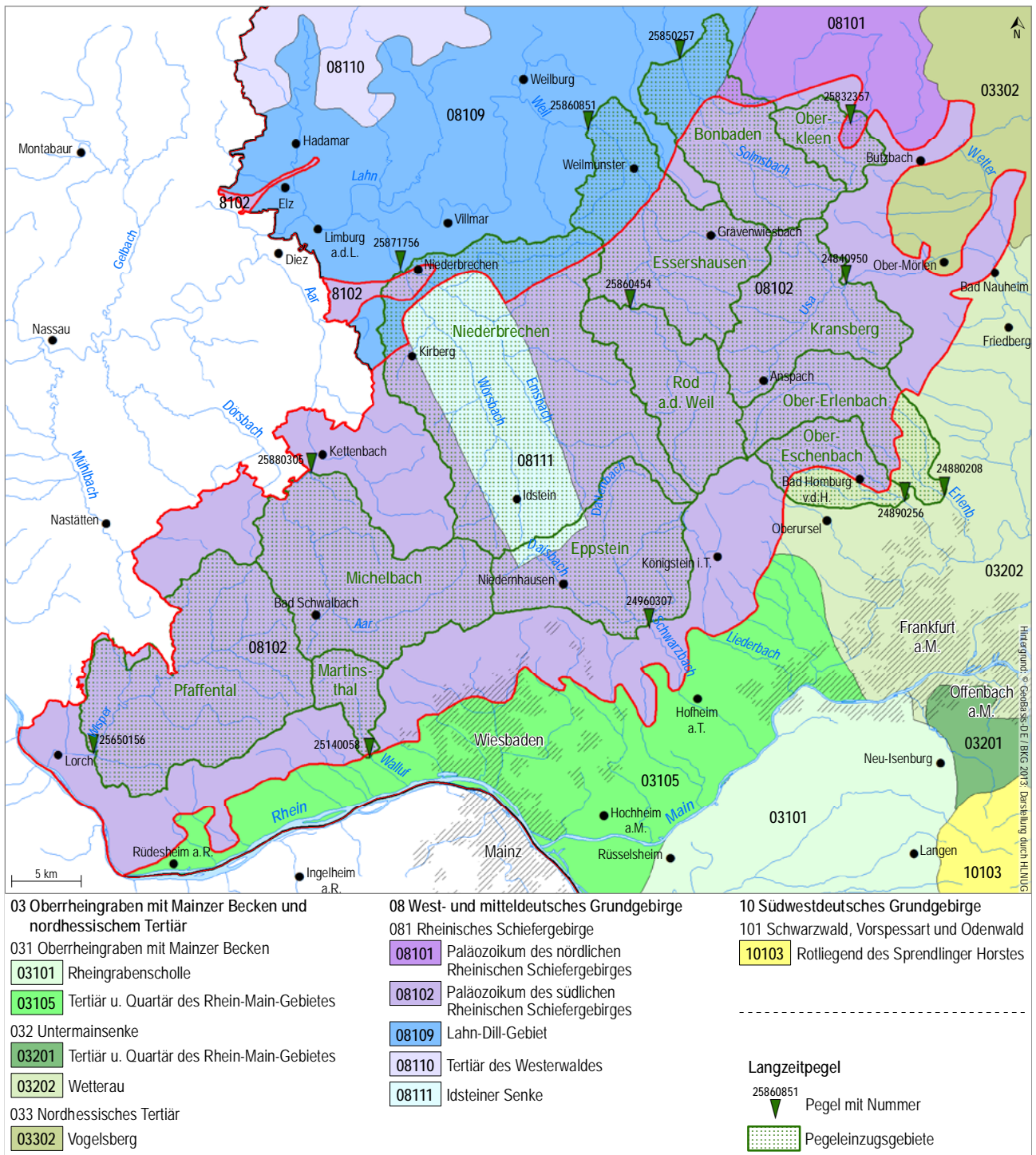


Abb. 5.6: Teileinzugsgebiete mit Messpunkten und Einzugsgebiete der Langzeit-Abflusspegel (DGJ-Pegel)

Auswertung nach WUNDT (1958)

Nach WUNDT (1958) entspricht der Mittelwert der monatlichen Niedrigwasserabflüsse (MoNQ) in einem mehrjährigen Betrachtungszeitraum (n_{Mo}) annähernd dem Basisabfluss (Q_{basis}) und damit der Grundwasserneubildung (GWN):

$$MoMNO_{(WUNDT)} = \frac{\sum MoNQ}{n_{Mo}} = Q_{basis} = GWN$$

Die rein statistisch ermittelten MoMNO-Werte enthalten jedoch oft noch Direktabflussanteile. So wird

z. B. im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan Mümling - Gersprenz - Rodau bereits 1977 darauf hingewiesen, dass dieses Auswerteverfahren besonders in weniger höffigen Mittelgebirgsgegenden zu große Werte liefert (Arbeitskreis Grundwasserneubildung 1977). Dies bestätigte sich auch im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Taunus.

In Tab. 5.3 sind die Ergebnisse der Auswertungen nach WUNDT (1958) für die hydrologischen Jahre 2000–2020 aufgeführt.

Tab. 5.3: Auswertung langjähriger Abflussmessungen (1983–1996) nach WUNDT (12 Abflusspegel)

Bezeichnung	Pegel-Nr. (DGJ)	Gewässer	AEO km ²	MoMNO _{WUNDT} m ³ /s	MoMNq _{WUNDT} l/(s · km ²)
Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges					
Hintertaunus Ost					
Oberkleen	25832357	Kleebach	23,5	0,042	1,8
Bonbaden	25850257	Solmsbach	98,6	0,226	2,3
Essershausen	24840950	Usa	93,3	0,135	1,4
Kransberg	25860851	Weil	206,2	0,545	2,6
Rod a.d.Weil	25860454	Weil	77,1	0,243	3,2
Hintertaunus West					
Pfaffental	25650156	Wisper	170,4	0,356	2,1
Michelbach	25880305	Aar	143,7	0,427	3,0
Vordertaunus Ost					
Eppstein	24960307	Schwarzbach	108,7	0,362	3,3
Ober-Erlenbach	24880208	Erlenbach	71,3	0,080	1,1
Ober-Eschbach	24890256	Eschbach	45,9	0,045	1,0
Vordertaunus West					
Martinsthal	25140058	Walluf	24,5	0,050	2,0
Idsteiner Senke					
Niederbrechen	25871756	Emsbach	305,2	0,870	2,8
Summe Fläche			1 368,4		

Auswertung nach DEMUTH (1989)

Beim Verfahren nach Demuth werden die monatlichen Niedrigwasserabflüsse einer mindestens zehnjährigen Abflussreihe der Größe nach geordnet. Die subjektive graphische Anpassung der Trennungsggeraden zur Reduktion der Abflusswerte um Oberflächen- und Zwischenabfluss (KILLE 1970) ersetzt DEMUTH (1989) durch eine schrittweise Regression. Nach Ausschluss der unteren 5% der Werte aufgrund angenommener anthropogener Beeinflussung wird die Regression bis zum 50%-Wert, beginnend mit drei Abflusswerten und anschließender Hinzunahme des jeweils nächst höheren Monatsminimums, durchgeführt. Danach werden sukzessiv solange weitere Monatsminima hinzugezogen, bis sich eine Maximierung des Korrelationskoeffizienten ergibt. Lässt sich der Korrelationskoeffizient durch das Hinzunehmen weiterer Werte nicht mehr verbessern, wird die Regressionsgerade berechnet und extrapoliert. Alle monatlichen Niedrigwasserabflüsse oberhalb der Re-

gressionsgeraden werden auf die Gerade reduziert und der mittlere Basisabfluss berechnet (ARMBRUSTER 2002).

Aufgrund von außergewöhnlich hohen Temperaturen und langanhaltender Trockenheit erfolgte im Sommer 2003 eine Niedrigwasserabflussmessung. Eine weitere Niedrigwasserabflussmessung erfolgte im Jahr 2018, welches ein starkes Niederschlagsdefizit in den Monaten Februar bis November aufwies.

In Abb. 5.7 ist die Auswertung nach DEMUTH (1989) exemplarisch für den Pegel Bonbaden im Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges dargestellt. Die Grafik enthält als Vergleichswerte zusätzlich die Ergebnisse der Auswertungen nach WUNDT (1958) und der Niedrigwasserabflussmessungen aus den Jahren 2003 und 2018.

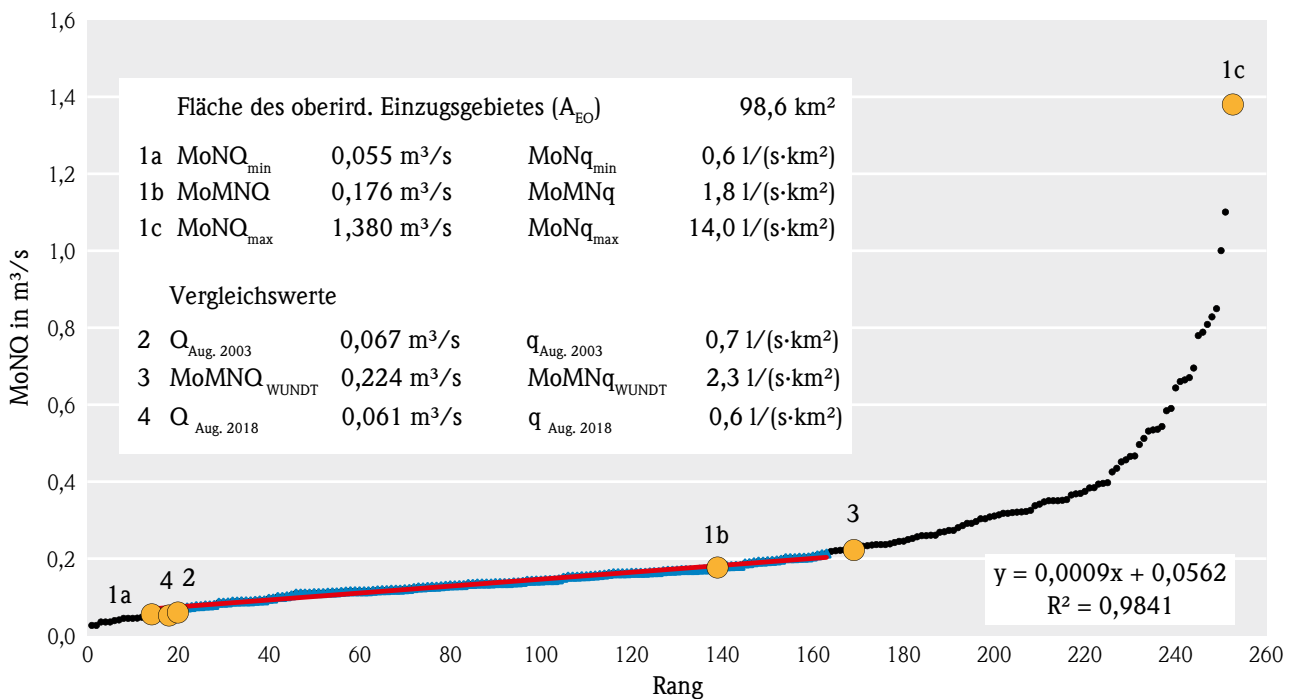


Abb. 5.7: Auswertung des langjährigen mittleren Niedrigwasserabflusses nach DEMUTH, Abflusspegel Bonbaden, Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges

Erläuterung zur Darstellung der DEMUTH-Auswertungen

y = mx + b	Gleichung der DEMUTH-Regressionsgeraden Alle Abflüsse oberhalb der Regressionsgeraden enthalten Oberflächenwasser und Zwischenabfluss, alle Abflüsse unterhalb der Regressionsgeraden werden aus dem Grundwasser gespeist. Die Regressionsgerade beginnt bei 5 % der Abflusswerte und endet frühestens bei Erreichung von 50 % der Abflusswerte bzw. beim Korrelationskoeffizient-Maximum ($R^2 = \max.$).	Pos. 1a	5 %-Kriterium zur Abtrennung von anthropogenen Einflüssen, entspricht dem Mindest-Basisabfluss nach DEMUTH
		Pos. 1b	Langjähriger Mittlerer Basisabfluss (= DEMUTH-Basisabfluss)
		Pos. 2	Messung im Rahmen des Niedrigwassermessprogramms in 2003 (HLUG, Hydrologie in Hessen, Heft 2, interne Ausgabe, 2006)
		Pos. 3	Langjähriger Mittlerer Basisabfluss nach WUNDT
MoNQ	Monatliche Niedrigwasserabflüsse (langjährige Werte-Reihe)	Pos. 4	Messung im Rahmen des Niedrigwassermessprogramms in 2018 (HLNUG)
Rang	Anzahl der monatlichen Niedrigwasserabflusswerte	Linear	Lineare Trendlinie aus den verwendeten MoNQ

Vergleich der Ergebnisse der Auswertemethoden nach DEMUTH und WUNDT

In Tab. 5.4 werden die Ergebnisse der unterschiedlichen Auswertemethoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsspende aus den Niedrigwasserabflüssen gegenübergestellt.

Die Auswertung der monatlichen mittleren Niedrigwasserabflüsse (MoMNQ) nach Demuth ergab für die Pegel des Paläozoikums des südlichen rheinischen Schiefergebirges Grundwasserneubildungsspenden zwischen 0,5–2,7 l/(s·km²). Für den Pegel Niederbrechen in der Idsteiner Senke ergibt sich eine Grundwasserneubildungsspende in Höhe von 2,3 l/(s·km²).

Der Vergleich der drei unterschiedlichen Auswertemethoden (DEMUTH, WUNDT, Niedrigwasserabflussmessungen) zeigt, dass die Berechnung des langjährigen mittleren Basisabflusses nach WUNDT (1958) erwartungsgemäß eine zu optimistische Einschätzung der Grundwasserneubildung in den Einzugsgebieten der beobachteten Pegel ergibt. Die auf der WUNDT-Methode basierenden Grundwasserneubildungsspenden fallen gegenüber den Ergebnissen der DEMUTH-Auswertung im Paläozoikum des südlichen

rheinischen Schiefergebirges um 20 bis 129 % höher aus. Besonders die einander benachbarten Pegelgebiete Ober-Erlenbach, Ober-Eschbach und Rod a.d. Weil fallen durch hohe Abweichungen auf. Für den Pegel Niederbrechen in der Idsteiner Senke liegt die Abweichung bei +22 %.

Die in den Jahren 2003 und 2018 durchgeführten Niedrigwasserabflussmessungen liegen dagegen deutlich unter dem langjährigen mittleren Basisabfluss nach DEMUTH. Während dem Trockenjahr 2003 normale bis feuchte Jahre vorausgingen, folgte das Jahr 2018 auf trockene Jahre. Die großen Abweichungen entstehen durch einen relativ großen Anteil des Interflows am Direktabfluss. Ein Interflow entsteht, wenn eine schnelle Infiltration des Wassers in die Deckschichten über geringer durchlässigen Grundwasserleitern erfolgt. Der Interflow ist im rheinischen Schiefergebirge stark ausgeprägt und führt zu vielen z. T. saisonalen Quellen und verzögerten Hochwässern. Der Interflow wird im Taunus seit mehr als 100 Jahren in Trinkwassergewinnungsanlagen genutzt. Die Besonderheit der Interflow-Gewinnungsanlagen ist, dass es sich meistens um kleine Stollen oder

Schürfungen handelt, die z. T. mehrere 10er Meter lang sein können und aus der Jahrhundertwende des letzten Jahrtausends stammen. Diese Gewinnungsanlagen werden in den letzten Jahren vermehrt reaktiviert. Im Bereich der Idsteiner Senke gibt es wegen des flachen Reliefs und der geringen hydraulischen Durchlässigkeit der Sedimente dagegen keinen Interflow.

Um flächendifferenzierte Aussagen über den Wasserhaushalt und die Grundwasserneubildung des gesamten Bearbeitungsgebietes treffen zu können, wird in Kap. 5.1.2 die Anwendung eines modellgestützten Verfahrens zur Ermittlung von Wasserbilanzgrößen vorgestellt.

Tab. 5.4: Methodenvergleich zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsspende

Bezeichnung	Pegel-Nr.	A _{EO} km ²	MoMNq _{DEMUTH}		MoMNq _{WUNDT}		Niedrigwasserabfluss ₂₀₀₃		Niedrigwasserabfluss ₂₀₁₈	
			l/(s·km ²)	%*	l/(s·km ²)	%*	l/(s·km ²)	%*	l/(s·km ²)	%*
Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges										
Hintertaunus Ost										
Oberkleen	25832357	23,5	1,5	100	1,8	120	**	**	**	**
Bonbaden	25850257	98,6	1,8	100	2,3	128	0,7	39	0,6	33
Essershausen	25860851	206,2	1,7	100	2,6	153	0,8	47	0,9	53
Kransberg	24840950	93,3	0,8	100	1,4	175	0	0	0,1	13
Rod a.d.Weil	25860454	77,1	1,4	100	3,2	229	0	0		
Hintertaunus West										
Pfaffental	25650156	170,4	1,4	100	2,1	150	0,1	7	0,2	14
Michelbach	25880305	143,7	2,2	100	3,0	136	0,6	27	0,9	41
Vordertaunus Ost										
Eppstein	24960307	108,7	2,7	100	3,3	122	1,6	59	0,9	33
Ober-Eschbach	24890256	45,9	0,5	100	1,0	200	0,1	20	0,2	40
Ober-Erlenbach	24880208	71,3	0,5	100	1,1	220	0,1	20	0,2	40
Vordertaunus West										
Martinsthal	25140058	24,5	1,4	100	2,0	143	0,7	50	0,7	50
Idsteiner Senke										
Niederbrechen	25871756	305,2	2,3	100	2,8	122	1,3	57	0,001	0

* Die Grundwasserneubildungsspenden nach DEMUTH wurden als Referenzwerte zum Vergleich mit den anderen Auswertemethoden auf 100% gesetzt.

** keine Messung

5.1.2 Modellierung des Bodenwasserhaushalts und der Grundwasserneubildung

In Hessen kommt für die Modellierung der Grundwasserneubildung ein zweistufiges Verfahren zum Einsatz, bei dem das Einschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW (Arbeitskreis KLIWA 2012; MORHARD 2012) mit einem speziell für Hessen entwickelten Regressionsmodell (HERGESELL & BERTHOLD 2005) gekoppelt wird (Abb. 5.8).

Im ersten Verfahrensschritt wird mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW zunächst die tatsächliche Verdunstung ermittelt. Der für den zweiten Verfahrensschritt benötigte Gesamtabfluss ergibt sich aus der Differenz aus Niederschlag und simulierter tat-

sächlicher Verdunstung. Im zweiten Verfahrensschritt wird der Gesamtabfluss unter Verwendung von dem auf Basis von Abflussmessungen regressionsanalytisch ermittelten und regionalisierten Baseflow-Index (BFI) in die schnellen lateralen Direktabflussanteile und den Basisabfluss, der der Grundwasserneubildung entspricht, separiert.

Vergleichbare Verfahren werden im Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003) und in den KLIWA-Partnerländern Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz angewendet.

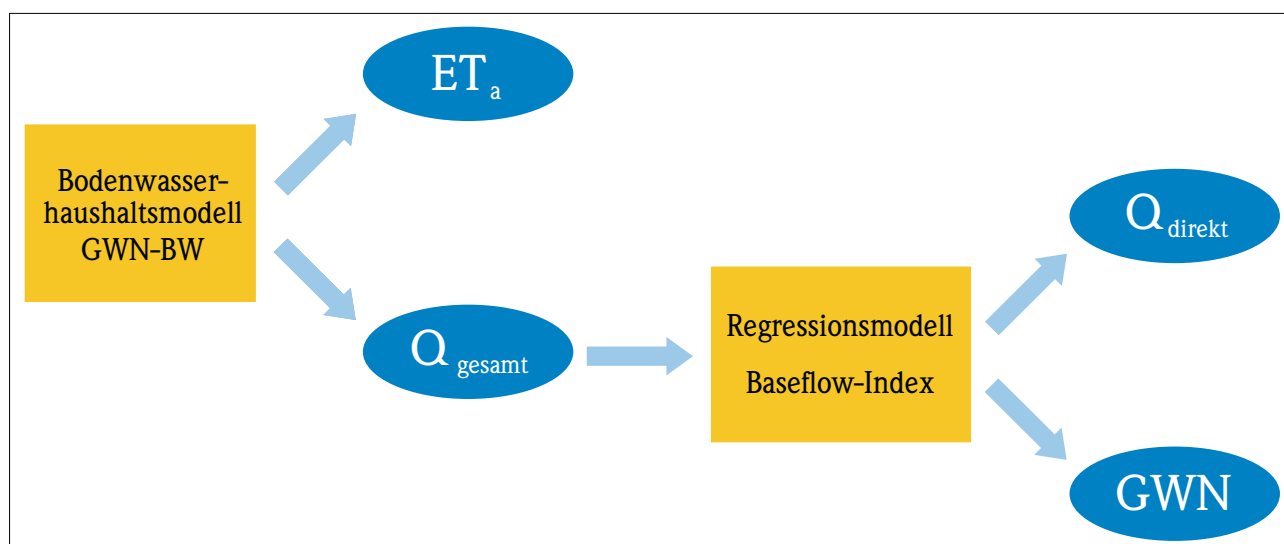


Abb. 5.8: Konzept zur Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag

5.1.2.1 Beschreibung des Bodenwasserhaushaltsmodells

GWN-BW ist ein deterministisches, flächendifferenziertes Modell zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration, zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes sowie zur Bestimmung der unterhalb der durchwurzelten Bodenzone gebildeten Sickerwassermenge (MORHARD 2012). In den einzelnen Teilmodulen kommen sowohl physikalisch basierte als auch konzeptionelle Ansätze zur Beschreibung der an den Vorgängen von Verdunstung und Sickerwasserbildung beteiligten Prozesse zur Anwendung (Abb. 5.9). Die Berechnung erfolgt auf Basis von Tagesritten, die räumliche Diskretisierung erfolgt durch

ein zugrunde gelegtes 100 m Raster. Die berechnete Sickerwasserrate entspricht in Gebieten mit vernachlässigbaren schnellen lateralen Abflusskomponenten (z. B. in den meist ebenen Porengrundwasserleitern) der Grundwasserneubildung aus Niederschlag. In den Klufftgrundwasserleitern der reliefierten Festgesteinsgebiete ist dies nicht der Fall.

Im Strahlungsmodul (Abb. 5.9) wird unter Berücksichtigung topographischer und astronomischer Gegebenheiten das nutzbare Energieangebot berechnet. Im Schneemodul werden Schneedeckenaufbau

und Schneeschmelze (Temperatur-Index-Verfahren) einschließlich der Speicherung und des Wiedergefrierens von flüssigen Anteilen simuliert. Das Interzeptionsmodul beschreibt die Interzeption von Niederschlagswasser in mehreren Schichten der Vegetationsbedeckung und auf versiegelten Flächen. Die Verdunstung aus dem Interzeptionsspeicher erfolgt entsprechend der bestandsinneren Variation der meteorologischen Zustandsgrößen aus jeder Vegetationsschicht mit unterschiedlicher Intensität. Im Transpirationsmodul werden mehrere Verfahren zur Berechnung der Pflanzenverdunstung angeboten, darunter insbesondere zwei auf dem Ansatz nach Penman-Monteith basierende Varianten.

Bei der Methode aus dem Verdunstungsmodell TRAIN (MENZEL 1999) wird der effektive Bestandeswiderstand in Abhängigkeit von Blattflächenindex,

Bodenfeuchtedefizit und Lufttemperatur ermittelt. Demgegenüber berücksichtigt der weiterentwickelte, modelleigene Ansatz die Einflüsse von Bedeckungsgrad (Pflanzen- bzw. Bodenverdunstung) und Bodenfeuchte in separaten Schritten, wobei sich die Parametrisierung von landnutzungsabhängigen Parametern wie minimalem Bestandeswiderstand oder Blattflächenindex an phänologischen Entwicklungsstadien orientiert, deren Eintrittszeitpunkte auch witterungsabhängig berechnet werden können. Für das Bodenmodul zur Simulation der Auffüllung (durch Niederschlags- und Schneeschmelzwasser) und Entleerung (durch Transpiration und Perkolation) des Bodenspeichers wurde das Niederschlag-Abfluss-Modell HBV genutzt. Aufgrund seines konzeptionellen Charakters ist es auch für größere Untersuchungsräume auf einer Datengrundlage in kleinem Kartenmaßstab zu parametrisieren. Für Flächen mit

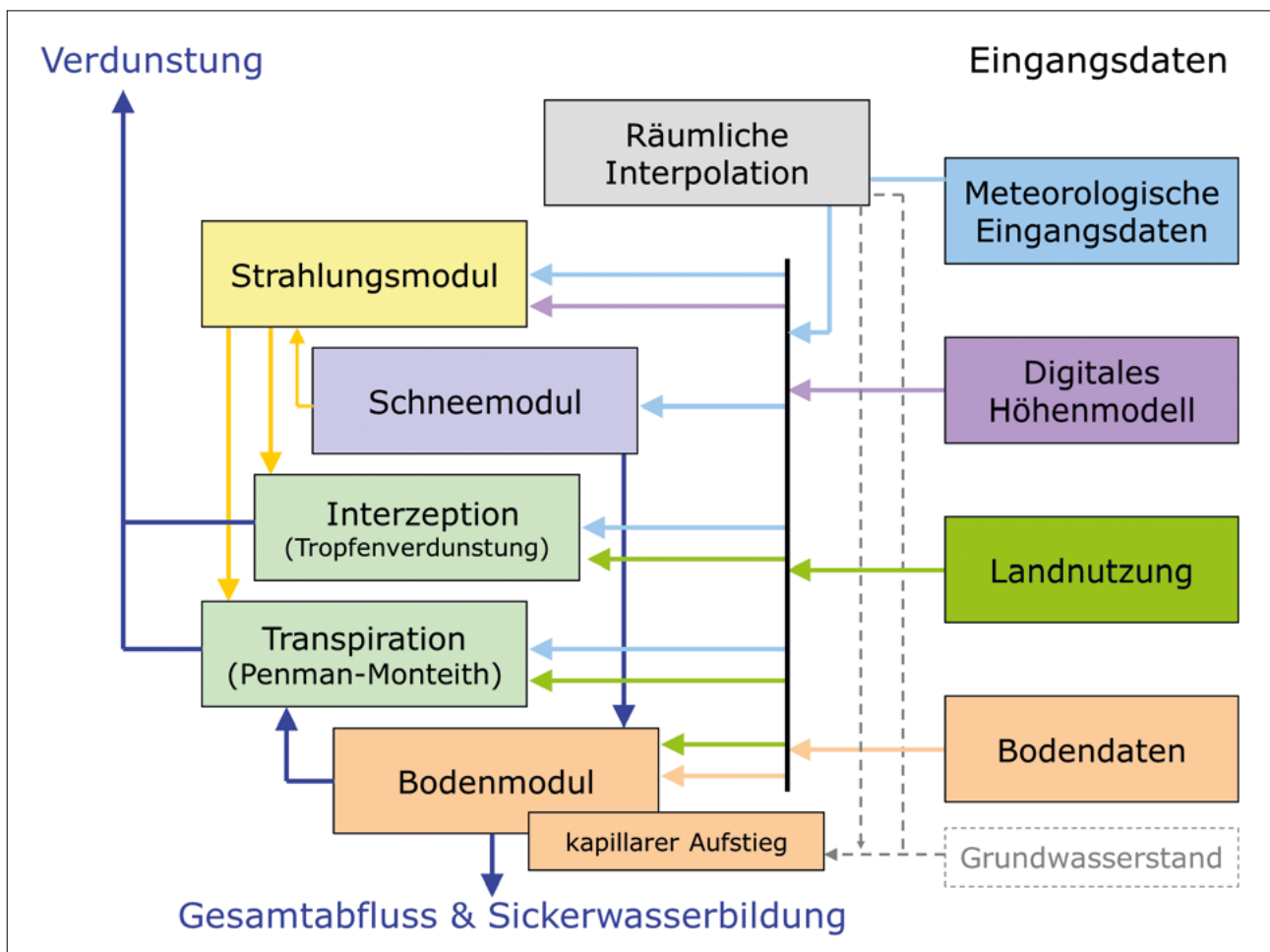


Abb. 5.9: Modularer Aufbau des Bodenwasserhaushaltsmodells GWN-BW und schematische Darstellung der benötigten Eingangsdaten

hohem Grundwasserstand kann der kapillare Aufstieg entsprechend den Angaben der bodenkundlichen Kartieranleitung abgeschätzt werden.

Für die Simulation des Bodenwasserhaushalts gehen als meteorologische Eingangsdaten Tageswerte der Referenzperiode von 1971–2000 für Niederschlag, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Sonnenscheindauer und Windstärke ein. Bis auf den Niederschlag wurden hierzu Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet, die mit GWN-BW räumlich interpoliert wurden. Bei den Niederschlagsdaten wurde auf die vom DWD regionalisierten REGNIE-Rasterdaten zurückgegriffen. Die für die Strahlungsberechnung benötigten Parameter Hangneigung und Exposition wurden aus dem digitalen

Höhenmodell abgeleitet. Als Landnutzung wurden ATKIS-Daten verwendet, die in 16 simulationsrelevante Nutzungsklassen klassifiziert wurden.

Die wichtigste Kenngröße zur Simulation des Bodenwasserhaushalts ist die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFKWe). Diese wurde auf Grundlage der Bodenflächendaten Hessen im Maßstab 1:50 000 aus der nutzungsspezifischen Durchwurzelungstiefe, dem Bodensubstrat und dessen Gründigkeit abgeleitet. Sie stellt den entleer- bzw. auffüllbaren Bodenspeicher dar. Darüber hinaus wurden Angaben zu Substrat, Gründigkeit und mittlerem Grundwasserflurabstand benötigt, um den kapillaren Aufstieg zu berücksichtigen.

5.1.2.2 Ermittlung der Grundwasserneubildung

Im Bereich von Festgesteinsgebieten mit mehr oder weniger ausgeprägtem Relief kann die mit GWN-BW berechnete Sickerwasserbildung bzw. der Gesamtabfluss nicht direkt mit der Grundwasserneubildung gleichgesetzt werden, da ein Teil des gebildeten Sickerwassers in schnelle laterale Abflusskomponenten transformiert wird. Daher wird in reliefierten Festgesteinsgebieten, zu denen auch der Taunus zählt, der Gesamtabfluss (Q_{gesamt}) mit Hilfe des Baseflow-Index (BFI) in die Abflusskomponenten Direktabfluss (Q_{direkt}) und Basisabfluss (Q_{basis}) bzw. Grundwasserneubildung aufgeteilt. Der Baseflow-Index (BFI) beschreibt den Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluss. Der BFI nimmt per Definition Werte zwischen 0 und 1 an. In Gebieten mit vernachlässigbaren schnellen lateralen Abflusskomponenten (z. B. quartären Porengrundwasserleitern) liegt er bei 1, in reliefierten Festgesteinsgebieten mit ihren Kluftgrundwasserleitern nimmt er dagegen Werte unter 1 an.

Die Grundwasserneubildung wird durch die Multiplikation des Reduktionsfaktors BFI mit dem Gesamtabfluss berechnet. Somit kann die Grundwasserneubildung als relativer Anteil am Gesamtabfluss ausgedrückt werden:

$$\text{GWN} = Q_{\text{gesamt}} \cdot \text{BFI}$$

$$\text{mit } \text{BFI} = Q_{\text{basis}} / Q_{\text{gesamt}} = \text{MoMnQ} / \text{MQ}$$

Für die flächenhafte Anwendung des BFI-Ansatzes in Hessen wurde für eine Auswahl von 52 Pegeleinzugsgebieten zunächst BFI-Werte auf der Grundlage von langjährigen Abflussmessungen der Periode 1971–2000 ermittelt. Als Referenzgröße für den Basisabfluss wurden die mittleren monatlichen Nied-

Tab. 5.5: Abflussrelevante Gebietsparameter des BFI-Regressionsmodells

Signifikante Parameter
Niederschlag
Verhältnis Sommer-/Winterniederschlag
Gebietshöhe
Landnutzung Acker
Landnutzung Grünland
Landnutzung Wald
nFK100
kf-Wert der Böden
Gewässernetzdichte
kf-Wert des oberen Grundwasserleiters

rigwasserabflüsse (MoMNO) nach KILLE (1970) aus Pegel­daten abgeleitet. Diese wurde dann zu den mittleren Abflüssen (MQ) in Relation gesetzt.

Durch multiple lineare Regressionsanalyse wurde dann der statistische Zusammenhang zwischen den BFI-Werten der 52 Einzugsgebiete und einer Auswahl abflussrelevanter Gebietsmerkmale in Form einer Übertragungsfunktion ermittelt (HERGESELL &

BERTHOLD 2005). Die in der resultierenden Regressionsgleichung einfließenden Gebietsparameter sind in Tab. 5.5 zusammengestellt.

Mit Hilfe der gewonnenen Übertragungsfunktion (Regressionsgleichung) wurden abschließend die BFI-Werte für die gesamte Fläche Hessens regionalisiert, sodass diese auch für den Taunus und der Idsteiner Senke flächendifferenziert im 100 m Raster vorliegen.

5.1.2.3 Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsmodellierung

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der Bodenwasserhaushaltsmodellierung beschrieben. Die flächendifferenziert vorliegenden Modellergebnisse wurden für die sieben Haupteinheiten sowie das gesamte Bearbeitungsgebiet ausgewertet. Die aggregierten Gebietsmittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen für die Referenzperiode 1971–2000 sind in Tab. 5.6 aufgeführt. Die räumliche Verteilung der Wasserhaushaltsgrößen ist in Abb. 5.27 bis Abb. 5.37 dargestellt.

Der **Niederschlag** ist als einzige positive Bilanzgröße die wichtigste Steuergröße für die Bodenwasserhaushaltsmodellierung bzw. die Ermittlung der Grundwasserneubildung. Der Niederschlag repräsentiert das Wasserdargebot, welches maximal für alle übrigen Prozesse zur Verfügung steht. Bei den verwendete-

ten Niederschlagsdaten handelt es sich um korrigierte Niederschlagshöhen, bei denen der systematische Messfehler nach RICHTER (1995) korrigiert wurde. Die in Abb. 5.10 dargestellte Niederschlagsverteilung folgt im Wesentlichen der topographischen Struktur des Bearbeitungsgebietes. Die höchsten Niederschläge mit bis zu 1 245 mm/a treten in den Höhenlagen des Taunuskammes im Bereich des kleinen Feldbergs auf, die geringsten Niederschläge (500 mm/a) fallen in den Niederungen des westlichen Taunus. Mit rund 827 mm/a liegt der gemittelte Niederschlag im gesamten Bearbeitungsgebiet etwas unterhalb des mittleren Niederschlags von Hessen (845 mm/a). Die mittlere Niederschlagshöhe in den Teilgebieten reicht von 713 mm/a im Niederbrechener Unterdevon bis 880 mm/a im Bereich des Taunuskammes.

Tab. 5.6: Langjährig mittlere Jahressummen der Wasserhaushaltsgrößen im Bearbeitungsgebiet

Referenzperiode 1971–2000	Niederschlag	Tatsächliche Verdunstung	Gesamtabfluss	Direktabfluss	Grundwasserneubildung	
Haupteinheit	mm/a	mm/a	mm/a	mm/a	mm/a	l/(s · km ²)
Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges						
Hintertaunus Ost	853	616	237	172	65	2,06
Hintertaunus West	787	611	176	117	59	1,87
Taunuskamm	880	643	237	159	78	2,47
Vordertaunus	829	597	232	153	79	2,50
Hadamarer Unterdevon	772	613	159	83	76	2,41
Niederbrechener Unterdevon	713	527	186	97	89	2,82
Idsteiner Senke	746	557	189	111	78	2,47
Gesamtes Bearbeitungsgebiet	827	612	215	146	69	2,19

Die **tatsächliche Verdunstung** ist die zentrale Ergebnisgröße der Bodenwasserhaushaltsmodellierung und die wichtigste Verlustgröße der Wasserbilanz. Sie ist vor allem von Temperatur, Niederschlagsangebot, Bodeneigenschaften, Landnutzung und Relief abhängig und von entscheidender Bedeutung für die Höhe und jahreszeitliche Verteilung der verschiedenen Abflusskomponenten. Die Verdunstung kann regional einen sehr unterschiedlichen Anteil an der Niederschlagshöhe ausmachen. In Hessen verdunsten im vieljährigen Mittel rund 70% des gefallen

Niederschlags, so dass damit etwa 30% abflussrelevant werden.

Die mittlere Verdunstungshöhe im gesamten Bearbeitungsgebiet beträgt 612 mm/a und liegt damit deutlich oberhalb der mittleren Verdunstungshöhe von Hessen (589 mm/a). Die Spannweite reicht von 527 mm/a im Niederbrechener Unterdevon bis zu 643 mm/a im Bereich des Taunuskamms.

Bei der räumlichen Verteilung der tatsächlichen Verdunstung im Bearbeitungsgebiet (Abb. 5.11) fällt

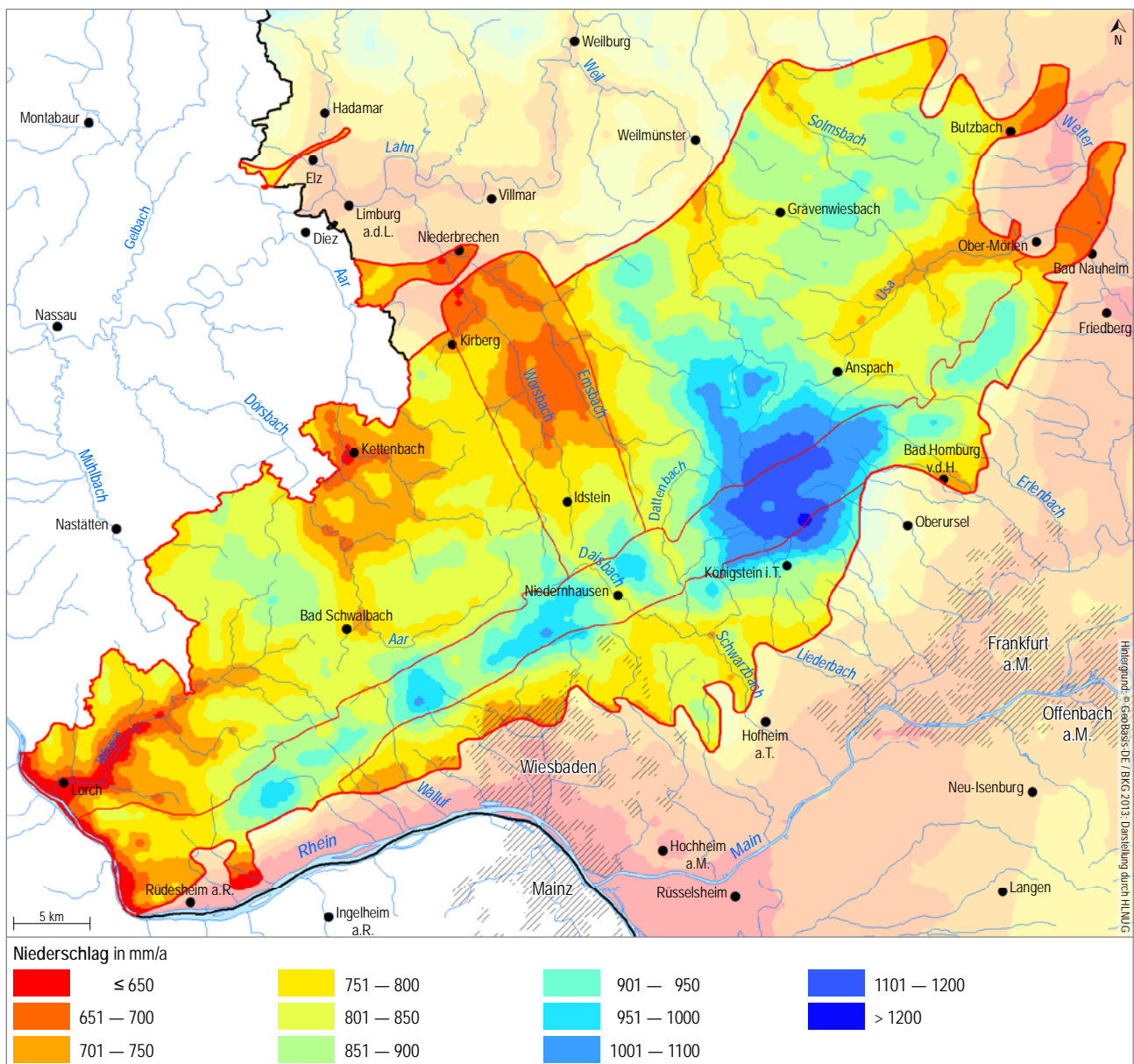


Abb. 5.10: Mittlerer jährlicher, korrigierter Niederschlag (1971–2000)

auf, dass diese in nicht bewaldeten, niederschlagsarmen Niederungen und Talauen deutlich geringer (400–500 mm/a) als in den bewaldeten Hochlagen ausfällt (bis zu 820 mm/a). Das liegt daran, dass in den Niederungen die Wasserverfügbarkeit für Verdunstungsprozesse geringer und der Verdunstungsanspruch bei Wäldern am höchsten ist. Mit abnehmendem Bodenwassergehalt nimmt die tatsächliche Verdunstung ab, ab einem kritischen Bodenwassergehalt findet diese nicht mehr statt.

Als **Gesamtabflusshöhe** wird der abflussrelevante Niederschlagsanteil bezeichnet. Er resultiert aus der Differenz aus Niederschlag und tatsächlicher Verdunstung. Der Gesamtabfluss ist die Summe aller Abflusskomponenten (Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss) (Abb. 5.1). Beeinflusst wird der Gesamtabfluss von allen Faktoren, die im Zusammenhang mit dem Niederschlag und der tatsächlichen Verdunstung genannt wurden. Die räumliche Verteilung des Gesamtabflusses (Abb. 5.12) resultiert folglich aus der Überlagerung der Verteilungsmuster

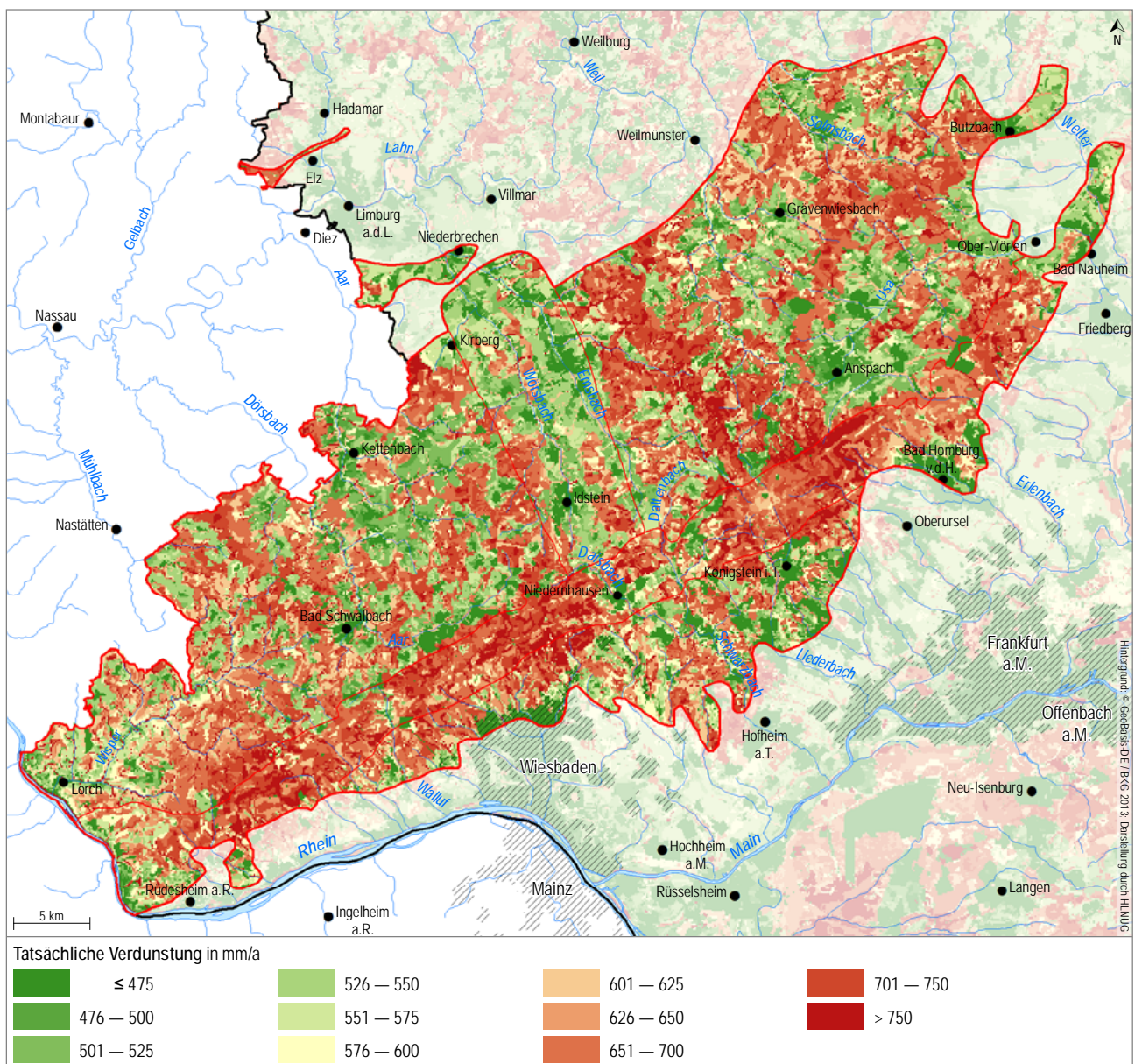


Abb. 5.11: Mittlere tatsächliche Verdunstung (1971–2000)

des Niederschlags und der tatsächlichen Verdunstung. Am deutlichsten ist der Einfluss von Orographie und Landnutzung erkennbar. Der Gesamtabfluss zeichnet sich durch ein sehr breites Wertespektrum aus.

Die mittleren Gesamtabflusshöhe des gesamten Bearbeitungsgebiet beträgt 215 mm/a und liegt damit deutlich unterhalb des mittleren Gesamtabflusses von Hessen (256 mm/a). Die Spannweite reicht

von 159 mm/a im Hadamarer Unterdevon bis zu 237 mm/a im Bereich des Taunuskammes und des östlichen Hintertaunus.

Während auf ebenen und gut durchlässigen Standorten der Gesamtabfluss näherungsweise der Grundwasserneubildung entspricht, kommt es in reliefierten und schlecht durchlässigen Gebieten zur Reduktion der Grundwasserneubildung durch Oberflächen- und Zwischenabfluss, die hier als **Direktabfluss** zusam-

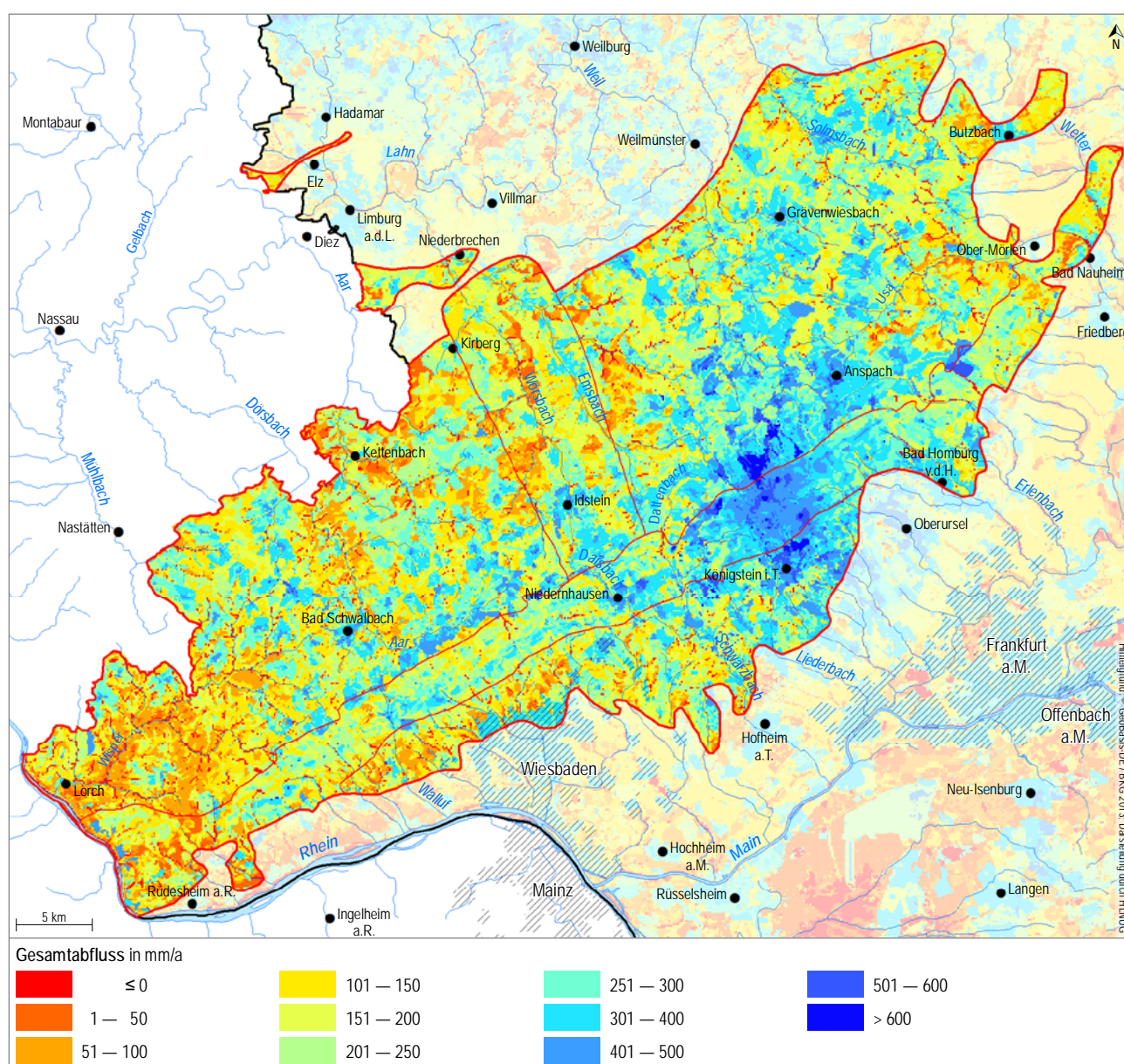


Abb. 5.12: Mittlere jährliche Gesamtabflusshöhe (1971–2000)

mengefasst werden. Dieser Teil des Gesamtabflusses gelangt unmittelbar bzw. mit einer geringen zeitlichen Verzögerung direkt in die Vorflut. In der Karte des Direktabflusses (Abb. 5.13) fallen besonders die versiegelten Flächen der Siedlungsbereiche auf, die durch hohe Direktabflussanteile charakterisiert sind.

Die mittleren Direktabflusshöhe des gesamten Bearbeitungsgebiet beträgt 146 mm/a und liegt damit knapp unterhalb des mittleren Direktabflusses von Hessen (155 mm/a). Die Spannweite reicht

von 83 mm/a im Hadamarer Unterdevon bis zu 159 mm/a im Bereich des Taunuskamms.

Der Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss liegt im Bearbeitungsgebiet bei 68%. auf ebenen und gut durchlässigen Standorten findet kein nennenswerter Direktabfluss statt.

Die **Grundwasserneubildung** aus Niederschlag ist die aus wasserwirtschaftlicher Sicht bedeutendste Wasserbilanzgröße und eine zentrale hydrogeologi-

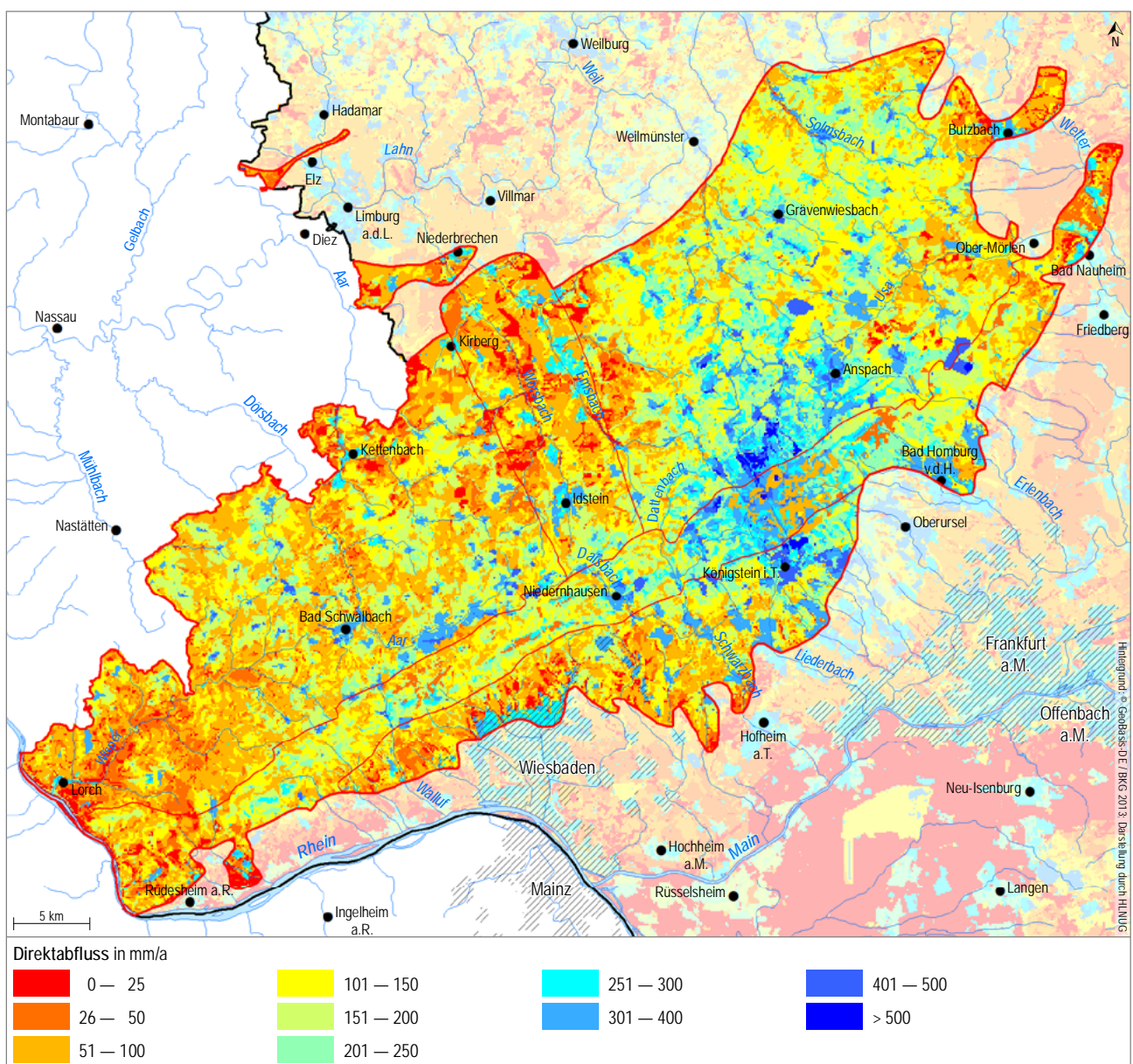


Abb. 5.13: Mittlere jährliche Direktabflusshöhe (1971–2000)

sche Kenngröße dieser Untersuchung. Als Bilanzrest macht sie meist den kleinsten Anteil der Wasserbilanz aus.

Im Bearbeitungsgebiet weisen die Modellergebnisse für die Grundwasserneubildung eine sehr große Bandbreite auf. Während in Talauen, in denen kapillarer Aufstieg stattfindet, keine nennenswerte Grundwasserneubildung stattfindet oder sogar Grundwasserzehrung erfolgt, reichen die Werte in den Hochlagen des Taunuskammes bis über 400 mm/a.

Die mittlere Grundwasserneubildung des gesamten Bearbeitungsgebiet beträgt 69 mm/a und liegt damit deutlich unterhalb der mittleren Grundwasserneubildung von Hessen (101 mm/a). Die Spannweite reicht von 59 mm/a im Westlichen Hintertaunus bis zu 89 mm/a im Bereich des Niederbrechener Unterdevons.

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag der Referenzperiode 1971–2000 ist in Abb. 5.14 dargestellt. Aufgrund der vielen Einfluss-

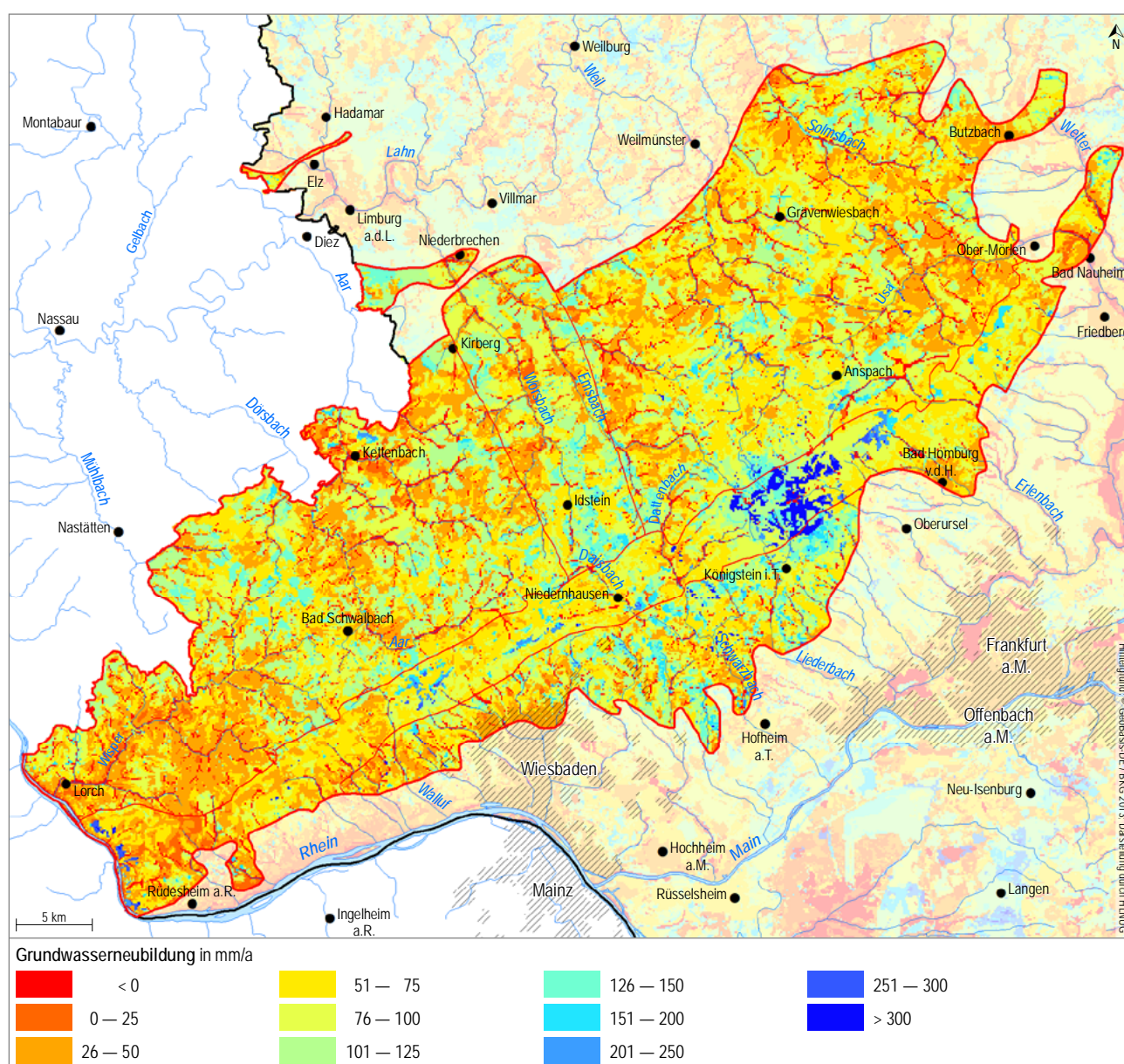


Abb. 5.14: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971–2000)

größen erscheint das räumliche Verteilungsmuster der Grundwasserneubildung sehr heterogen. Während die Verteilung des Niederschlags großflächig

erkennbar ist, treten regional andere Einflussgrößen, wie z. B. die Landnutzung, in den Vordergrund.

5.1.3 Diskussion und Bewertung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Ermittlung der Grundwasserneubildung durch Nutzung von langjährigen mittleren Niedrigwasserabflussdaten, durch die Nutzung von einmalig erhobenen Niedrigwasserabflussdaten und durch die Anwendung einer Modellierung des Bodenwasserhaushalts beschrieben.

Aufgrund der verschiedenen Erhebungszeiten und der verschiedenen Flächenbezüge lassen sich die Ergebnisse der drei Methoden nur für die Idsteiner Senke und, wegen Abweichungen beim Flächenbezug, unter Einschränkungen für den westlichen Hintertaunus vergleichen (Tab. 5.7).

Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden die Daten von insgesamt 12 langjährig beobachteten Pegeln ausgewertet und die Niedrigwasserabflussmessungen der Jahre 2003 und 2018 und der Trockenwetterabflussmessungen des Jahres 2008 an eben

diesen Pegeln verwendet. Des Weiteren wird ein Bezug zu den mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW ermittelten langjährigen mittleren Grundwasserneubildungsspenden hergestellt.

Die mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW ermittelte langjährige mittlere Grundwasserneubildung liegt für die Idsteiner Senke im Wertebereich der Auswertungen nach Demuth und Wundt.

Für den westlichen Hintertaunus liegt die mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW ermittelte langjährige mittlere Grundwasserneubildung im oberen Grenzbereich zwischen den Auswertungen nach Demuth und der nach Wundt. Die in den Trockenjahren 2003 und 2018 gemessenen Werte zeigen, dass unter verschiedenen trockenen Bedingungen die Grundwasserneubildung in Teilgebieten drastisch geringer sein kann und in Teilgebieten gegen Null gehen kann.

Tab. 5.7: Vergleich der ermittelten Grundwasserneubildung

Bezeichnung	Modellierung mit GWN-BW		MoMNq _{IDEMUTH}		MoMNq _{WUNDT}		Abflussmessung (2003, 2018 Niedrigwasserabfluss 2008 Trockenwetterabfluss)					
	1971–2000		2000–2020		2000–2020		2003		2008		2018	
Zeitraum	1971–2000		2000–2020		2000–2020		2003		2008		2018	
Einheit	l/(s·km ²)	mm/a	l/(s·km ²)	mm/a	l/(s·km ²)	mm/a	l/(s·km ²)	mm/a	l/(s·km ²)	mm/a	l/(s·km ²)	mm/a
Paläozoikum des südlichen rheinischen Schiefergebirges												
Hintertaunus Ost	2,2	69,4							1,2	39,1		
Hintertaunus West	2,4	76,3							0,6	17,9		
Pfaffental			1,4	44,2	2,1	66,2	0,1	3,2	0,7	22,1	0,2	6,3
Michelbach			2,2	69,4	3,0	94,6	0,6	18,9	1,6	50,5	0,9	28,4
Vordertaunus Ost	2,4	76,0							1,1	35,0		
Vordertaunus West	1,8	57,8							1,2	39,1		
Idsteiner Senke												
Niederbrechen	2,5	77,9	2,3	72,5	2,8	88,3	1,3	41,0	1,8	56,8	0,001	0,03

Erwartungsgemäß sind die Werte der Abflussspenden von 2008 deutlich höher als die Werte aus den Trockenjahren 2003 sowie 2018.

Die auf einmaligen Niedrigwasserabflussmessungen beruhende Grundwasserneubildung fällt deutlich geringer aus als die ermittelten langjährigen mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse und die aus der Bodenwasserhaushaltsmodellierung basierende Grundwasserneubildung. Die geringen Werte der Niedrigwasserabflussmessungen sind auf das schnelle Leerlaufen eines geringmächtigen Umsatzraumes zurückzuführen.

Sowohl die modellierte Grundwasserneubildung als auch die Niedrigwasserabflussmessungen sind immer kritisch zu hinterfragen. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist nicht nur von dem gewählten Verfahren, sondern auch von der Qualität der Eingangsdaten bzw. Fehlern bei der Datenermittlung abhängig. Bei aller noch so sorgfältigen und genauen Erfassung der für die Berechnung notwendigen Parameter ist die Genauigkeit der Ergebnisse begrenzt. Dafür sind die geologischen und meteorologischen Inhomogenitäten häufig zu groß und nicht voll erfassbar (HÖLTING & COLDEWEY 2013). So beträgt z. B. die durch Messfehler bedingte Abweichung der Niederschlagshöhe bei freier Stationslage in den Wintermonaten teilweise über 30 % (RICHTER 1995). Aber auch die anderen Eingangsdaten, z. B. Landnutzung, nutzbare Feldkapazität, kapillarer Aufstieg oder tatsächliche Evapotranspiration, sind mit Unsicherheiten behaftet. Weiterhin ist bei Niedrigwasserabflussmessungen auch die vorhergehende Zeit hinsichtlich Trocken- oder Nasszeiten zu hinterfragen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen außer anthropogenen Einflüssen, wie beispielsweise

Grundwasserentnahmen, Abwassereinleitungen, Talsperren und andere den Abfluss regulierende Einflüsse, zusätzliche lokale hydrogeologische Einflüsse berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Grundwasserneubildung aus dem Abfluss in Vorflutern setzt voraus, dass das Grundwassereinzugsgebiet eines Pegels mit dem oberirdischen Einzugsgebiet (Niederschlagsgebiet) näherungsweise übereinstimmt. Dies ist nicht immer der Fall. Abweichungen von Einzugsgebieten und Grundwasserscheiden fallen besonders bei kleinen und langgestreckten Einzugsgebieten ins Gewicht. Nicht selten kommt es im Streichen von Störungszonen oder durch geneigte Schichtlagerung zu Verschiebungen der Grundwasserscheide. Häufig ist ein Einzugsgebiet im Festgestein nicht genau abgrenzbar, insbesondere wenn mehrere Grundwasserstockwerke zum Abfluss beitragen.

Hinsichtlich des Prozessverständnisses ist zu beachten, dass die ermittelte Grundwasserneubildung in der Regel nicht mit dem nutzbaren Grundwasserdargebot gleichzusetzen ist, sondern oftmals eine Obergrenze darstellen. Meist fällt das nutzbare Grundwasserdargebot erheblich kleiner als die Grundwasserneubildung aus. Die Ergiebigkeit des Grundwasservorkommens und die Zeitskala, auf der der Grundwasserumsatz im Grundwasserleiter erfolgt, sind für die Grundwasserneubildung nicht maßgeblich, für das genutzte Dargebot dagegen sehr wohl.

Der Taunus zeigt nur auf dem östlichen Taunuskamm niederschlagsreiche Teilgebiete und ist ansonsten durch mittlere Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Die Grundwasserneubildung ist entsprechend vergleichsweise gering. In der Folge ist auch das Grundwasserdargebot gering.

5.2 Hydrogeologische Teilräume

Das Bearbeitungsgebiet gehört zum hydrogeologischen Raum „Rheinisches Schiefergebirge“. Es setzt sich aus den hydrogeologischen Teilräumen „Idsteiner Senke“ (Teilraum 08111) und „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ (Teilraum

08102) zusammen. Im Bearbeitungsgebiet überwiegen Kluftgrundwasserleiter. Porengrundwasserleiter beschränken sich auf lokal auftretende quartäre und tertiäre Lockersedimente.

5.2.1 Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges

Bei den Grundwasserleitern des Teilraums „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ handelt es sich um Kluftgrundwasserleiter, die in Festgesteinen ausgebildet sind. Lokal können in Bereichen von mächtigerem Hangschutt und steilerer Morphologie Quellaustritte vorkommen. Die hydraulischen Durchlässigkeiten sind in der Regel gering bis selten mittel und eng an die Lagerungsverhältnisse und die Tektonik geknüpft. So können entlang der Falten- und Muldenachsen sowie deren Querstörungen erhöhte Wasserwegsamkeiten auftreten. Als vergleichsweise höffig erweisen sich dabei die sich öffnenden jungen, rheinisch streichenden Störungssysteme (NNE–SSW). Trotzdem ist auch hier die Ergiebigkeit von Brunnen in der Regel vergleichsweise gering. Lediglich im Verbreitungsgebiet des Taunusquarzits werden mittlere bis hohe Ergiebigkeiten erreicht, die für die Wasserwirtschaft re-

gional Bedeutung haben können. So stützt sich die Wasserversorgung von Wiesbaden zu ca. 30% auf die Grundwässer aus dem Taunusquarzit. Die Kluftweiten nehmen in der Regel mit der Tiefe rasch ab, so dass ab etwa 100 m die Wasserführung stark eingeschränkt sein kann. Großräumige Stockwerkstrennungen liegen auf Grund der Lagerungsverhältnisse jedoch nicht vor. Die Verschmutzungsempfindlichkeit der Grundwasserleiter ist auf Grund der geringmächtigen und nur lokal verbreiteten quartären Überdeckung hoch bis sehr hoch. Im Verbreitungsgebiet der Tonschiefer können ausgeprägte Verwitterungszonen auftreten. Dies kann zwar zu einer merklichen Verringerung der Versickerung und damit geringerer Grundwasserneubildung führen, stellt dann lokal jedoch auch einen wesentlichen Beitrag zum Schutz tieferer Grundwasservorkommen dar.

5.2.2 Idsteiner Senke

Im Bereich der Idsteiner Senke herrschen Kluftgrundwasserleiter vor. Das Grundwasser zirkuliert auf Trennflächen wie Klüften sowie Störungs-, Schieferungs- oder Schichtflächen – hier bei sich öffnenden jungen Störungen. Die Trennflächen sind zum Teil mit tonigen, lehmigen Lockersedimenten gefüllt oder auch durch Mineralausfällungen (Quarz, Eisen- und Manganoxid) sekundär verheilt. Offene Trennflächen treten insbesondere in tektonisch beanspruchten Bereichen auf, z. B. als Querklüfte senkrecht zu Faltenachsen, in Faltenscheiteln und entlang von Überschiebungen. Die Gesteine waren mehreren gebirgsbildenden Prozessen ausgesetzt, vor allem variszische Haupt- und Querstörungen wurden bei späteren Vertikalbewegungen reaktiviert. Dadurch entstanden Hohlraumvolumen entlang der Schollengrenzen.

Porengrundwasserleiter bilden sich in den begrenzt auftretenden quartären und tertiären Lockersedimenten aus. Beispiele hierfür sind zum einen tertiäre Quarzkiese (Arenberger Schichten) östlich des Emsbaches sowie zwischen Würges und dem Hessenweiler und zum anderen quartäre Talfüllungen, die sich oft mit Hangschuttmassen verzahnen.

Die Bedeutung der Porengrundwasserleiter besteht hier vor allem darin, dass sie den schnellen Abfluss von Oberflächenwasser verhindern, das Wasser aufnehmen, es speichern und einen Teil davon an unterlagernde Kluftgrundwasserleiter abgeben. Dies führt zu einer höheren Grundwasserneubildung im Vergleich zu Gebieten ohne Schutt- oder Abtragungsmassen (ANDERLE 1991).

5.3 Bohrungen sowie anthropogene und natürliche Grundwasser-aufschlüsse

5.3.1 Bohrungen

In der Datenbank des HLNUG sind Bohrungen für den Taunus seit 1902 dokumentiert. Mit Stand August 2017 waren für den gesamten Teilraum 4 499 Bohrungen digital verfügbar. Die meisten Bohrungen pro km² finden sich in dem schmalen Teilstück des Unterdevons bei Hadamar. Dies muss jedoch differenziert betrachtet werden, da die Bohrungen nicht gleichmäßig über das Gesamtgebiet verteilt sind. Ein Großteil entfällt dabei auf die detailliert abgebohrte

ICE Trasse Köln/Rhein-Main, die sich in ihrem Verlauf auch in der Übersichtskarte deutlich hervorhebt. Weitere größere Cluster sind in der Regel ebenfalls Baugrunderkundungsmaßnahmen, wie die Erkundungen zur Ernstbachtalsperre und dessen Fernwasserleitung. Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass der Vordertaunus, der östliche Hintertaunus, die Idsteiner Senke und das Hadamarer Unterdevon relativ flächendeckend durch Bohrungen auf-

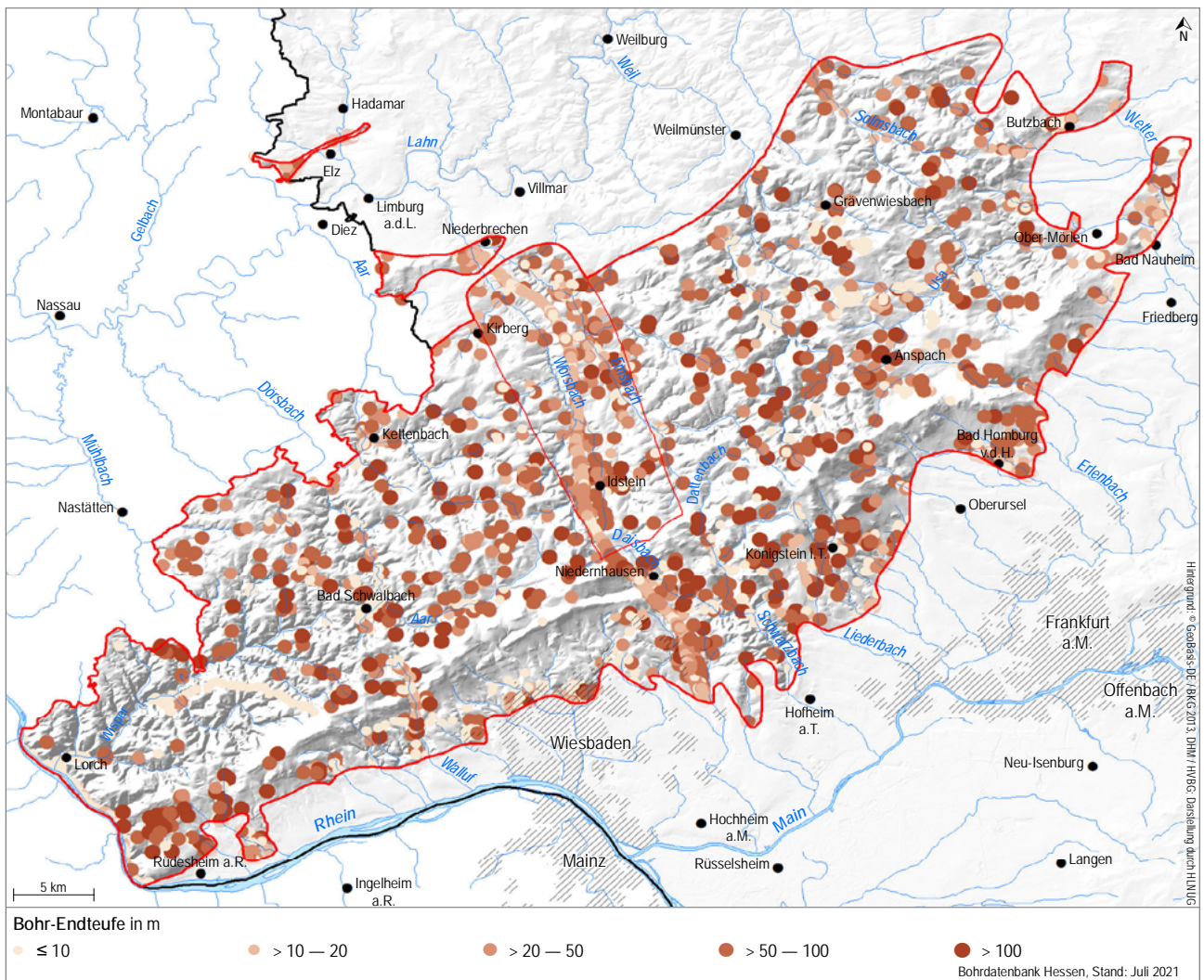


Abb. 5.15: Vorhandene Bohrungen mit Teufeninformation in den Abschnitten des Teilraums Taunus und Idsteiner Senke (Teufe in m; Stand Juli 2021)

geschlossen sind. Größere Lücken gibt es dagegen am Taunuskamm und im jeweils westlichen Teil des Niederbrechener Unterdevons und des westlichen Hintertaunus. Unterschiede finden sich jedoch auch im vertikalen Maßstab. So erreichen nur knapp 58% der Bohrungen eine Endteufe von mehr als 10 m. Die tiefsten Bohrungen finden sich dabei am Taunuskamm und dienen der Grundwassererschließung. Ausnahmen bilden die kleinen Areale des Kirberger Hügellandes und der Hadamarer Mitteldevonzug. Hier sind durchschnittlich deutlich mehr Bohrungen pro km² verzeichnet, was jedoch auf Bergbau und Abbaue zurückzuführen ist.

Tab. 5.8: Teufen der Bohrungen (Stand August 2018)

	Anzahl	Anteil %
Bohrungen insgesamt	4499	100,0
Bohrungen mit Teufen < 10 m	1901	42,3
Bohrungen mit Teufen ≥ 10 m	2598	57,8
Bohrungen mit Teufen ≥ 10 m	2598	100,0
davon > 10–20 m	944	36,3
> 20–50 m	683	26,3
> 50–100 m	613	23,6
> 100–200 m	347	13,4
> 200–500 m	8	0,3
> 500 m	3	0,1
Max. Endteufe 852,75 m		

Tab. 5.9: Anzahl Bohrungen ≥ 10 m Tiefe je hydrogeologische Einheit (Stand August 2018)

	Fläche in km ²	Anzahl Bohrungen	Bohrungen pro km ²
Taunus			
Vordertaunus	184	492	2,7
Taunuskamm	317	528	1,7
Westlicher Hintertaunus	481	345	0,7
Östlicher Hintertaunus	559	390	0,7
Idsteiner Senke	138	598	4,3

Tab. 5.10: Teufen der Bohrungen in den Abschnitten des Teilraums Taunus und Idsteiner Senke (Stand August 2018)

Bohrungen	Vordertaunus		Taunuskamm		westlicher Hintertaunus		östlicher Hintertaunus		Niederbrechener Unterdevon		Hadamarer Unterdevon		Idsteiner Senke	
	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %
< 10 m	436		323		500		375		15		38		166	
≥ 10 m	492	100	528	100	345	100	390	100	85	100	177	100	598	100
davon > 10–20 m	183	37,1	226	42,8	47	13,6	80	20,5	36	42,4	84	47,6	287	48,0
> 20–50 m	124	25,2	102	19,3	75	21,7	94	24,1	43	50,6	69	39,0	200	33,4
> 50–100 m	118	24,0	116	22,0	142	41,2	125	32,1	4	4,7	18	10,1	88	14,7
> 100–200 m	66	13,4	80	15,2	80	23,2	90	23,1	2	2,4	5	2,8	20	3,3
> 200–500 m	1	0,2	1	0,2	1	0,3	1	0,3	0	0	1	0,6	3	0,5
> 500 m	0	0	3	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Die Grundwassererschließung stellt in der Gruppe der niedergebrachten Bohrungen mit Teufen von mehr als 10 m insgesamt einen hohen Anteil dar (31,8%). Der größte Anteil mit über 50% entfällt jedoch auf die allgemeine Erkundung (Aufschlussbohrungen, Baugrundbohrungen, bodenkundliche Bohrungen und Untersuchungsaufschlüsse, geologische Kartierungen, geophysikalische Bohrungen, Untersuchungserkundungen z. B. zu Altlasten). Die Lagerstätten erkundung und die Nutzung von Erdwärme sind dabei deutlich untergeordnet.

Die Bohrungen < 10 m sind fast ausschließlich (97,6%) Erkundungsbohrungen, überwiegend um die Beschaffenheit des Untergrundes festzustellen.

Im Folgenden ist die Verteilung des Bohrziels für die Teilstücke getrennt dargestellt. Bei der Betrachtung des Bohrziels fällt auf, dass in den beiden Teilen des Hintertaunus der Anteil der allgemeinen Erkundungsbohrungen deutlich hinter den zur

Grundwassererschließung zurücktritt. Die Nutzung von Erdwärme durch Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen ist im östlichen Hintertaunus sowie im Vordertaunus im Vergleich überproportional.

Tab. 5.11: Zweck der Bohrungen mit Teufen ≥ 10 m (Stand August 2018)

Bohrungen	Anzahl	Anteil %
≥ 10 m	2 598	100,0
zum Zweck der		
allgemeine Erkundung	1 346	51,8
Lagerstätten erkundung	122	4,7
Erdwärme	212	8,2
Grundwasser	827	31,8
unbekannt	13	0,5

Tab. 5.12: Bohrziel in den Abschnitten des Teilraums Taunus und Idsteiner Senke (Stand August 2018)

Bohrungen	Vordertaunus		Taunuskamm		westlicher Hintertaunus		östlicher Hintertaunus		Niederbrechener Unterdevon		Hadamarer Unterdevon		Idsteiner Senke	
	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %
≥ 10 m	492	100,0	528	100,0	345	100,0	390	100,0	85	100,0	177	100,0	598	100,0
zum Zweck der														
allgemeine Erkundung	317	64,4	264	50,1	103	29,9	64	16,4	59	69,4	115	65,0	462	77,3
Lagerstätten erkundung	0	0,0	50	9,5	2	0,6	22	5,6	20	23,5	24	13,6	18	3,0
Erdwärme	51	10,4	33	6,3	30	8,7	67	17,2	1	1,2	1	0,6	27	4,5
Grundwasser	113	23,0	151	28,5	193	55,9	219	56,2	4	4,7	35	19,8	80	13,4
unbekannt	8	1,6	2	0,4	2	0,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

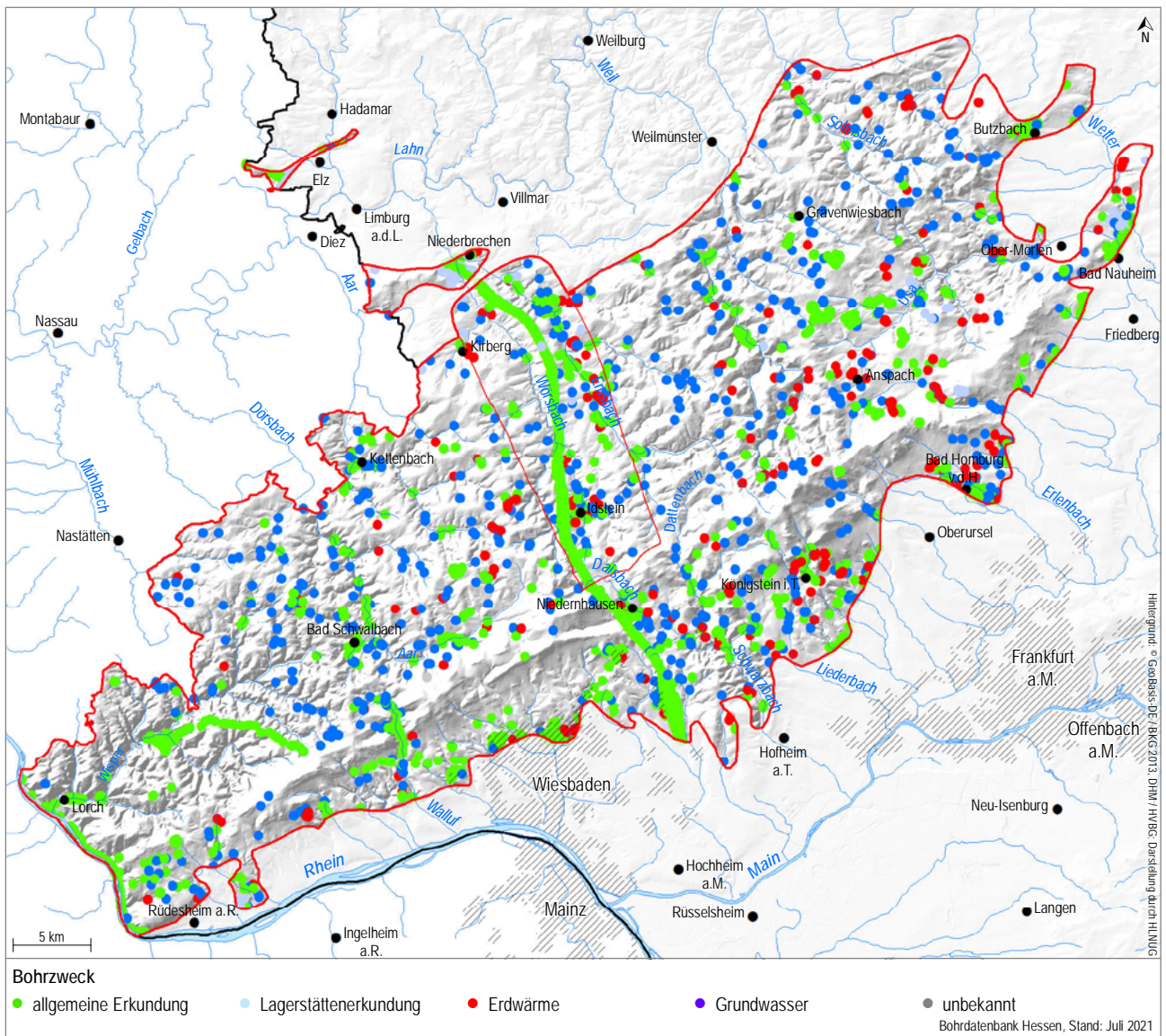


Abb. 5.16: Vorhandene Bohrungen mit Information zum Zweck der Bohrung in den Abschnitten des Teilraums Taunus und Idsteiner Senke (Stand Juli 2021)

5.3.2 Grundwassermessstellen und Grundwasserstände

Das Grundwasser ist Teil des Wasserkreislaufs. Die Schwankungen der Grundwasserstände und der Quellschüttungen sind ein sicht- und messbarer Ausdruck für die Vorratsänderungen in den Grundwasserstockwerken. Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes wird ein flächendeckendes Messnetz unterhalten, das für Grundwasserstände und Quellschüttungen repräsentative Werte liefert. Mit langfristigen Beobachtungen sind Entwicklungen zu er-

kennen, die als Grundlage für wasserwirtschaftliche Planungen dienen.

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände und Quellschüttungen wird in Ganglinien dargestellt. Typische Ganglinien haben großräumig einen ähnlichen Verlauf, oft unabhängig von der Art und der Lage des Grundwasserleiters. Die Schwankungen sind geprägt durch die Höhe der Grundwasserneubildung

aus Niederschlag, die hydraulische Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und die Morphologie der Landschaft. Die Lagepunkte der Messstellen, deren Messwerte als Ganglinien nachfolgend dargestellt werden, sind in der Übersichtskarte Abb. 5.17 mit Messstellennummern markiert.

Die Grundwasserstände werden durch den Landesgrundwasserdienst an ausgewählten Grundwassermessstellen und in nicht mehr genutzten Brunnen regelmäßig gemessen. In flachen Messstellen sind jahreszeitlich ausgeprägte Schwankungen der Wasserspiegel, ähnlich denen der Quellschüttungen, zu beobachten. Bei tieferen Grundwassermessstel-

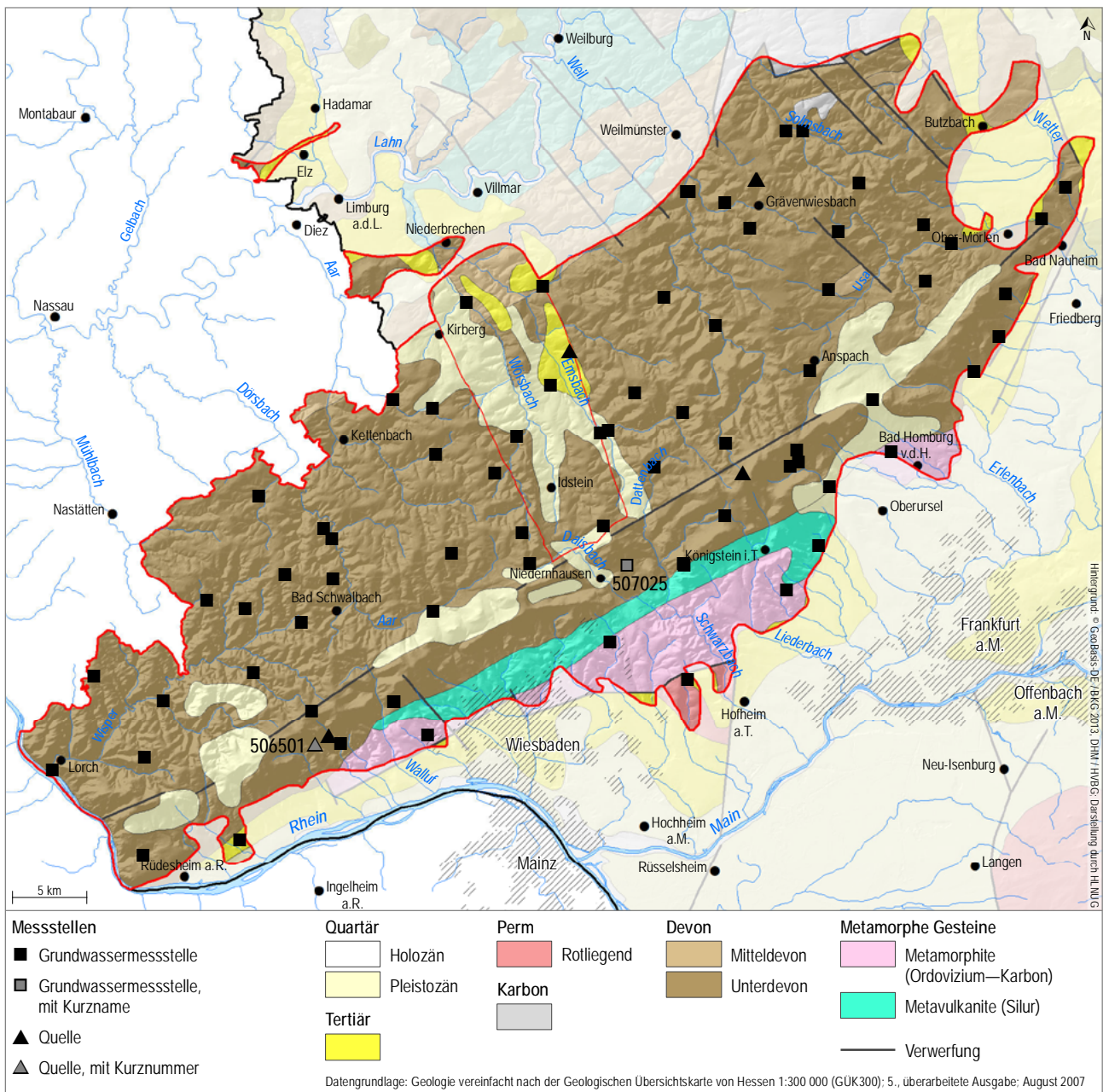


Abb. 5.17: Messstellen zur Überwachung der Grundwasserstände und Quellschüttungen

len reagieren die Wasserstände langsamer auf die Grundwasserneubildung und die Ganglinien können geglättet sein. Auch bei Trocken- und Nassperioden gleicht das Verhalten der Grundwasserstände dem von Quellschüttungen, jedoch mit teilweise mehrwöchigen Verzögerungen in tieferen Grundwassermessstellen. In der Grundwasserstandsganglinie von Abb. 5.19 ist der jahrezeitliche Verlauf der Abnahme der Grundwasserstände in den hydrologischen Sommerhalbjahren und der Wiederanstiegsphase in den hydrologischen Winterhalbjahren zu erkennen. Im Rahmen des Landesgrundwasserdienstes werden im Taunus 73 Grundwassermessstellen erfasst.



Abb. 5.18: Grundwassermessstelle Wörsdorf, Gemeinde Idstein

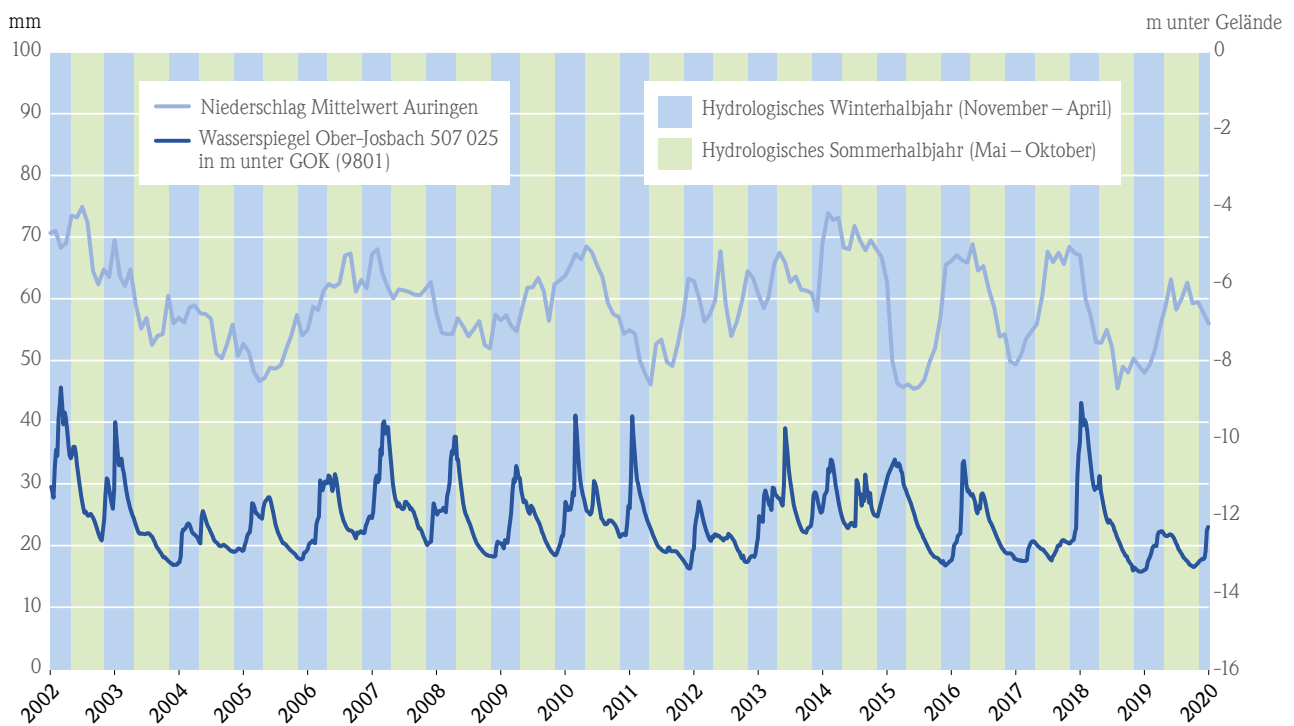


Abb. 5.19: Grundwasserstandsganglinie der Grundwassermessstelle Ober-Josbach 507025 (ID 9801) mit Niederschlags-Monatsmittelwert von Auringen

5.3.3 Quellen und Schüttungsverhalten

Im Taunus sind Quellen als natürliche Grundwasser-
austritte zwar zahlreich, deren Ergiebigkeit jedoch
meistens nur gering und starken Schwankungen un-
terworfen. Dennoch reicht die Schüttung häufig aus,
um kleine Siedlungen mit Wasser zu versorgen. Die
meistens nur flach gefassten und daher häufig ver-
schmutzungsanfälligen Quellen und Schürfungen lie-
fern in der Regel weniger als 0,5 l/s.

Typische Ganglinien der Quellschüttungen haben ein-
nen jahreszeitlichen Verlauf mit geringer Schüttung
im Sommerhalbjahr und der höchsten Schüttung
um die Jahreswende, innerhalb des hydrologischen
Winterhalbjahres (Abb. 5.21). Im Winter erreicht
ein großer Teil des Niederschlags das Grundwasser,
da die Evapotranspiration bei niedrigeren Temperatu-
ren und ruhender Vegetation gering ist. Im Sommer
findet eine Grundwasserzehrung statt und die Schüt-
tungen nehmen ab. Die langjährigen Ganglinien sind
überprägt von Nass- und Trockenperioden. Im Rah-
men des Landesgrundwasserdienstes werden im Tau-
nus sechs Quellen erfasst.



Abb. 5.20: Weil-Quelle, Glashütten

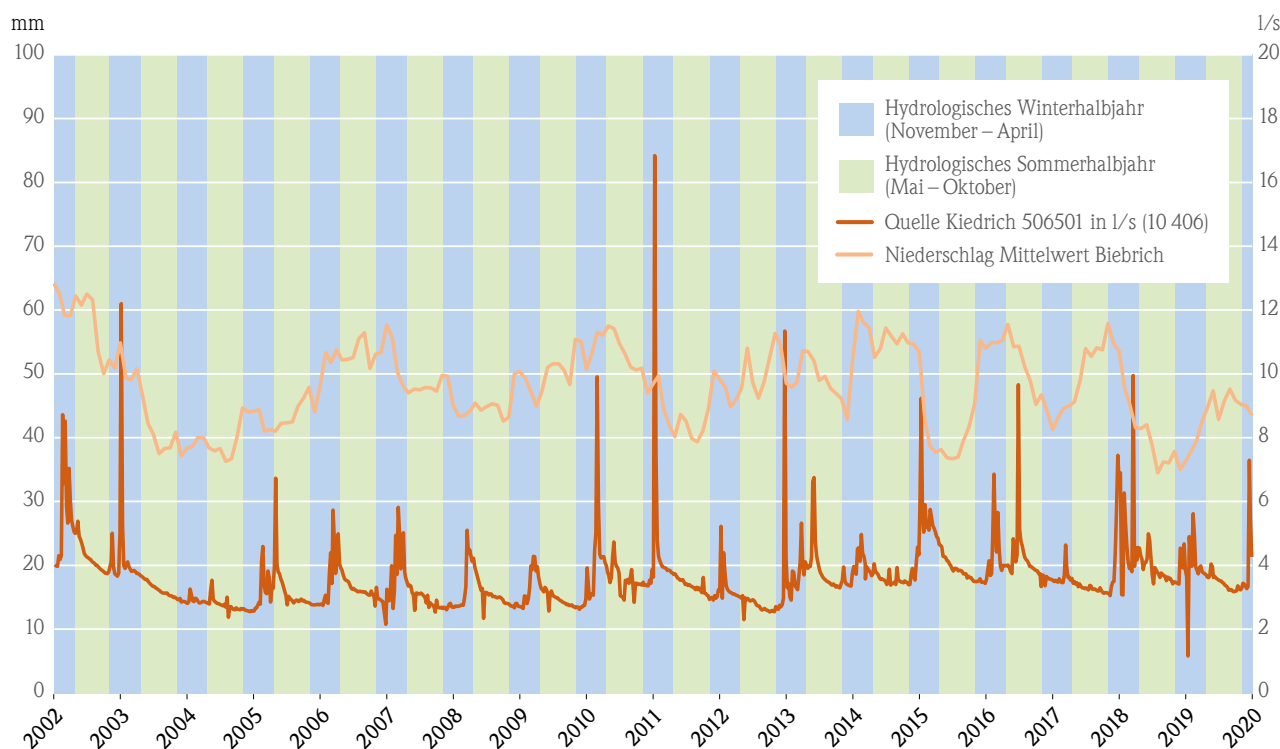


Abb. 5.21: Schüttungsganglinie der Quelle Kiedrich 506501 (ID 10409) mit Niederschlags-Monatsmittelwert von Wiesbaden-Biebrich

Daneben gibt es zahlreiche Thermalquellen. Wie an einer Perlenschnur reihen sich zwischen Rüdesheim im Südwesten und Bad Nauheim im Nordosten balneologisch (zur Bädertherapie) genutzte Thermalquellen mit zum Teil hohen NaCl-Konzentrationen aneinander. Wegen der hohen Temperaturen von fast 70 °C und ihrer vergleichsweise hohen Ergiebigkeit

sind die Wiesbadener Thermalquellen am bekanntesten.

Im westlichen Taunus, insbesondere im Einzugsgebiet der Wisper, treten gehäuft eisenhaltige Sauerwässer bzw. Sauerlinge, d.h. kohlensäurereiche Mineralwässer, auf (Kap. 5.4).

5.3.4 Grundwasserstollen

Eine Besonderheit der Wasserversorgung im Taunus stellen die Grundwasserstollen entlang des südlichen Taunusrandes dar, die ausschließlich zum Zweck der Wassergewinnung angelegt wurden.

Die Idee mit Stollen die wasserführenden Schichten des Taunusquarzits zu erschließen und mit ihnen die Wasserversorgung Wiesbadens zu sichern, geht auf den Landesgeologen Dr. Carl Koch zurück. Er war zusammen mit dem Bergrat Wilhelm Giebeler und dem Stadtbaumeister Alexander Fach Teil einer Sachverständigenkommission, die 1874 vom Wiesbadener Gemeinderat beauftragt wurde, nach weiteren Möglichkeiten der Wasserversorgung für die schnell wachsende Stadt Wiesbaden zu suchen. Im August 1875 stellten sie dem Gemeinderat ihr Gutachten vor und sprachen sich für den Bau von Stollen

zur Trinkwasserwassererschließung aus. Die ersten Arbeiten begannen schon im selben Jahr. Zwischen 1875 und 1909 wurden vier Tiefstollen gebaut.

Die oberhalb von Wiesbaden liegenden Stollen weisen ein leichtes Gefälle Richtung Stollenausgang auf. Dadurch steht das Wasser ohne zusätzliches Pumpen, energetisch effizient, der Wasserversorgung zur Verfügung. Der Einbau von Stollentüren ermöglicht die kontrollierte Abgabe des Wassers durch Regulati-on der Verschlüsse.

Die vier Tiefstollen tragen mit ihrer Gesamtlänge von über 11 Kilometern seit über 100 Jahren auch heute noch mit bis zu einem Drittel zur Trinkwasserversorgung von Wiesbaden bei.



Abb. 5.22: Eingang Kellerskopfstollen

Tab. 5.13: Übersicht über die Trinkwasserstollen von Wiesbaden (KOPP 1986)

Stollen	Bauzeit	Länge m	Stollentüren (Entfernung vom Stollenmundloch in m)	Bemerkungen
Münzbergstollen	1875–1888	2 909	1 900	Quarzite ab 1 980 m
Schläferskopfstollen	1896–1900 nach Bauunterbrechung bis 1909	2 792	1 320 2 056	
Kellerskopfstollen	1899–1906	4 251	1 086 2 844	Quellen im Theisbachtal werden über eine 103 m tiefe Bohrung bei Station 2313 dem Stollen zugeführt
Kreuzstollen	1901–1907	1 490	778	

Tab. 5.14: Weitere Stollen am Taunusrand

Ort	Baujahr/-zeit	Länge in m
Kronberg	1885	125
	1890	300
Königstein	1891	152
	1891	280
Bad Homburg	1888–1901	712
		900
		1 231

5.4 Mineral- und Thermalwasservorkommen

Laut EISENBACH (2004) ist keine andere Region Deutschlands so reich an Mineralwasserquellen wie der Taunus, wobei sich insbesondere an dessen Rändern viele Quellen aneinanderreihen. Dies hat zur Entstehung zahlreicher bedeutender Badeorte geführt, wobei die Mehrzahl der im Taunus bzw. am

Taunusrand vorhandenen Quellen laut EISENBACH (2004) wirtschaftlich ungenutzt blieben. Neben den o. g. Quellen stellen auch die Brunnen Bad Schwalbachs „Langenschwalbach“ und Niederselters im Bereich der Idsteiner Senke bekannte Mineralwasservorkommen dar.

5.4.1 Begriffsbestimmung und Klassifizierung von Mineral- und Heilwässern sowie mineralisierten Wässern

Der Begriff Mineralwasser wurde ursprünglich (nach den „Nauheimer Beschlüssen“ aus dem Jahr 1911) für Wässer mit, im Vergleich zum Trinkwasser, erhöhtem Gehalt an gelösten Mineralen (Salzen) und Gasen verwendet (Massenanteil an gelösten Feststoffen (Salzen) und Gasen > 1 000 mg/kg). Mit der EG-Mineralwasserrichtlinie aus dem Jahr 1980 und der daran anschließenden Mineral- und Tafelwasserverordnung aus dem Jahr 1984 (Min/TafelWV) wurde die Begriffsbestimmung für „natürliche Mine-

ralwässer“ eingeführt, welche u. a. den natürlichen Ursprung, einen „kennzeichnenden Gehalt“ an Mineralien, Spurenelementen oder sonstigen Bestandteilen und ggf. ernährungsphysiologische Wirkungen sowie eine, im Rahmen natürlicher Schwankungen, konstante Zusammensetzung voraussetzt.

Als Heilwässer werden seit der Erweiterung der „Nauheimer Beschlüsse“ zu den „Salzuffer Beschlüssen“ 1932 natürliche Mineralwässer bezeich-

net, welche medizinisch wirksame Inhaltsstoffe aufweisen, deren heilende Wirkung nachgewiesen und staatlich anerkannt ist (balneologisches Gutachten).

Da die Zusammensetzung natürlicher Mineralwässer nicht eindeutig definiert ist, wird häufig eine Klassifizierung basierend auf den „Begriffsbestimmungen für Heilbrunnen“ (DHV & DTV 2016) vorgenommen. Die Klassifizierung kann so anhand der folgenden Kriterien erfolgen:

1. Mineralgehalt (gelöste Kationen und Anionen) „mineralisierte Wässer“

- mindestens 1 000 mg/l an gelösten Mineralstoffen (gelöste Anionen und Kationen),
- bei der Namensgebung werden alle Ionen herangezogen, die mit einem Äquivalentanteil von > 20 % an der Gesamtkonzentration beteiligt sind (i. d. R. Natrium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Sulfat und Hydrogencarbonat), die Äquivalentanteile beziehen sich auf die Summe der Kationen = 100 % und die Summe der Anionen = 100 %,
- in der Namensgebung werden erst die Kationen und dann die Anionen in absteigender Reihenfolge aufgezählt.

2. „wertbestimmende“ Einzelbestandteile

Wässer, die besondere Einzelbestandteile enthalten, können nach den folgenden Kriterien benannt werden:

Tab. 5.15: Wertbestimmende Einzelbestandteile von Heilbrunnen

Kriterium	Bezeichnung
> 20 mg/l zweiwertiges Eisen (Fe ²⁺)	Eisenhaltige Wässer
> 1 mg/l Iodid (I ⁻)	Jodhaltige Wasser
> 1 mg/l Fluorid (F ⁻)	Fluoridhaltige Wässer
> 1 mg/l Sulfidschwefel (S ²⁻)	Schwefelhaltige Wässer
> 500 mg/l freies gelöstes Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	kohlensäurehaltige Wässer
> 1.000 mg/l freies gelöstes Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	Säuerlinge
> 666 Bq/l Radon (Rn-222)	Radonhaltige Wässer

Die Bezeichnung dieser Einzelbestandteile wird i. d. R. vor die Bezeichnung der Anionen und Kationen gestellt (beispielsweise schwefelhaltiges Calcium-Sulfat-Wasser oder bei Mineralstoffkonzentrationen < 1 000 mg/kg schwefelhaltiges Wasser).

3. Thermalwässer und Solen

Thermalwässer müssen am Austrittsort eine Temperatur von mindestens 20 °C aufweisen. Des Weiteren werden Wässer, die eine NaCl-Konzentration von > 1 400 mg/l und demnach mindestens 5,5 g Natrium- und 8,5 g Chlorid-Ionen (entsprechend 240 meq/l Natrium- bzw. Chlorid-Ionen) enthalten, als „Solen“ bezeichnet.

5.4.2 Entstehung und Vorkommen

Die Entstehung von Mineral- und Heilwässern bzw. mineralisierten Wässern ist sehr vielfältig. Die nach der o. g. Begriffsbestimmung definierten natürlichen Mineral- und Heilwässer werden im Wesentlichen aus Niederschlägen (Grundwasserneubildung) gebildet, welche teilweise mehrere hundert Meter tief in den Untergrund sickern. Lange Sicker- und Fließzeiten im Grundwasser sind dabei eine Voraussetzung für eine konstante Beschaffenheit. Insbesondere bei Thermalwässern (beispielsweise Wiesbaden) wurde in der Vergangenheit auch das Vorkommen von sogenannten juvenilen Wässern aus dem Erdinneren diskutiert, allerdings wird dies in Hessen als un-

wahrscheinlich eingestuft. Hohe Mineralgehalte sind durch den Kontakt des Wassers mit lösungsfähigen Mineralen im Untergrund bedingt, wobei auch die physikalisch-chemischen Bedingungen für die Lösung gegeben sein müssen.

Bei den Gesteinen des Taunus handelt es sich überwiegend um Festgesteins-Grundwasserleiter (Kluftgrundwasserleiter) mit silikatischer Gesteinsbeschaffenheit und unterschiedlichen, geringen bis mittleren hydraulischen Durchlässigkeiten. Hauptgrundwasserleiter ist der Taunusquarzit mit mittleren Ergiebigkeiten und einer überwiegend silikatischen Grundwas-

serbeschaffenheit. Da der Anteil an lösungsfähigen Mineralen in diesen Gesteinen vergleichsweise gering ist, wird ein bereichsweise hoher Lösungsinhalt im Grundwasser (hohe Mineralisierung) auf den Aufstieg von mineralisierten Wässern aus größeren Tiefen entlang von Störungszonen zurückgeführt. Im Bereich des Taunus sowie an dessen Rändern treten überwiegend Sauerlinge und Thermalwässer auf. Solen sind ebenfalls vorhanden und steigen z. T. als bzw. in Verbindung mit kohlenstoffreichen Ther-

malwässern im Bereich der Taunussüdrandstörung aus größeren Tiefen auf (Abb. 5.23 und Abb. 5.24).

Kohlensäurereiche Mineralquellen, wie sie vor allem im nordwestlichen Taunus auftreten, sind eng an Aufstiegswege von Kohlensäure gebunden und treten laut DIEDERICH et al. (1991), zumindest im südlichen Hessen, auch im Zusammenhang mit tertiärem Vulkanismus als postvulkanische „Exhalationen“ auf.

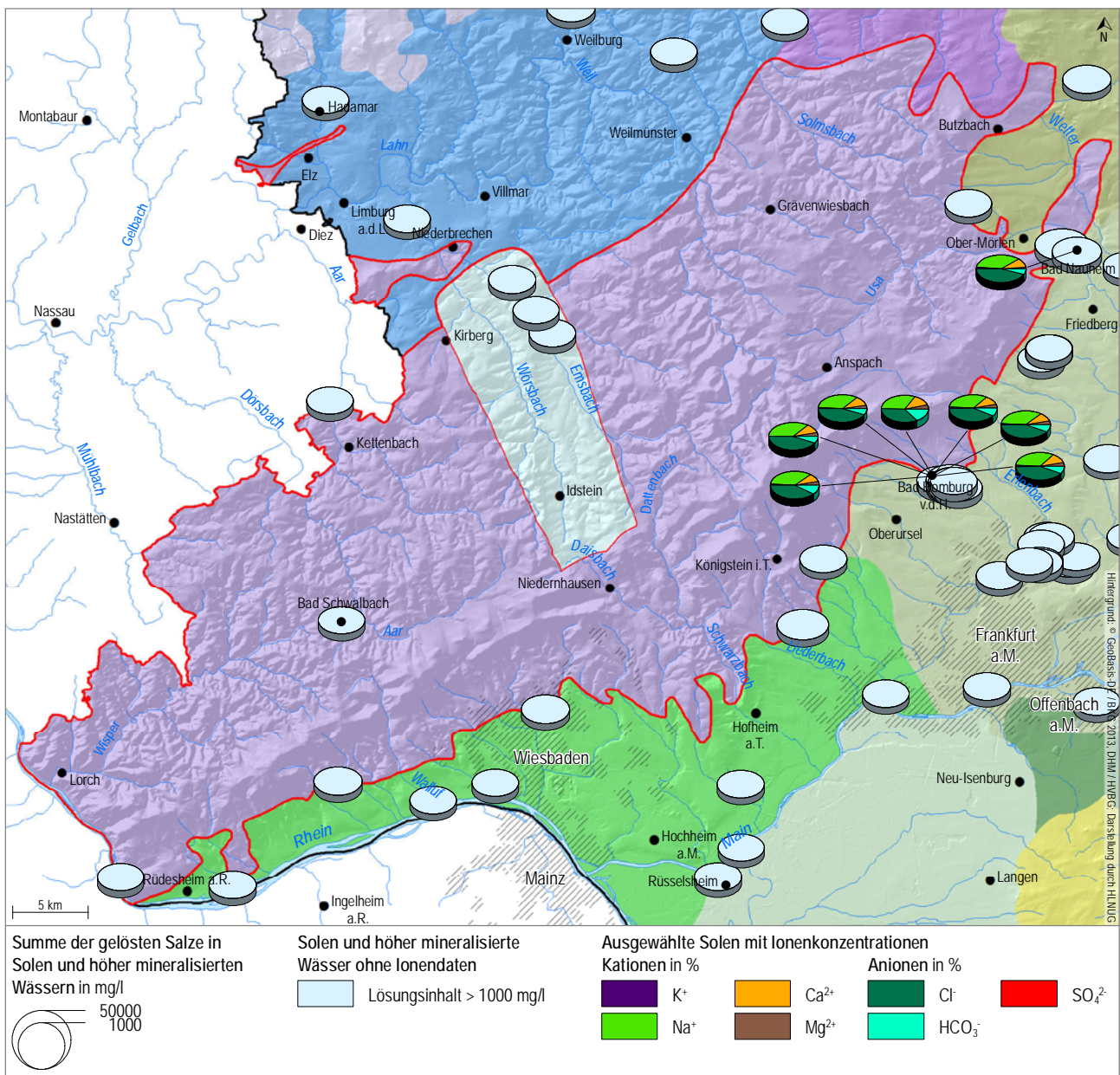


Abb. 5.23: Beispiele für mineralisierte Wässer (Gesamtlösungsinhalt > 1 000 mg/l) und Solen (NaCl > 1 400 mg/l) im Bearbeitungsgebiet

Thermalquellen stellen, wie Säuerlinge, lokale Phänomene dar, da sie nicht an bestimmte Gesteinsformationen, sondern i. d. R. an das Auftreten von Vulkanismus geknüpft sind. Die z. T. höher temperierten Mineralwässer am Taunusrand (insbesondere Wiesbaden, Bad Nauheim und Schlangenbad) können laut DIEDERICH et al. (1992) dadurch erklärt werden, dass die Grundwässer in größere Tiefen absinken und dort erwärmt werden, um dann, ähnlich dem durch Kohlensäure bedingten Gaslift, relativ schnell entlang von gut durchlässigen Klüften aufzusteigen.

Ein Beispiel dafür stellen die Thermalwässer in Wiesbaden dar. Wiesbaden befindet sich am südlichen Taunusrand bzw. der Taunussüdrandstörung, an der sich neben Wiesbaden noch weitere bekannte Mineralquellen und Heilbäder wie u. a. Bad Homburg und Bad Nauheim befinden.

Der geologische Aufbau kann durch einen Struktur­fächer mit weitreichenden Überschiebungen erklärt werden. Der Südrand des Taunus wird dabei durch die steilstehende Taunussüdrandstörung begrenzt, hierbei handelt es sich um einen nach Südosten ein-

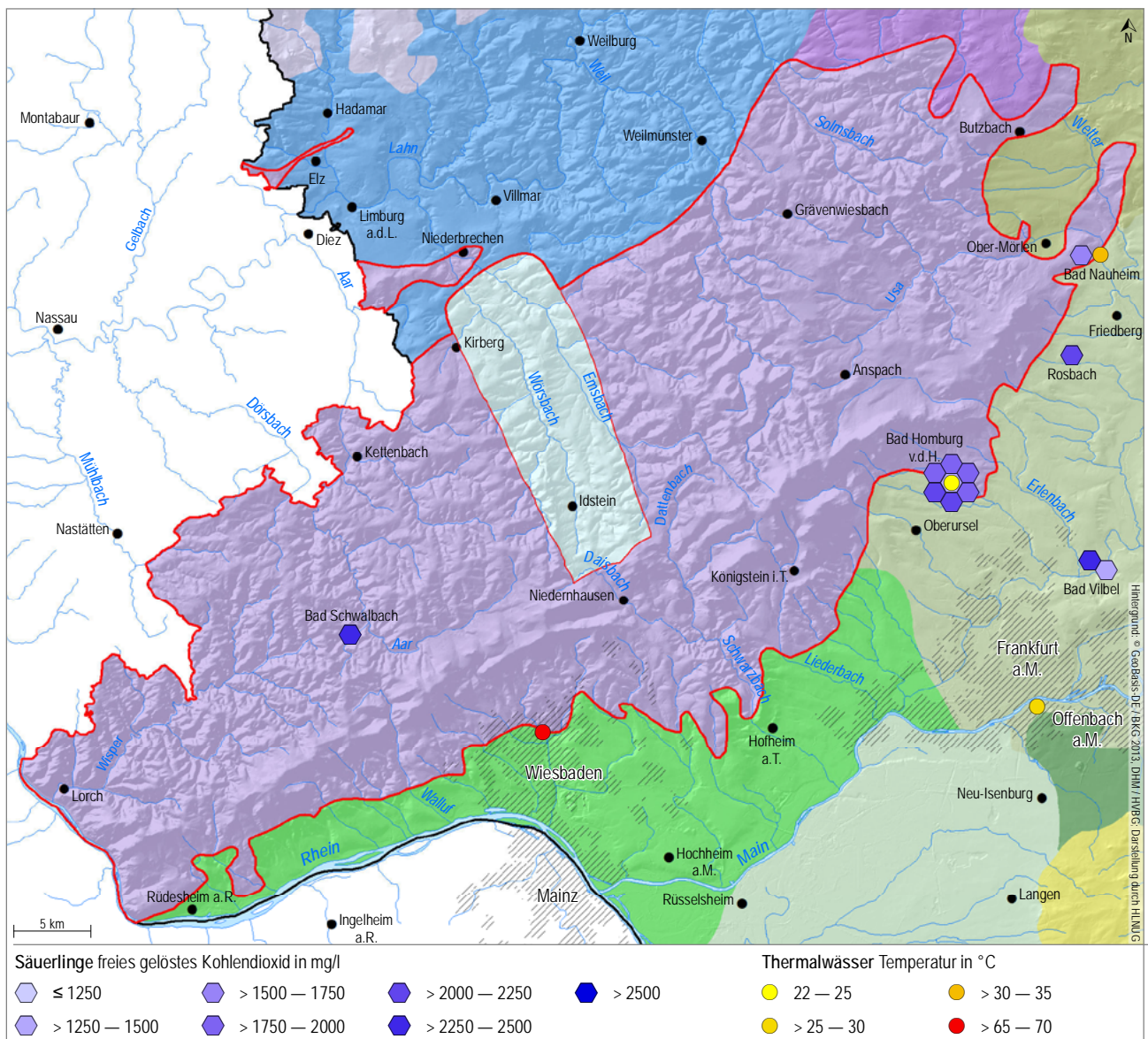
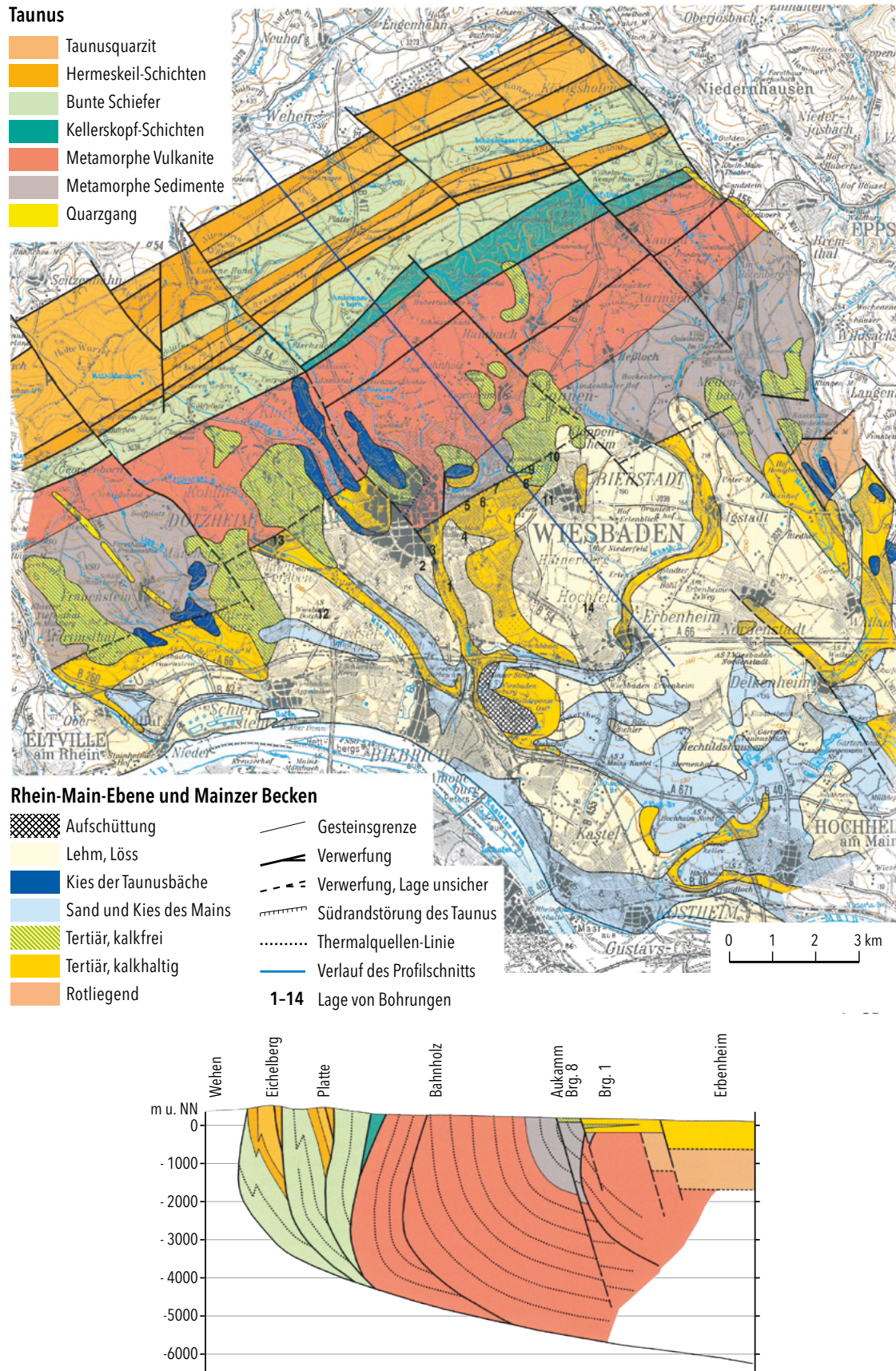


Abb. 5.24: Beispiele für Säuerlinge (freies CO₂ > 1 000 mg/l) und Thermalwässer (Wassertemperatur > 20 °C) im Bearbeitungsgebiet



tauchenden Staffelbruch. Die Wiesbadener Innenstadt wird durch die Taunussüdrandstörung in einen nördlichen Bereich mit paläozoischen Gesteinen und einen südlichen Bereich mit tertiären Gesteinen unterteilt. Die paläozoischen Gesteine bestehen aus metamorphen Vulkaniten, in die geringmächtige metamorphe Sedimente eingeschaltet sind. An diese schließen sich im Südosten metamorphe Gesteine an. Die paläozoischen Gesteine werden von sandig-kiesigen, teilweise auch tonigen Sedimenten des Tertiärs (Unteres Miozän) diskordant überlagert (Abb. 5.25).

Die Thermalwässer steigen entlang der Störungen bis zur bzw. nahe an die Oberfläche auf. Im Stadtgebiet von Wiesbaden waren laut Czysz (1995) 27 Thermal- und Mineralquellen mit Temperaturen von 14 °C bis zu 67 °C bekannt, wobei ein großer Teil der Brunnen und Quellen inzwischen überbaut oder abgedeckt

wurde. In der Vergangenheit wurde an den 27 Quellen und Brunnen eine Gesamtschüttung ca. 231/s (rd. 2.000 m³/d) gemessen (MICHELS 1961).

Ein Beispiel für den Aufstieg höher mineralisierter Wässer stellt auch die Idsteiner Senke dar. Laut STENGEL-RUTKOWSKI (1994) steigt im Bereich Niederselters thermales, salzhaltiges Wasser aus mehreren Kilometern Tiefe, begünstigt durch gelöste Kohlensäure (Gaslift), auf und vermischt sich mit dem geringer mineralisierten Grundwasser des Taunus. Dabei wird davon ausgegangen, dass das salzhaltige Wasser von Süden aus dem Raum Wiesbaden über tief reichende wasserwegsame Klüfte in den konsolidierten Schiefergebirgssockel eintritt und nordwärts migriert. Die eigentliche Herkunft der salzhaltigen Wässer wird laut STENGEL-RUTKOWSKI (1994) in Salzlagerstätten des südlichen Oberrheingrabens gesehen.

5.5 Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung und Verweilzeiten

Unter Grundwasserüberdeckung wird der Boden- und Gesteinskörper über dem oberen Grundwasserleiter verstanden. Niederschlagswasser kann als Sickerwasser Schadstoffe mit sich führen, welches bei der Passage durch die wasserungesättigte Zone mechanischen, physiko-chemischen und mikrobiellen Prozessen unterliegt. Diese Prozesse können zu einer Reduzierung der Schadstofffrachten führen und werden hauptsächlich von der Verweildauer in den grundwasserüberdeckenden Schichten beeinflusst. Die Verweildauer und somit die Schutzwirkung hängt somit von der Sickerwassermenge, der Mächtigkeit und der Durchlässigkeit der Grundwasserüberdeckung ab. Die Schutzwirkung ist umso besser, je größer der Flurabstand und je geringer die Wasserdurchlässigkeit sind.

Die Berechnung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung erfolgte nach der Methode der Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands (HÖLTING et al. 1995), die durch einige zusätzliche Berechnungsparameter ergänzt wurde. Die Basis bilden die Grundwasserflurabstände (bzw. Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung), die im Rahmen der Erstellung des „Konzeptionellen hydrogeologischen Modells zur Analyse und Bewertung von Verweilzeiten in Hessen“ („Verweilzeitenmodell Hessen“; HERRMANN 2010; WENDLAND et al. 2011) berechnet

wurden. Dazu kommen die Attribute der Hydrogeologischen Übersichtskarte Deutschland 1 : 200 000 (HÜK 200, Version 3.1; DÖRHÖFER et al. 2001, HANNAPPEL et al. 2003), die Grundwasserneubildungsrate, die hessischen Bodenflächendaten sowie Parameter aus der Geologischen Übersichtskarte Hessen 1 : 300 000 (GÜK 300, HLNUG 2007).

Im Einzelnen standen folgende Datensätze für die Berechnung zur Verfügung:

- Faktor B (Bewertung der Böden):
Nutzbare Feldkapazität aus den Bodenflächendaten 1 : 50 000 von Hessen (BFD 50)
- Faktor B_m (Mächtigkeit in m der Böden):
Die Bodenmächtigkeit entspricht der Summe der Mächtigkeiten aller Bodenschichten eines Bodentyps der BFD 50
- Faktor BF_{fels}:
Festgestein ohne Bodenüberdeckung (erforderlich zur Unterscheidung bei fehlender Bodeninformation unter versiegelten Flächen in der BFD 50)
- Faktor D (Mächtigkeit bindiger Deckschichten):
Annahme einer max. 5 m mächtigen Deckschicht für alle Flächen aus HÜK 200

- Faktor DArt: Punktzahl bindige Deckschichten aus HÜK 200; Reklassifikation in entsprechende Punktzahlen GL für Lockergesteine
- Faktor P (Gesteinsart): Bewertung von Lockergesteinen GL und Festgesteinen GF aus HÜK 200
- Faktor F (Struktur): Bewertung der strukturellen Eigenschaften der Festgesteine abgeleitet von Kf-Werten der HÜK 200
- Faktor L (Mächtigkeit von Löss-Überdeckung): Kartierung von Lössmächtigkeiten aus GeODin-Profilen
- Faktor S (Einfluss von Störungen auf Festgesteine): Übernahme von Störungslinien aus der GÜK 300 und dem „3-D-Modell der geothermischen Tiefenpotenziale in Hessen“ („Hessen 3D“)
- Faktor M: Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung aus dem Raster „Flurabstand“ des „Verweilzeitenmodells Hessen“
- Faktor W: Bewertung der Grundwasserneubildungsrate aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell Hessen (MORHARD 2012, HERGSELL & BERTHOLD 2005)

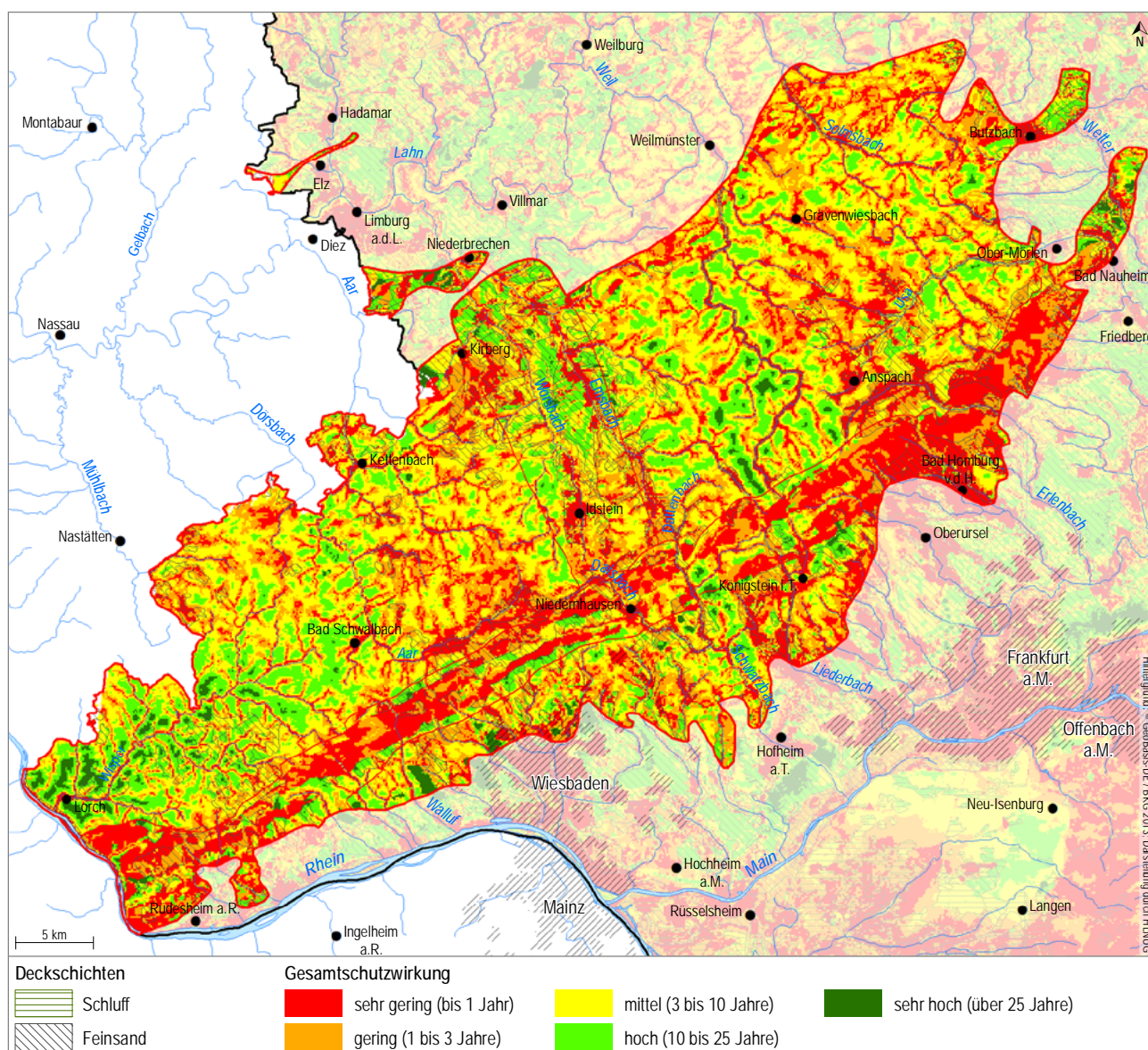


Abb. 5.26: Übersichtskarte der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung

Faktor Q (schwebende Grundwasserstockwerke) und Faktor D (artesische Druckverhältnisse) konnten wegen fehlender Datengrundlagen nicht berücksichtigt werden.

Die in Abb. 5.26 dargestellte Übersichtskarte spiegelt sehr deutlich die Abhängigkeit der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung von der geologischen Großgliederung des Taunus wider.

Aufgrund der geringen Grundwasserflurabstände sind im gesamten Bearbeitungsgebiet in den Lockergesteinsbereichen entlang der Taunusbäche meistens sehr geringe Schutzwirkungen vorhanden. Die Schutzfunktionskarte zeichnet deutlich den Verlauf auch kleinerer Gewässer nach. Sehr geringe Schutzwirkungen kennzeichnen trotz des großen Grundwasserflurabstandes sehr auffällig die Verbreitung des Taunusquarzits, teilweise auch der Hermeskeil-Schichten. Die Gesteine bilden den Taunuskamm aus, sind aufgrund ihrer hohen Härte intensiv geklüftet, haben kaum Adsorptionswirkung für Schadstoffe und sind wegen des steilen Oberflächenreliefs und der Höhenlage nur von sehr geringmächtigen oder gar keinen quartären Lockergesteinen überdeckt. Westlich von Bad Camberg zeigt der Ems-

Quarzit ebenfalls eine nur sehr geringe bis geringe Schutzwirkung.

Südlich von Oberursel und Bad Homburg bedingen weit verbreitete pleistozäne Sande und Kiese, die ein oberflächennahes Grundwasserstockwerk bilden, ebenfalls eine geringe bis sehr geringe Schutzwirkung. Auch im Usinger Becken ist die Schutzwirkung aufgrund der flächenhaften Verbreitung holozäner Sande und Kiese mit geringem Grundwasserflurabstand oftmals nur mittel bis sehr gering.

Mittlere und hohe Schutzwirkungen kennzeichnen ansonsten weite Gebiete des Hintertaunus mit seinen vornehmlich schluffig-tonigen Gesteinen des Unterdevons (Untere Ems). Insbesondere die Idsteiner Senke zeigt große Flächen mit hoher Schutzwirkung, da hier die quartäre Lockergesteinsüberdeckung sehr viel mächtiger ist.

Der von schwach metamorphen Gesteinen der Phyllitzone (Metavulkanite und Schiefer des Ordoviziums, Silurs und Devons) geprägte Südtaunus weist ebenfalls eine mittlere bis hohe Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung auf.

5.6 Grundwasserbeschaffenheit

5.6.1 Methodik und Zielsetzung der hydrochemischen Grundwasserbewertung

Nachfolgend wird für die beiden hydrogeologischen Teilräume „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ und „Idsteiner Senke“ die hydrochemische Grundwasserbeschaffenheit beschrieben und klassifiziert (Abb. 5.27).

Mit dieser Auswertung wird für das Bearbeitungsgebiet ein Überblick der von der Geologie der grundwasserleitenden Gesteine, anthropogenen Einflüssen und den Verweilzeiten im Untergrund abhängigen Beschaffenheit der Grundwässer gegeben.

Anhand der geologischen Strukturräume (Abb. 4.2) und der hydrogeologischen Einheiten des Bearbeitungsgebiets (Abb. 2.8), werden die Grundwasserleiter der beiden Teilräume zur hydrochemischen Beschreibung weiter untergliedert. Hydrogeologische

Einheiten, für die keine verwertbaren Grundwasseranalysen vorlagen (z. B. die Hofheimer Rotliegend-Scholle im Süden des Bearbeitungsgebietes), bleiben unberücksichtigt.

Unterschieden werden bei den nachfolgenden Auswertungen die Grundwässer der „Tonschiefer des Vordertaunus“ (Abb. 5.29), der „Sandstein-/Quarzitzüge des Taunuskamms und des Hintertaunus“ (Abb. 5.32), der „Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus“ (Abb. 5.35) und der „quartären und tertiären Lockergesteine größerer Mächtigkeit“ (Abb. 5.38). Die Grundwässer der „Kalksteine des Hintertaunus“ werden, trotz geringer flächenhafter Verbreitung, wegen ihrer abweichenden Beschaffenheit beschrieben und zusammen mit den Grundwässern der „Tonschiefern des Hintertaunus“ dargestellt.

Damit erfolgt für jeweils ähnliche hydrogeologische Standortgegebenheiten eine zusammenfassende Betrachtung der Grundwasserbeschaffenheit.

Die hydrochemische Grundwasserbewertung stützt sich im Wesentlichen auf Daten aus der hessischen Grundwasserdatenbank (GruWaH). Innerhalb des Bearbeitungsgebietes befinden sich derzeit insgesamt 843 GruWaH-Messstellen. Für 695 dieser Messstellen liegen hydrochemische Analysendaten vor, die für die Auswertungen dieses Berichtes ge-

nutzt werden konnten. Für jede dieser Messstellen (Abb. 5.27) wurde die jeweils aktuelle Wasseranalyse zur Auswertung herangezogen. Dabei erfolgt neben der beschriebenen lagebezogenen, gesteinsabhängigen hydrogeologischen Gliederung eine Unterscheidung nach den drei Messstellenarten „Quellfassung“, „Grundwasserstollen“ und „Brunnen“ (Tab. 5.16).

Frühere Untersuchungen zur Grundwasserversauerung im südlichen Taunus (KÄMMERER 1998) haben gezeigt, dass die Empfindlichkeit, mit der die Grund-

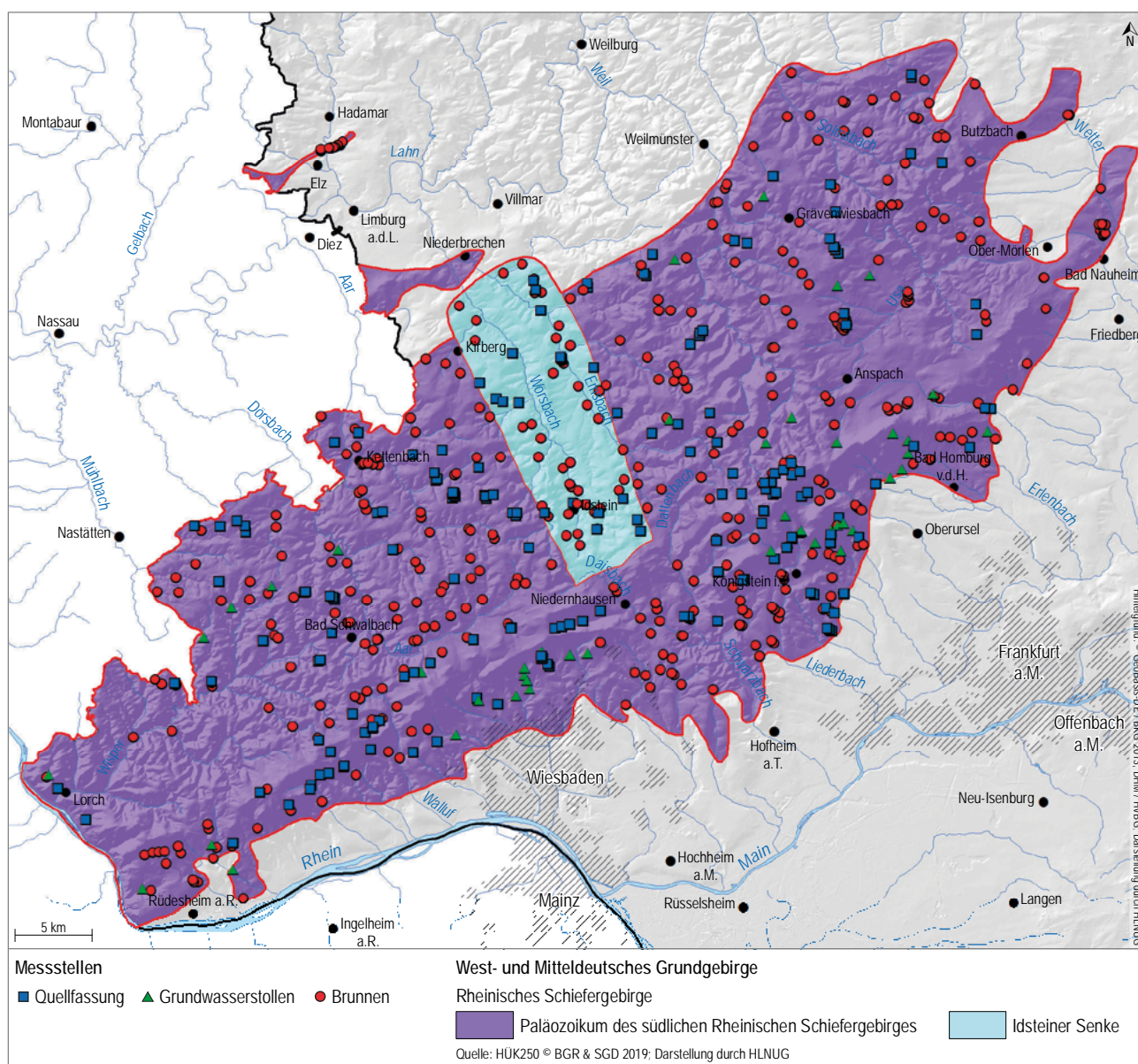


Abb. 5.27: Hydrogeologische Teilräume des Bearbeitungsgebietes mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Bewertung genutzten 695 Messstellen

wässer auf Einflüsse von der Oberfläche reagieren, bei ähnlichen vergleichsweise niedrigen Gesamtmineralisationen stark von der jeweiligen Verweilzeit im Untergrund abhängt. Die Verweilzeiten der Grundwässer von Quelfassungen und Grundwasserstollen sind meist deutlich geringer als die der Brunnenwässer. Ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen der Grundwasserbeschaffenheit wurden bei den Quelfassungen ermittelt. Quellwässer mit geringen Verweilzeiten, die einen hohen Anteil an Zwischenabflusswasser enthalten, zeigten als Auswirkung der Grundwasserversauerung häufig niedrige pH-Werte in Verbindung mit hohen Aluminiumkonzentrationen.

Die Zuordnung der zur Auswertung verwendeten Grundwässer zu den in Tab. 5.16 aufgeführten hydrogeologischen Einheiten erfolgte anhand der Lage der Messstellen. Für die nahe der Sandsteine und Quarzite des Taunuskamms und des Hintertaunus gelegenen Quelfassungen und Grundwasserstollen ist diese Zuordnung nicht immer eindeutig. In den Tonschiefern entspringende Quellen werden häufig in quantitativ bedeutendem Maße aus den Sandsteinen und Quarziten gespeist. Die Grundwasserstollen setzen meist in den hydraulisch geringer durchlässigen Tonschiefern an, dienen jedoch zur Bewirtschaftung der Grundwässer aus den Sandsteinen und Quarziten, in denen sie überwiegend ausgebaut sind. Aufgrund der nachfolgend beschriebenen Messstellenauswahl zur Charakterisierung der Grundwässer (Auswahl der jeweils mittleren Analyse aus Schoeller-Diagrammen) ergibt sich aus dieser Unschärfe jedoch keine Veränderung der hydrochemischen Klassifizierung.

Die Grundwässer des Bearbeitungsgebietes wurden anhand der Konzentrationen der gelösten Hauptinhaltsstoffe Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Chlorid (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}), Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und Nitrat (NO_3^-) durch Schoeller- und Piper-Diagramme (SCHOELLER 1962; PIPER 1944) charakterisiert. Beide Diagrammdarstellungen ermöglichen den direkten Vergleich der Grundwasserbeschaffenheit, auch bei stark unterschiedlichen Gesamtlösungsinhalten. In den Schoeller-Diagrammen wird dies durch logarithmische Darstellung der Ionenkonzentrationen in der Einheit $\text{mmol}(\text{eq})/\text{l}$ erreicht. Die Piper-Diagramme stellen die Kationen und Anionen in der Einheit $\text{mmol}(\text{eq})\%$ sowohl getrennt in Dreiecks-Diagrammen (ternäre Diagramme), als auch gemeinsam in einer Raute dar. Durch die Darstellung prozentualer Anteile der Kationen und Anionen an der Gesamtmineralisation wird auch in den Piper-Diagrammen der Vergleich stark unterschiedlich konzentrierter Grundwässer ermöglicht. Anhand der Klassifikation nach FURTAK & LANGGUTH (1967) können die darstellenden Punkte der Piper-Diagramme zu Grundwassertypisierung genutzt werden.

Die gleichzeitige Darstellung aller hydrochemischen Analysen (Tab. 5.16) in den beiden o. g. Diagrammtypen führt zu unübersichtlichen, sich gegenseitig überlagernden Linienscharen und Punktwolken. Daher wurden anhand der Schoeller-Diagramme für jede Messstellenart pro hydrogeologischer Einheit jeweils eine typische Wasseranalyse aus der Mitte der Linienschar ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Linienverlauf der ausgewählten Analyse dem für die jeweilige hydrogeologische Einheit

Tab. 5.16: Anzahl der zur Auswertung genutzten Wasseranalysen der GruWaH, unterschieden nach Messstellenart und Hydrogeologie der grundwasserleitenden Gesteine

Messstellenart	Tonschiefer des Vordertaunus	Sandstein-/Quarzitzüge des Taunuskamms und des Hintertaunus	Tonschiefer des Hintertaunus	Kalksteine des Hintertaunus	Quartäre und Tertiäre Lockergesteine größerer Mächtigkeit	Anzahl Analysen
Quelfassungen	19	26	129	-	11	185
Grundwasserstollen	12	9	27	-	2	50
Brunnen	49	54	295	5	57	460
Gesamtzahl Wasseranalysen	80	89	451	5	70	695

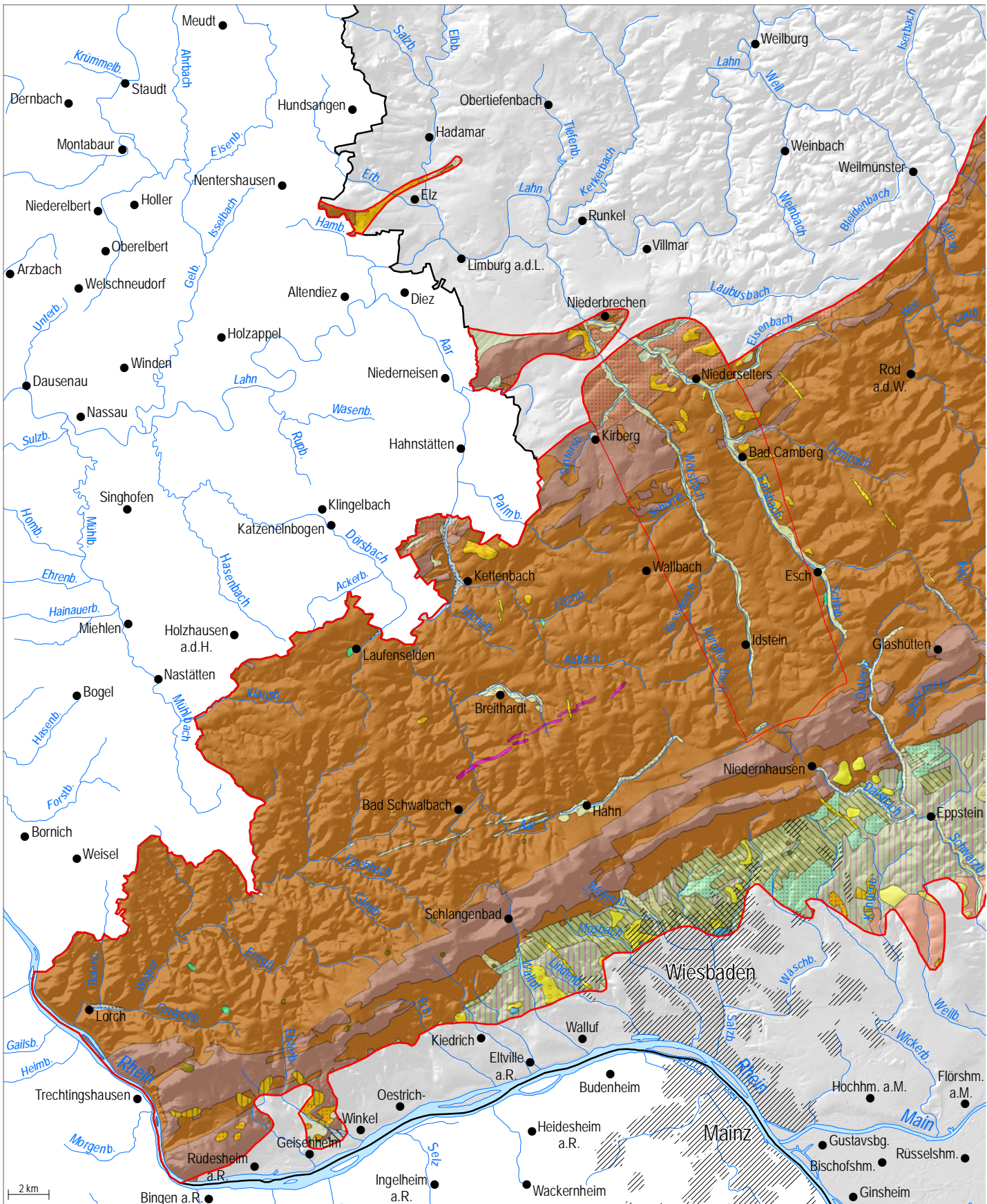
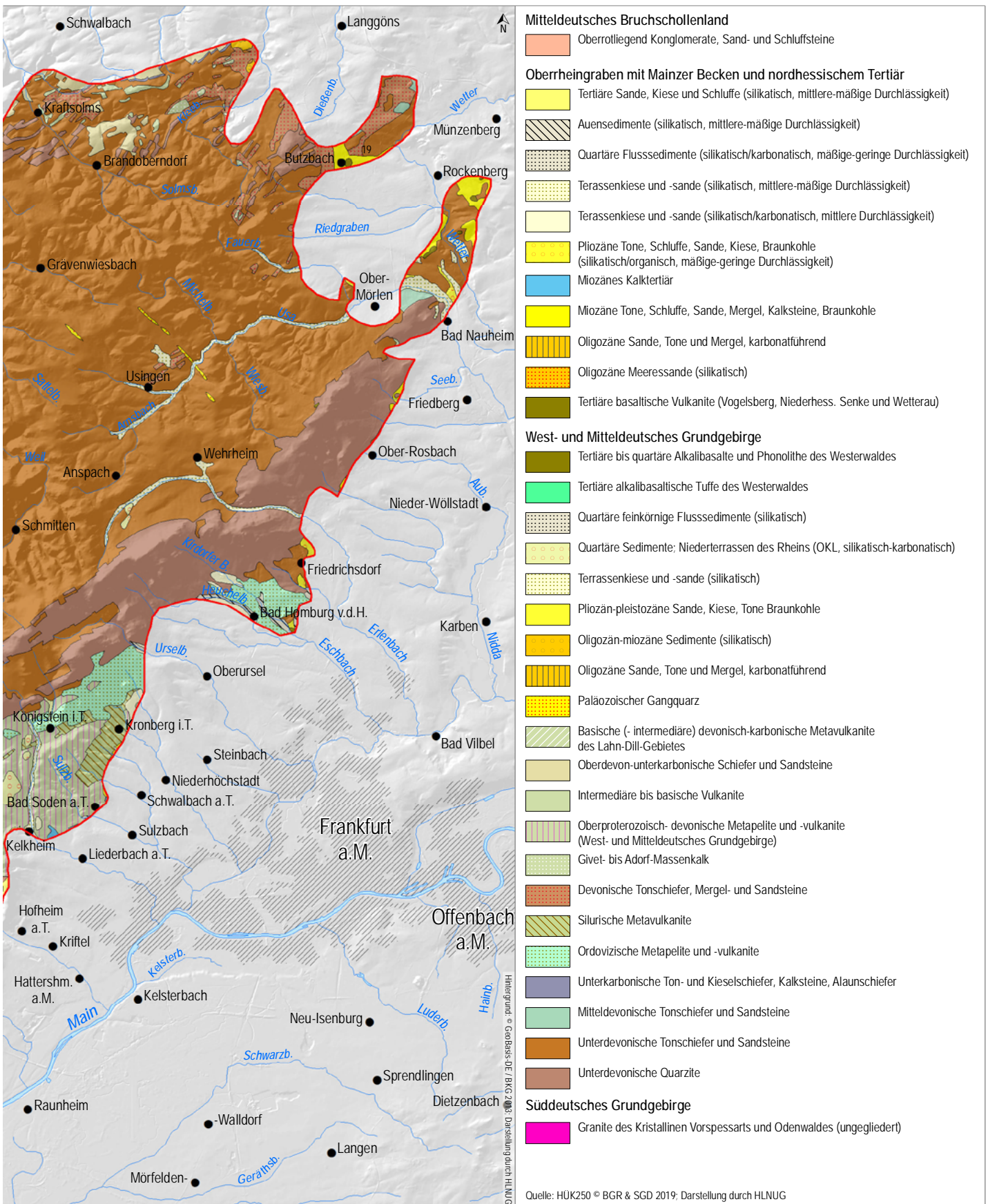


Abb. 5.28: Hydrogeologische Einheiten des Bearbeitungsgebietes (Quelle: HÜK 200)

Hydrogeologie



charakteristischen Verlauf entspricht. Bei den dargestellten Kationen- und Anionenkonzentrationen handelt es sich somit um reale Analysendaten und nicht um Werte, die durch statistische Mittelwertbildung entstanden sind. Die GruWaH-IDs der zugehörigen Messstellen werden in den Diagrammen jeweils mit angegeben.

Im Jahr 2013 wurde die Dokumentation einer flächendeckenden Erfassung und Auswertung geogener Hintergrundwerte der Haupt- und Spurenstoffe hessischer Grundwässer veröffentlicht (LUDWIG 2013).

Die Auswahl der Probenahmestellen erfolgte dabei mit der Zielsetzung, anthropogen weitgehend unbelastete Grundwässer darzustellen. Aufgrund dieser einschränkenden Randbedingung wurden für die Beschreibung des hydrogeologischen Teilraums Paläozoikum des Rheinischen Schiefergebirges insgesamt nur 54 Messstellen und für den Teilraum Idsteiner Senke 17 Messstellen verwendet. Auf eine weitere Untergliederung nach der Messstellenart wurde dabei verzichtet. Die resultierenden Typisierungen der anthropogen unbelasteten Grundwässer werden in den folgenden Abschnitten angegeben.

5.6.2 Grundwässer des Paläozoikums des südlichen Rheinischen Schiefergebirges

Die regionale Unterteilung der Grundwässer in Vordertaunus, Taunuskamm und Hintertaunus orientiert sich an den geologischen Strukturräumen (Abb. 4.2), die in etwa der naturräumlichen Gliederung Hessens nach KLAUSING (1988) entspricht. Da die Sandstein- und Quarzitzüge des Hintertaunus hydrogeologisch den Gesteinen des Taunuskamms ähneln, werden sie, abweichend von den geologischen und naturräumlichen Gliederungen, bei der hydrochemischen Bewertung zusammengefasst. Die im Hintertaunus vereinzelt vorkommenden devonischen Kalksteine werden bei der Beschreibung der Grundwässer der Tonschiefer des Hintertaunus mit einbezogen. Wie ein Vergleich der geologischen Übersichtskarte am Beispiel der Idsteiner Senke (Abb. 5.41) mit der Karte der hydrogeologischen Einheiten (Abb. 2.8) zeigt, werden geringmächtige Quartärüberdeckungen dort nicht dargestellt. Es handelt sich um eine „abgedeckte“ Karte, bei der geringmächtige Deckschichten ausgeblendet wurden. Für die in Abb. 2.8 dennoch enthaltenen Flächen mit quartären und tertiären Sedimenten ist daher eine höhere Mächtigkeit gegeben. Daher wurden bei der hydrochemischen Auswertung die Grundwässer aus Gebieten mit mächtigerer quar-

tärer bzw. tertiärer Überdeckung gesondert betrachtet.

Gemäß der Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume (FRITSCHÉ et al. 2002) sind für die aus vorwiegend unterdevonischen Schichten aufgebauten Kluffgrundwasserleiter meist nur geringe bis mittlere hydraulische Durchlässigkeiten kennzeichnend. Wasserwirtschaftlich von überregionaler Bedeutung sind nur die Grundwässer des Taunuskamms und der Sandstein-/Quarzitzüge des Hintertaunus. Die Grundwässer dieser durchlässigeren Gesteine zeichnen sich durch niedrige Wasserhärten aus. Aufgrund der geringen Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung im Bereich der Höhenlagen (Kap. 5.5) und kurzer Verweilzeiten im Untergrund, treten bei flachgründigen Gewinnungsanlagen häufiger bakteriologische Verunreinigungen auf. Die Grundwässer aus den Tonschiefern des Vorder- und Hintertaunus sind häufig durch erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen aufgrund geringer Sauerstoffkonzentrationen gekennzeichnet. Ein weiteres Merkmal der meist gering durchlässigen Tonschiefer-Grundwasserleiter ist eine ausgeprägte mikrobielle Nitratreduktion.

5.6.2.1 Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus

Bei den grundwasserleitenden „vordevonischen“ Gesteinen des Vordertaunus handelt es sich um silurische Phyllite, die ursprünglich als überwiegend tonige Sedimente abgelagert und bei der späteren Gebirgsbildung metamorph überprägt wurden. In die Schichtenfolge sind einzelne Quarzitbänke ein-

geschaltet. Weiterhin treten Serizitgneise auf, die aus vulkanischen Gesteinen hervorgegangen sind. Die Gesteine werden in der hydrogeologischen Beschreibung zusammenfassend als Tonschiefer des Vordertaunus bezeichnet. Sie bilden meist gering durchlässige Kluffundwasserleiter.

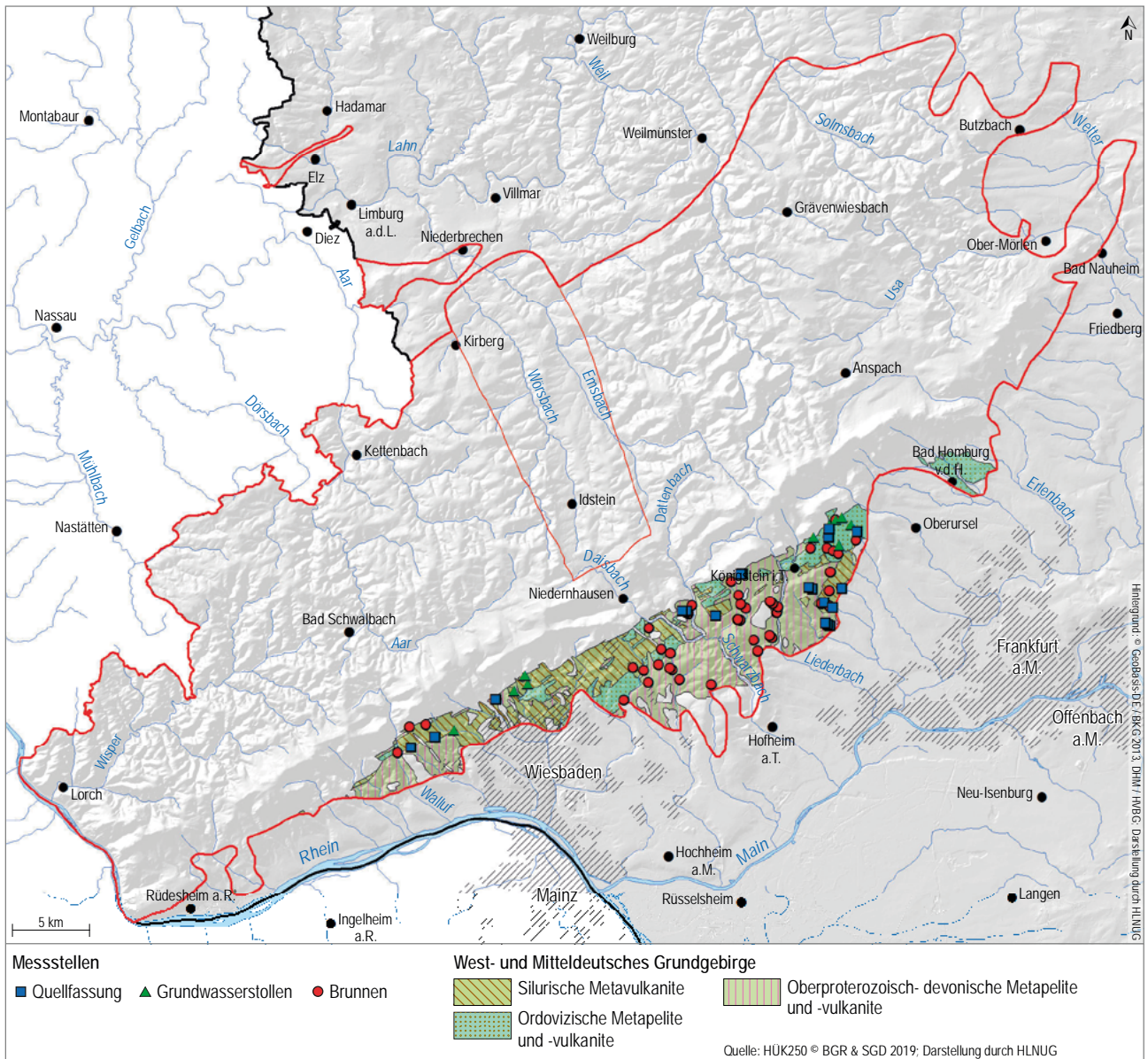


Abb. 5.29: Hydrogeologische Einheiten des Bearbeitungsgebietes, die als „Tonschiefer des Vordertaunus“ zusammengefasst wurden, mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Beschreibung genutzten 80 Messstellen

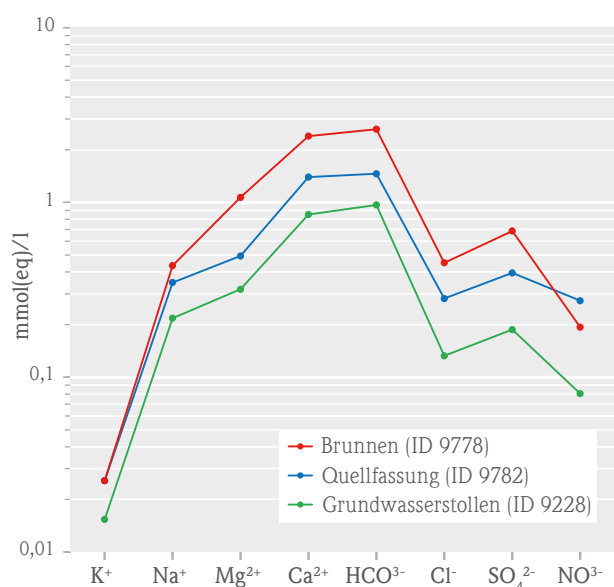


Abb. 5.30: Schoeller-Diagramm typischer Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Die Kurvenverläufe des Schoeller-Diagramms (Abb. 5.30) der Hauptkationen und -anionen der Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus ähneln sich für die drei Messstellenarten stark. Lediglich die Nitratkonzentration der als typisch ausgewählten Quelfassung ist im direkten Vergleich leicht erhöht (17 mg/l). Die die Grundwasserbeschaffenheit dominierenden Ionen sind jeweils die Erdalkalitionen Calcium und Magnesium sowie Hydrogencarbonat. Die Gesamtmineralisationen der drei Wässer sind mit Werten < 300 mg/l insgesamt gering, wobei das Brunnenwasser mit 293 mg/l die höchste und das Wasser des Grundwasserstollens mit 104,3 mg/l die geringste Mineralisation aufweist. Die Wasserhärten der Quelfassung und des Grundwasserstollens sind mit 5,3°dH und 3,3°dH als *weich* und die des Brunnen mit 9,7°dH als *mittel* einzustufen (Härtebereiche gemäß WMRG 2007; weich: < 8,4°dH, mittel: 8,4–14,0°dH, hart: >14,0°dH). Die pH-Werte der Grundwässer liegen mit Werten von 6,0 und 6,7 im leicht sauren Bereich (Tab. 5.1).

Jeweils jüngste Analyse im Zeitraum: 01.01.1910–21.09.2018

Klassifikation nach Furtak & Langguth

Normal erdalkalisches Wasser

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

Erdalkalisches Wasser mit höherem Alkaligehalt

- d überwiegend hydrogenkarbonatisch
- e überwiegend sulfatisch/überwiegend chloridisch

Alkalisches Wasser

- f überwiegend (hydrogen-)karbonatisch
- g überwiegend sulfatisch-chloridisch/überwiegend chloridisch

- Mst.-ID 9228 08.02.2017
- Mst.-ID 9778 28.03.2018
- Mst.-ID 9782 05.04.2017

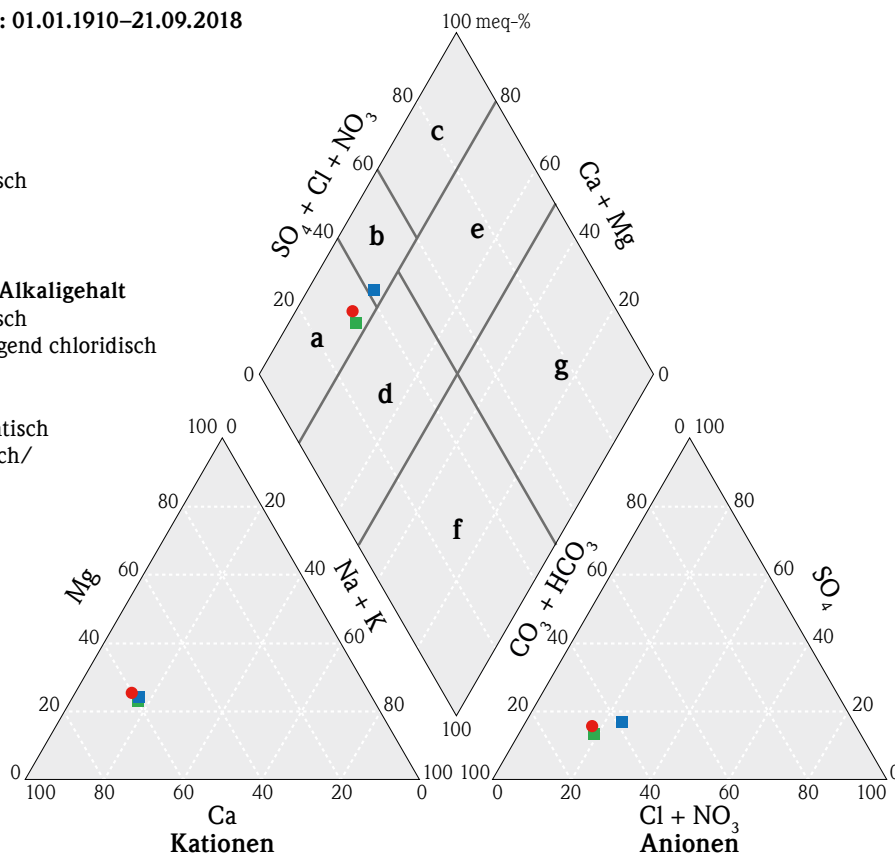


Abb. 5.31: Piper-Diagramm typischer Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Tab. 5.17: Wasseranalysen typischer Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Messstellenart	Hauptkationen und -anionen in mg/l									Härte		pH
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Summe	°dH	mmol/l	
Quelfassung (ID 9782)	1	8	6	28	89	10	19	17	178	5,3	0,945	6
Grundwasserstollen (ID 9228)	1	5	3,9	17	59	5	9	5	104,3	3,3	0,586	7
Brunnen (ID 9778)	1	10	13	48	160	16	33	12	293	9,7	1,732	6

Gemäß der Klassifikation nach FURTAK & LANGGUTH (1967) liegen die Grundwässer des Brunnens und des Grundwasserstollens im darstellenden Feld (a) *normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch* des Piper-Diagramms. Die Beschaffenheit des Quellwassers ist davon nur wenig abweichend. Sie ist insbesondere durch die etwas höhere Nitratkonzentration in das angrenzende Feld (b) *normal erdalka-*

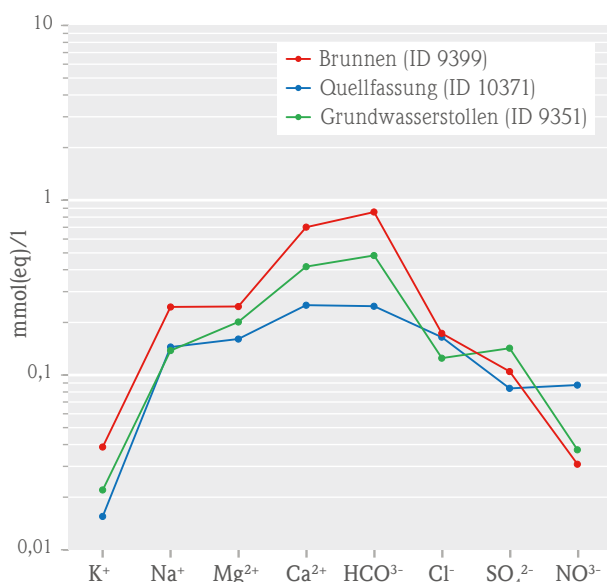
lisch, hydrogencarbonatisch-sulfatisch verschoben (Abb. 5.31).

Nach LUDWIG (2013) sind anthropogen unbelastete Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus relativ einheitlich dem Ca-Mg-(Na-)HCO₃-(Cl)-Typ zuzuordnen.

5.6.2.2 Grundwässer der Sandstein-/Quarzitzüge des Taunuskamms und des Hintertaunus

Bei den grundwasserleitenden Gesteinen des Taunuskamms (Hochtaunus) handelt es sich um schwach metamorph überprägte devonische Sandsteine (Hermeskeilsandstein) und Quarzite (Taunusquarzit). Aufgrund seiner Verwitterungsresistenz bil-

det der Taunusquarzit die markanten Höhenzüge des Südtanuns. Die im Norden des Bearbeitungsgebietes anstehenden Quarzitzüge des Emsquarzits werden bei der hydrogeologischen Beschreibung aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit den Gesteinen des Taunuskamms mit diesen gemeinsam dargestellt. Die Sandsteine und Quarzite weisen günstigere Wasserleit- und Speichereigenschaften als die umgebenden Tonschiefer auf, da durch tektonische Beanspruchungen in den spröde brechenden Gesteinen größere Wasserwegsamkeiten und Hohlraumvolumina entstanden sind. Eingebettet in die Tonschiefer bilden sie Grundwasservorkommen, die z. T. durch bergmännisch vorgetriebene Grundwasserstollen wasserwirtschaftlich genutzt werden und insbesondere für die Städte am Taunussüdrand von Bedeutung sind. Die Wässer des Hochtaunus werden wegen ihrer geringen Härte von der Bevölkerung geschätzt.

**Abb. 5.33:** Schoeller-Diagramm typischer Grundwässer des Taunuskamms und der Sandstein-/Quarzitzüge des Hintertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Das Schoeller-Diagramm (Abb. 5.33) der als typisch ausgewählten Grundwässer von Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen der Sandsteine und Quarzite des Taunuskamms und des Hintertaunus zeigt jeweils ähnliche Kurvenverläufe bei sehr geringen Gesamtmineralisationen von nur ca. 40–90 mg/l (Tab. 5.18). Aufgrund der niedrigen Konzentrationen der Erdalkalitionen Calcium und

Tab. 5.18: Wasseranalysen typischer Grundwässer des Taunuskamms und der Sandstein-/Quarzitzüge des Hintertaunus

Messstellenart	Hauptkationen und -anionen in mg/l									Härte		pH
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Summe	°dH	mmol/l	
Quellfassung (ID 10371)	0,6	3,3	1,9	5,0	15,0	5,8	4,0	5,4	41,0	1,1	0,205	5,7
Grundwasserstollen (ID 9351)	0,9	3,2	2,4	8,3	29,3	4,4	6,8	2,3	57,5	1,7	0,307	6,4
Brunnen (ID 9399)	1,5	5,6	3,0	14,0	52,0	6,1	5,0	1,9	89,1	2,6	0,472	6,0

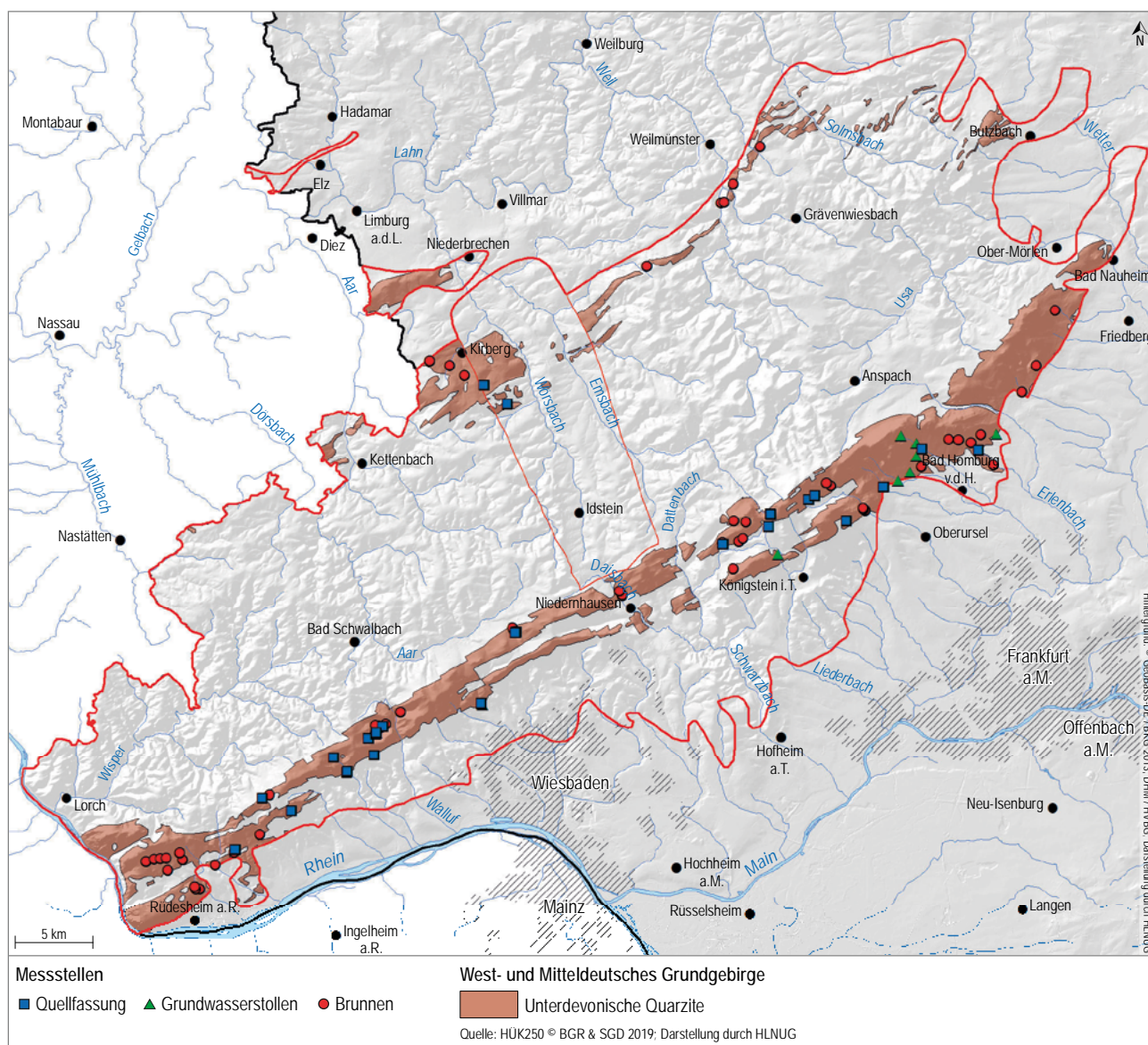


Abb. 5.32: Hydrogeologische Einheiten des Bearbeitungsgebietes, die als „Sandstein-/Quarzitzüge des Taunuskamms und des Hintertaunus“ zusammengefasst wurden, mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Beschreibung genutzten 89 Messstellen

Jeweils jüngste Analyse im Zeitraum: 01.01.1910–21.09.2018

Klassifikation nach Furtak & Langguth

Normal erdalkalisches Wasser

- a überwiegend hydrogencarbonatisch
- b hydrogencarbonatisch-sulfatisch
- c überwiegend sulfatisch

Erdalkalisches Wasser mit höherem Alkaligehalt

- d überwiegend hydrogencarbonatisch
- e überwiegend sulfatisch/überwiegend chloridisch

Alkalisches Wasser

- f überwiegend (hydrogen-)carbonatisch
- g überwiegend sulfatisch-chloridisch/
überwiegend chloridisch

- Mst.-ID 9351 19.03.2018
- Mst.-ID 9399 12.07.2017
- Mst.-ID 10371 26.09.2017

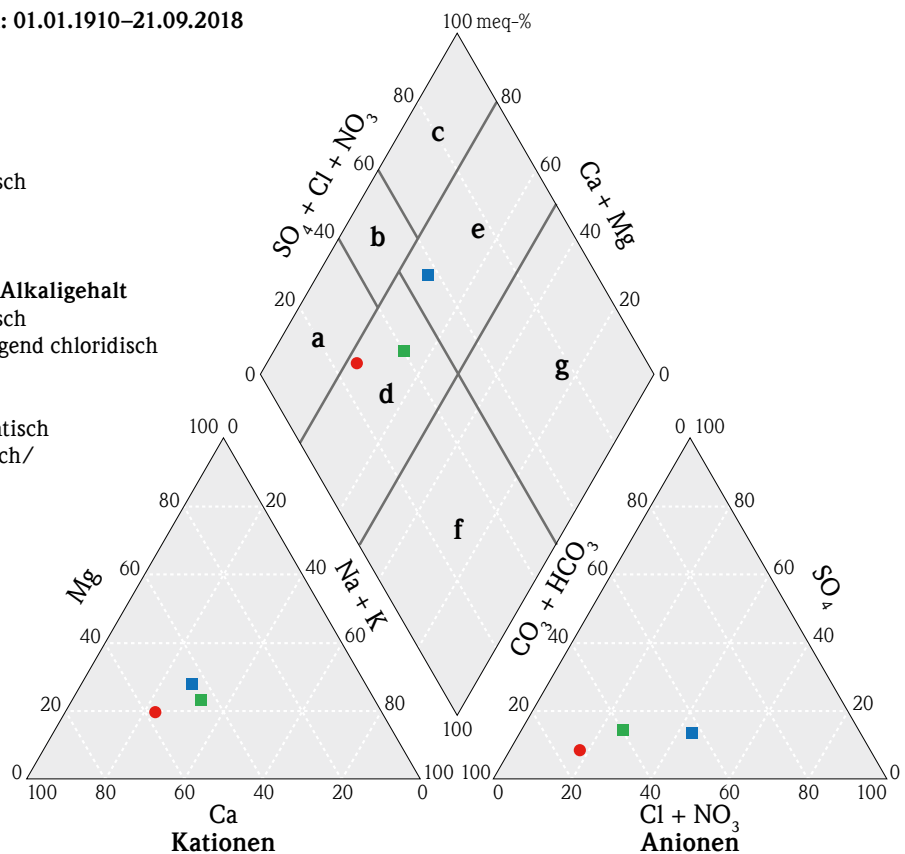


Abb. 5.34: Piper-Diagramm typischer Grundwässer des Taunuskamms und der Sandstein-/Quarzitzüge des Hintertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Magnesium, liegen die Wasserhärten im Bereich von 1,1–2,6 °dH, es handelt sich damit um *weiche* Wasser. Die Grundwässer sind mit pH-Werten von 5,7–6,4 leicht sauer.

Im Piper-Diagramm (Abb. 5.34) liegen die Grundwässer der Grundwasserstollen und Brunnen im darstellenden Feld (d) *erdalkalisch mit höherem Alkaligehalt, überwiegend hydrogencarbonatisch*. Durch die im Grundwasser der betrachteten Quelfassung dem gegenüber nur um wenige Milligramm höhere

Summe aus Chlorid und Nitrat (Summe: 11,2 mg/l) ergibt sich bereits die Lage im Feld (e) *erdalkalisch mit höherem Alkaligehalt, überwiegend chloridisch*.

Nach LUDWIG (2013) sind anthropogen unbelastete Grundwässer des Taunuskamms, wie bereits die Grundwässer der Tonschiefer des Vordertaunus, dem Ca-Mg-(Na-)HCO₃-(Cl-)Typ zuzuordnen. Sie zeichnen sich jedoch, wie auch die vorliegende Auswertung zeigt, durch deutlich geringere Gesamtmineralisationen aus.

5.6.2.3 Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus

Wie aus der Übersichtskarte von Abb. 4.2 hervorgeht, nehmen die hydrogeologisch als Tonschiefer des Hintertaunus zusammengefassten Gesteinseinheiten die mit Abstand größte Fläche des Bearbeitungsgebietes ein. Daher sind auch annähernd 65 % der ausgewerteten Wasseranalysen den Grundwasserleitern dieser hydrogeologischen Einheit zuzuordnen (Tab. 5.16).

Bei den Gesteinen handelt es sich um verschiedene unterdevonische Tonschiefer (z. B. Bunte Schiefer, Hunsrückschiefer) der Unterems- und Oberems-Stufe, in die unterdevonische Sandsteine und Metavulkaniklastite (metamorph überprägte vulkanische Tuffe) eingeschaltet sind. Untergeordnet treten auch unterdevonische Kalksteine auf.

Ähnlich wie die Tonschiefer des Vordertaunus, bilden auch die Tonschiefer des Hintertaunus meist nur gering durchlässige Kluftgrundwasserleiter. Eine Regionalisierung geohydraulischer Parameter anhand von Pumpversuchsdaten (KÄMMERER 1998) zeigt, dass die Brunnenleistungen im Verbreitungsbereich der devonischen Schiefer überwiegend in der Größenordnung $< 5 \text{ l/s}$ ($18 \text{ m}^3/\text{h}$) liegen und die Wasserförderung dabei häufig zu hohen Grund-

wasserabsenkungen führt. Typisch sind Brunnenleistungen von ca. $1\text{--}1,5 \text{ l/s}$ ($3,6\text{--}5,4 \text{ m}^3/\text{h}$). Wegen der großflächigen Verbreitung der Gesteine haben die in den Tonschiefern angelegten Brunnen für das Bearbeitungsgebiet dennoch die größte Bedeutung für die Trinkwasserversorgung in der Region.

Für die hydrochemisch als typisch für die Tonschiefer des Hintertaunus ausgewählte Quelle, den Grund-

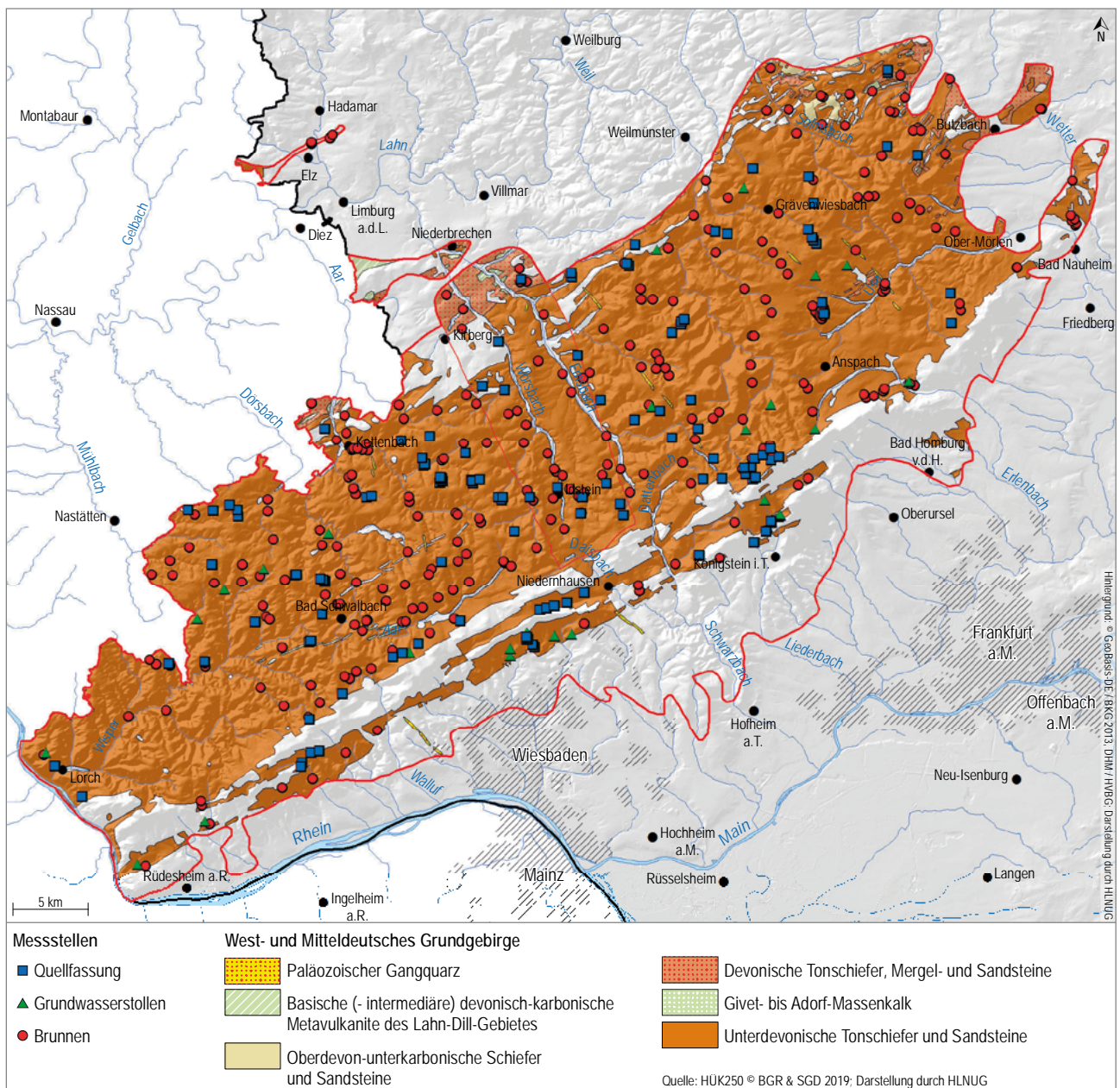


Abb. 5.35: Hydrogeologische Einheiten des Bearbeitungsgebietes, die als „Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus“ zusammengefasst wurden, mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Beschreibung genutzten 456 Messstellen 5_06

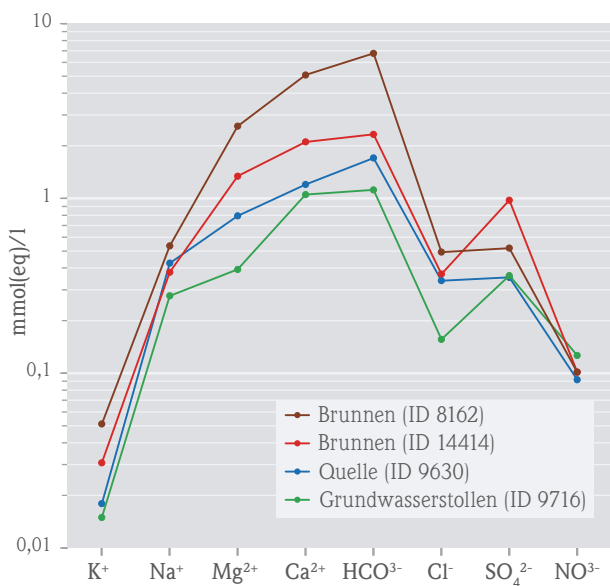


Abb. 5.36: Schoeller-Diagramm typischer Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

wasserstollen und den Brunnen ähneln sich die Kurvenverläufe des Schoeller-Diagramms (Abb. 5-34). Die Gesamtmineralisationen liegen, wie bereits bei den Grundwässern aus Tonschiefern des Vordertaunus, bei Werten < 300 mg/l (Tab. 5.19). Große Ähnlichkeiten zeigen sich für alle Grundwässer aus Tonschiefern auch bei den Wasserhärten. Die Grundwässer der Quelle und des Grundwasserstollens sind mit 5,6 °dH und 4,1 °dH als *weich* und die des Brunnen mit 9,7 °dH als *mittel* einzustufen. Die Sulfatkonzentration des Brunnenwassers liegt mit 47 mg/l deutlich über der des Grundwasserstollens und der Quelle (jeweils ca. 17 mg/l). Erläuterungen zur möglichen Entstehung der erhöhten Sulfatkonzentrationen folgen in Kapitel 5.6.4. Das Grundwasser des in Kalksteinen des Hintertaunus errichteten Brunnen ist mit ca. 610 mg/l höher mineralisiert als die Grundwässer aus Tonschiefern des Hintertaunus, verursacht durch erhöhte Konzentrationen der Härtebildner Calcium und Magnesium sowie Hydrogencarbonat. Die pH-Werte der betrachteten Grund-

Jeweils jüngste Analyse im Zeitraum: 01.01.1910–21.09.2018

Klassifikation nach Furtak & Langguth

Normal erdalkalisches Wasser

- a überwiegend hydrogencarbonatisch
- b hydrogencarbonatisch-sulfatisch
- c überwiegend sulfatisch

Erdalkalisches Wasser mit höherem Alkaligehalt

- d überwiegend hydrogencarbonatisch
- e überwiegend sulfatisch/überwiegend chloridisch

Alkalisches Wasser

- f überwiegend (hydrogen-)carbonatisch
- g überwiegend sulfatisch-chloridisch/überwiegend chloridisch

- Mst.-ID 8162 15.05.2018
- Mst.-ID 9630 05.07.2017
- Mst.-ID 9716 26.09.2017
- Mst.-ID 14414 07.03.2018

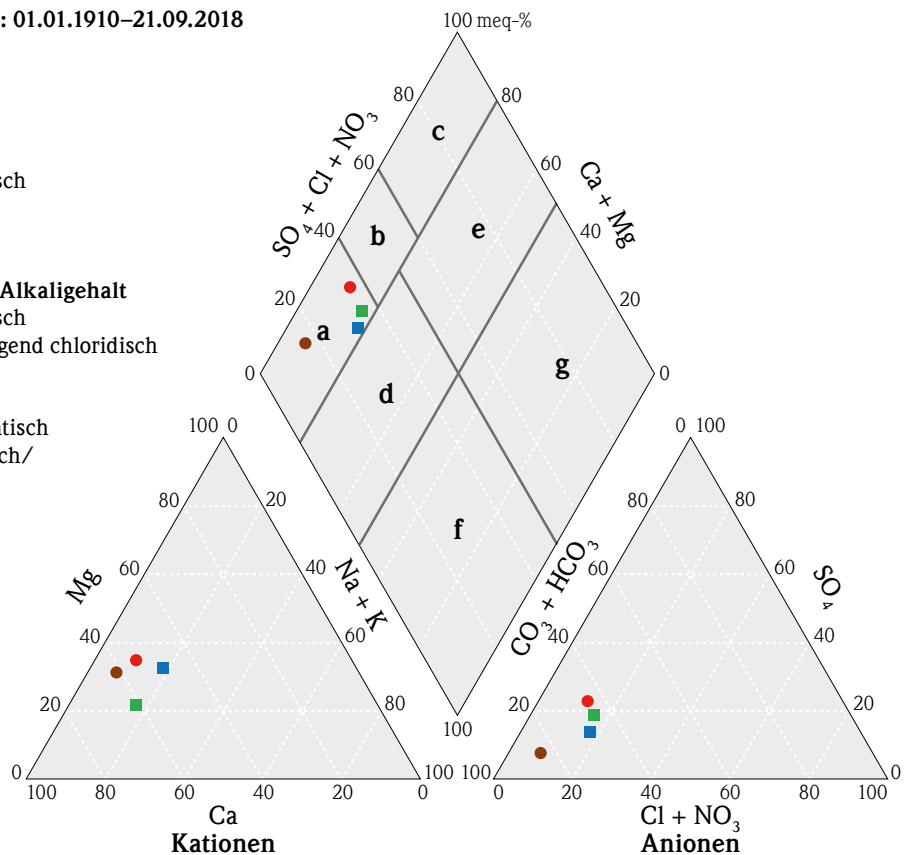


Abb. 5.37: Piper-Diagramm typischer Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Tab. 5.19: Wasseranalysen typischer Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus

Messstellenart	Hauptkationen und -anionen in mg/l									Härte		pH
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Summe	°dH	mmol/l	
Quellfassung (ID 9630)	1	9,8	9,7	24	104,0	12,0	17,0	5,7	183,0	5,6	0,999	7
Grundwasserstollen (ID 9716)	1	6,4	4,8	21	68,3	5,5	17,4	7,9	131,9	4,1	0,723	7
Brunnen Tonschiefer (ID 14414)	1	8,7	16,3	42	142,0	13,0	47,0	6,3	276,8	9,7	1,724	7
Brunnen Kalkstein (ID 8162)	2	12,0	31,5	102	413,0	18,0	25,0	6,3	609,6	22,0	3,841	7

wässer liegen mit Werten von 6,6 bis 7,2 im leicht sauren bis neutralen Bereich (Tab. 5.19).

Im Piper-Diagramm (Abb. 5.37) befinden sich die darstellenden Punkte aller Messstellenarten (Quelle, Grundwasserstollen und Brunnen) in dem darstellenden Feld (a) *normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch*. Durch einen erhöhten Hyd-

rogencarbonatanteil ist der darstellende Punkt des in Kalksteinen errichteten Brunnens innerhalb des Feldes (a) von den übrigen Wässern getrennt.

Nach LUDWIG (2013) dominiert für anthropogen unbelastete Grundwässer der Tonschiefer und Kalksteine des Hintertaunus der Ca-Mg-HCO₃-Typ. Dies entspricht der aktuellen Auswertung.

5.6.2.4 Grundwässer der Gebiete mit mächtigerer quartärer bzw. tertiärer Überdeckung

In Abb. 5.38 werden quartäre und tertiäre Sedimente bedeutender Mächtigkeit als hydrogeologische Einheit zusammengefasst. In der Regel handelt es sich um Talauensedimenten, die lokal begrenzte Porengrundwasserleiter mit guter Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit bilden.

Die Kurvenverläufe der drei als typisch für die Grundwässer quartärer und tertiärer Lockergesteine ausgewählten Messstellen ähneln sich (Abb. 5.39). Gegenüber den zuvor beschriebenen Grundwässern weisen die Wässer des Grundwasserstollens und

des Brunnens etwas höhere Natrium- und Chloridkonzentrationen auf. Die Gesamtmineralisationen liegen jeweils bei Werten > 300 mg/l (Tab. 5.20). Die Grundwässer der Quellfassung und des Brunnens liegen mit Wasserhärten von 13,6 °dH und 10,3 °dH im oberen Bereich der Härtestufe *mittel*. Das Wasser des Grundwasserstollens erreicht mit 15,8 °dH die Härtestufe *hart* (Grenze der Härtestufen *mittel* zu *hart* entspr. 14 °dH). Die pH-Werte der betrachteten Grundwässer liegen mit Werten von 6,6 bis 7,2 im leicht sauren bis neutralen Bereich.

Tab. 5.20: Wasseranalysen typischer Grundwässer quartärer und tertiärer Lockergesteine größerer Mächtigkeit

Messstellenart	Hauptkationen und -anionen in mg/l									Härte		pH
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Summe	°dH	mmol/l	
Quellfassung (ID 9076)	2	8	14,3	74	217	18	25	35	394,7	14	2,425	7
Grundwasserstollen (ID 10351)	2	26	14,1	90	226	54	39	29	479,9	16	2,826	7
Brunnen (ID 8790)	2	13	13,2	52	162	31	23	13	312,0	10	1,843	7

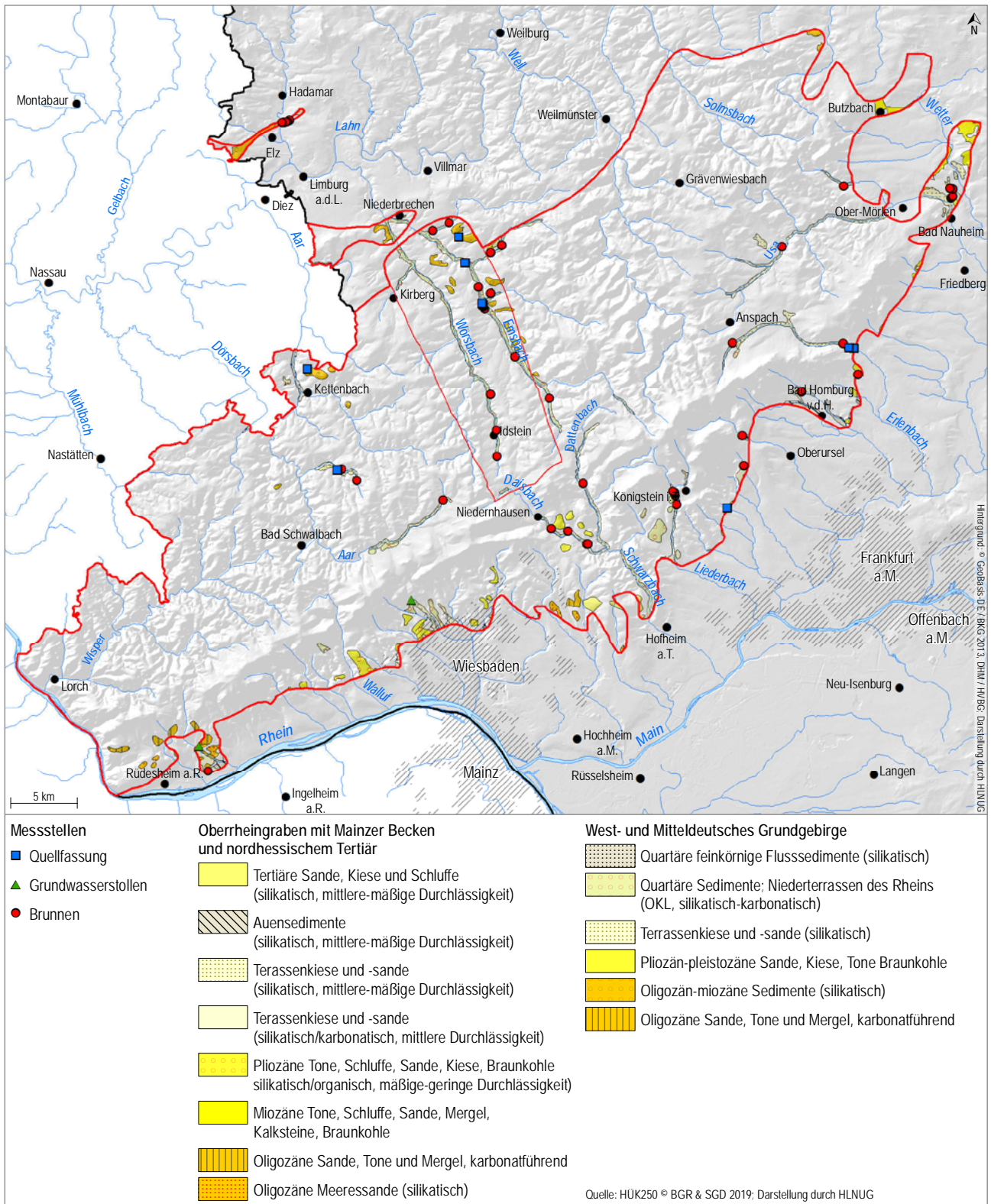


Abb. 5.38: Hydrogeologische Einheiten des Bearbeitungsgebietes, die als „quartäre und tertiäre Lockergesteine größerer Mächtigkeit“ zusammengefasst wurden, mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Beschreibung genutzten 70 Messstellen

Im Piper-Diagramm (Abb. 5.40) liegen die darstellenden Punkte aller drei Messstellenarten dicht beieinander, im Grenzbereich der darstellenden Felder (a) und (b) der Klassifikation nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Die Grundwässer des Brunnens und der Quelfassung sind als *normal erdalkalisch, überwiegend hydrogencarbonatisch* einzustufen, das des Grundwasserstollens als *normal erdalkalisch, hydrogencarbonatisch-sulfatisch*.

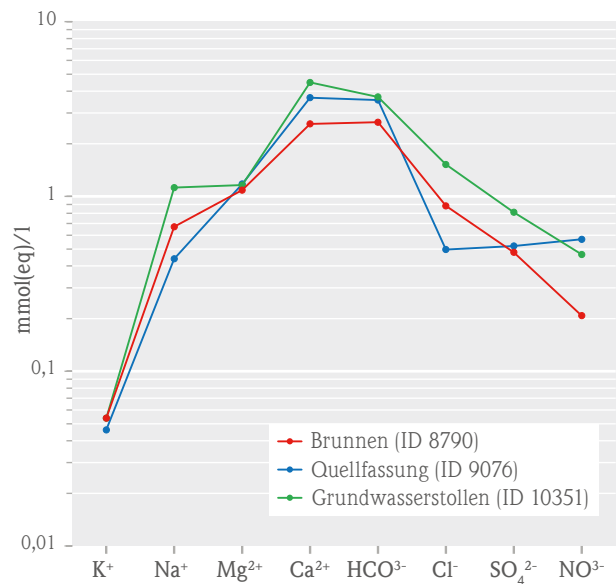


Abb. 5.39: Schoeller-Diagramm typischer Grundwässer quartärer und tertiärer Lockergesteine größerer Mächtigkeit für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

Jeweils jüngste Analyse im Zeitraum: 01.01.1910–21.09.2018

Klassifikation nach Furtak & Langguth

Normal erdalkalisches Wasser

- a überwiegend hydrogencarbonatisch
- b hydrogencarbonatisch-sulfatisch
- c überwiegend sulfatisch

Erdalkalisches Wasser mit höherem Alkaliegehalt

- d überwiegend hydrogencarbonatisch
- e überwiegend sulfatisch/überwiegend chloridisch

Alkalisches Wasser

- f überwiegend (hydrogen-)carbonatisch
- g überwiegend sulfatisch-chloridisch/
überwiegend chloridisch

- Mst.-ID 8790 04.12.2017
- Mst.-ID 9076 06.07.2017
- Mst.-ID 10351 05.12.2017

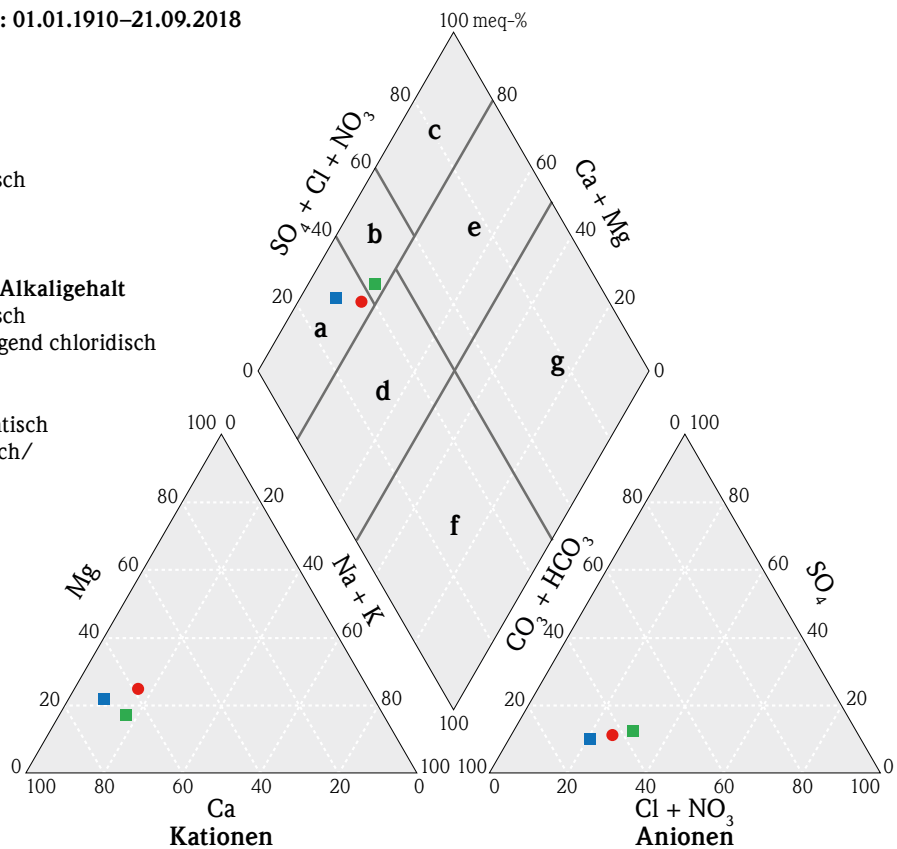


Abb. 5.40: Piper-Diagramm typischer Grundwässer quartärer und tertiärer Lockergesteine größerer Mächtigkeit für Quelfassungen, Grundwasserstollen und Brunnen

5.6.3 Grundwässer der Idsteiner Senke

Bei der Idsteiner Senke handelt es sich um eine geologische Grabensenke, die durch tektonische Dehnungsbrüche im Tertiär entstanden ist. Gegenüber dem umgebenden Teilraum „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ weisen die grundwasserleitenden Gesteine der Idsteiner Senke höhere geohydraulische Durchlässigkeiten und Speicherfähigkeiten auf, insbesondere an den Grabenflanken. Im nordöstlichen Bereich der Senke, um die Ortschaften Nieder- und Oberselters, erreichen Mineralwässer durch CO_2 -Gaslift entlang tektoni-

scher Störungszonen die Erdoberfläche (Kap. 5.4 Mineral- und Thermalwasservorkommen). Hydrochemisch sind die Grundwässer der Idsteiner Senke zum Teil deutlich durch quartäre Löß- und Lößlehmbedeckungen geprägt. Die kalkhaltigen Lockersedimente führen zu einer Aufhärtung des Grundwassers. Der Name „Goldener Grund“ bezeichnet den nördlichen Teil der Idsteiner Senke und weist auf die gelbliche Farbe der lößhaltigen Böden und damit verbunden, auf gute landwirtschaftliche Erträge hin.

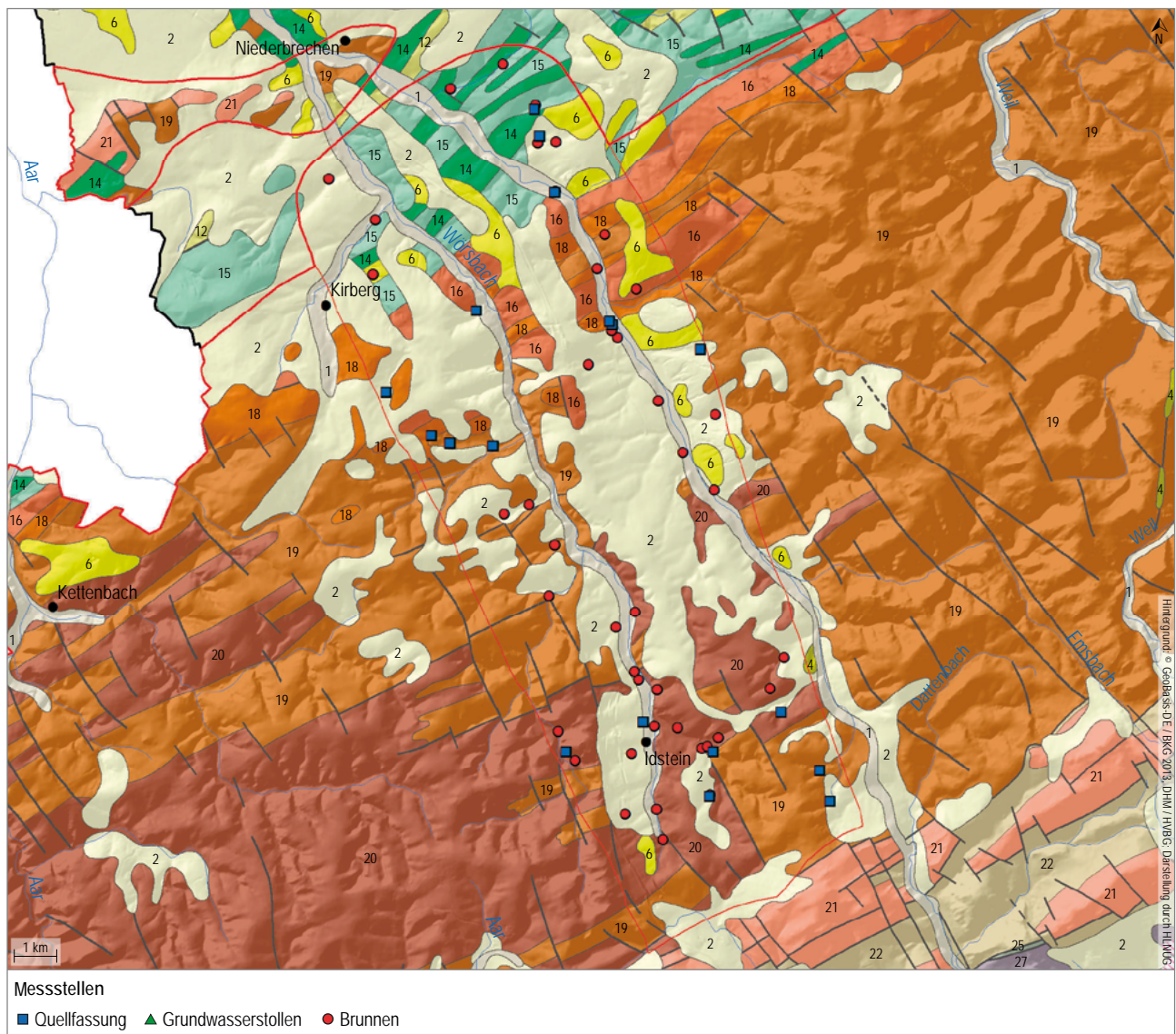


Abb. 5.41: Ausschnitt der geologischen Übersichtskarte (GÜK 300, HLNUG 2007) mit Lagepunkten der zur hydrochemischen Beschreibung genutzten 62 Messstellen innerhalb der rot umrandeten Idsteiner Senke (Legende siehe Abb. 4.1)

Tab. 5.21: Spannweiten der Ionenkonzentration der Grundwässer der Idsteiner Senke

Messstellenart	Hauptkationen und -anionen in mg/l									Härte		pH
	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Summe	°dH	mmol/l	
Quellfassungen	0,8–5,2	5,0–22,0	3,0–25,7	9,0–128,0	14,0–353,0	5,0–140,0	6,8–64,0	7,7–41,5	72,0–642,4	2,0–23,8	0,348–4,251	5,0–8,6
Brunnen	0,4–21,0	4,0–55,7	4,6–40,9	17,0–133,0	35,4–412,0	6,1–109,0	4,5–124,0	0,7–65,0	103,1–854,7	3,6–27,4	0,646–4,882	6,0–7,6

Innerhalb der in Abb. 5.41 dargestellten Idsteiner Senke treten Gesteine der bereits hydrochemisch beschriebenen „Tonschiefer des Hintertaunus“, der „Sandsteine und Quarzite des Taunuskamms und des Hintertaunus“ und der „quartären und tertiären Lockergesteine größerer Mächtigkeit“ auf. Auf eine wiederholte Darstellung der Schoeller- und Piperdiagramme typischer Grundwässer der verschiedenen Messstellenarten wird daher für die Idsteiner Senke verzichtet. Bei der in Kap. 5.6.4 folgenden Betrachtung der flächenhaften Verteilung hydrochemischer Parameter, tritt die Idsteiner Senke insbesondere durch erhöhte Gesamthärten und Hydrogencarbonat-Konzentrationen hervor. Abbildung 5.41 zeigt einen Ausschnitt der geologischen Karte und nicht der abgedeckten Karte hydrogeologischer Einheiten

(siehe Abb. 5.35), um die Verbreitungsbereiche des quartären Löß-/Lößlehms darzustellen. Die in Tab. 5.21 aufgeführten Spannweiten der Ionenkonzentrationen für die 62 in die Auswertung einbezogenen Wasseranalysen aus dem Gebiet der Idsteiner Senke verdeutlichen jedoch, dass nicht alle Grundwässer durch kalkhaltigen Löß geprägt sind.

Nach LUDWIG (2013) sind anthropogen unbelastete Grundwässer der Idsteiner Senke überwiegend dem Ca-Mg-HCO₃-(SO₄)-Typ zuzuordnen. Wie zu erwarten war, entspricht dies der Einstufung für die Grundwässer der Tonschiefer des Hintertaunus, in deren Verbreitungsbereich große Teile der Idsteiner Senke liegen.

5.6.4 Flächenhafte Betrachtung der Verteilung der pH-Werte, Hydrogencarbonat-Konzentrationen, Gesamthärten, Nitrat- und Sulfat-Konzentrationen

Zur Bewertung der flächenhaften Verteilung hydrochemischer Parameter wurden auf Grundlage der für das Bearbeitungsgebiet zur Verfügung stehenden 695 Wasseranalysen Interpolationskarten der pH-Werte, Hydrogencarbonat-Konzentrationen, Gesamthärten sowie Nitrat- und Sulfat-Konzentrationen erstellt. Zur Interpolation wurde das in der Software ArcGIS 10.4.1 der Firma ESRI implementierte geostatistische Verfahren „Kriging“ (KRIGE 1951) verwendet. Um die regional unterschiedlichen Aussagekraft der Interpolationskarten abschätzen zu können, die wesentlich von der Messpunktdichte abhängt, werden in den Interpolationskarten auch die Messpunkte und die jeweiligen Messwerte (mittels Farbskalen) dargestellt. Die beiden kleinen Teilbereiche „Hadamarer Unterdevon“ und „Niederbrechener Unterdevon“ im Nordwesten des Bearbeitungsgebietes wurden aufgrund der zur Interpolation unzureichenden hydrochemischen Datenlage von den Interpolationsrechnungen ausge-

schlossen. Zur Verdeutlichung der jeweiligen statistischen Parameterverteilung werden die Histogramme der verwendeten Datensätze mit dargestellt.

Die pH-Werte der ausgewerteten Grundwasseranalysen des gesamten Bearbeitungsgebietes liegen zum größten Teil (ca. 93 %) zwischen pH 5,5 und 7,5 (Abb. 5.41). Der mittlere pH-Wert liegt im leicht sauren Bereich bei pH 6,6. Bei Betrachtung der flächenhaften Verteilung (Abb. 5.42) zeichnet sich insbesondere der Verlauf des Taunuskamms mit niedrigen pH-Werten deutlich ab. Begründet ist dies durch die Auswirkungen saurer Depositionen auf die Grundwasserbeschaffenheit. Die Sandsteine und Quarzite des Taunuskamms können aufgrund ihrer petrographischen Zusammensetzung (überwiegend Quarzminerale) nur wenig zur Pufferung beitragen (KÄMMERER 1998). Grundwässer im Bereich der Höhenlagen um den Großen und Kleinen Feldberg im Taunus zeigen

die niedrigsten pH-Werte. Die Grundwässer der Tonschiefer der Vorder- und Hintertaunus weisen meist pH-Wert $> 6,5$ auf.

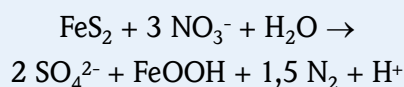
Bei der flächenhaften Verteilung der Hydrogencarbonat-Konzentrationen der Grundwässer des Taunus (Abb. 5.44) zeichnet sich insbesondere die Idsteiner Senke durch (relativ) erhöhte Hydrogencarbonat-Konzentrationen von der Umgebung ab. Wie bereits in Kap. 5.6.3 erläutert wurde, ist dies durch die Verbreitung von kalkhaltigem Löß- und Lößlehm in Teilbereichen der Senke begründet. Die vergleichsweise gering mineralisierten Grundwässer des Taunuskamms und der Sandstein-/Quarzitzüge des Hintertaunus weisen die geringsten Hydrogencarbonat-Konzentrationen des Bearbeitungsgebietes auf. Nach MATTHESS (1994) liegen die Hydrogencarbonat-Konzentrationen von Grundwässern meist im Bereich von ca. 50–400 mg/l. Das Histogramm von Abb. 5.45 verdeutlicht, dass im Taunus auch die Klasse der Hydrogencarbonat-Konzentrationen < 50 mg/l (ca. 26 % der betrachteten Grundwässer) von Bedeutung ist. Im Mittel liegt die Hydrogencarbonat-Konzentration der Grundwässer bei ca. 136 mg/l und ca. 86 % der Wässer weisen Konzentrationen < 250 mg/l auf.

Die flächenhafte Verteilung der Gesamthärten (Abb. 5.46) zeigt für die Grundwässer des Taunus besonders markante geogen geprägte Unterschiede, insbesondere zwischen Idsteiner Senke und Taunuskamm. Die Lößverbreitung im Bereich der Idsteiner Senke verursacht mittlere bis hohe Wasserhärten. Die lösungsarmen Grundwässer des Taunuskamms sind überwiegend weich. Das Histogramm der Gesamthärten (Abb. 5.47) verdeutlicht die große Bedeutung weicher Grundwässer für das Bearbeitungsgebiet. Ca. 60 % der betrachteten Grundwässer des Taunus sind mit Gesamthärten $\leq 8,4$ °dH als „weich“ einzustufen, ca. 22 % der Wässer liegen mit Gesamthärten $> 8,4$ °dH und ≤ 14 °dH in der Härteklasse „mittel“ und ca. 18 % der Wässer sind mit Gesamthärten > 14 °dH als „hart“ zu bezeichnen (Einstufung gemäß WRMG 2007).

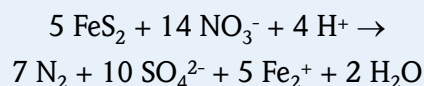
Für die Grundwässer des gesamten Bearbeitungsgebietes sind flächenhaft vergleichsweise geringe Nitratkonzentrationen festzustellen, der Mittelwert aller einbezogenen Wasseranalysen liegt bei ca. 11 mg/l NO_3 (Abb. 5.48). Nur ca. 1,6 % der untersuchten Wässer weisen Nitratkonzentrationen > 50 mg/l auf

(Grenzwert Trinkwasserverordnung, TrinkwV 2018, Abb. 5.49). Für etwa 65 % der betrachteten Grundwässer des Taunus liegen die Nitrat-Konzentrationen bei Werten < 10 mg/l, einem Konzentrationsbereich, der allgemein als anthropogen unbeeinflusst eingestuft wird (KUNKEL et al. 2004). Dazu ist anzumerken, dass insbesondere in den Grundwasserleitern der Tonschiefer häufiger Milieubedingungen vorherrschen, die zu einer Denitrifikation führen können (siehe nachfolgende Beschreibung der flächenhaften Sulfat-Verteilung). Kleinere Flächen mit höheren Nitrat-Konzentrationen befinden sich in landwirtschaftlich intensiver genutzten Gebieten (vergl. Abb. 2.5 zur Flächennutzung, Kap. 2).

Nach MATTHESS (1994) liegen die Sulfat-Konzentrationen von anthropogen unbelasteten Grundwässern meist unter 30 mg/l. Höhere Konzentrationen werden nur in Wässern erreicht, deren Grundwasserleiter Gips oder Sulfide enthalten. Von den betrachteten Grundwässern des Taunus weisen nur ca. 69 % Sulfatkonzentrationen ≤ 30 mg/l auf (Abb. 5.51). Bei Betrachtung der flächenhaften Sulfat-Verteilung zeigt sich, dass die Konzentrationen im Verbreitungsbereich der Gesteine des Taunuskamms häufig < 10 mg/l SO_4 liegen (Abb. 5.50). Im Bereich der Tonschiefer des Vorder- und Hintertaunus werden jedoch vielfach Sulfat-Konzentrationen deutlich > 30 mg/l erreicht. Diese Gesteine enthalten teilweise Eisensulfide (z. B. FeS_2 „Pyrit“). In Grundwasserleitern, die Metallsulfide führen, können Prozesse der Denitrifikation bei gleichzeitiger Sulfatbildung entsprechend der nachfolgenden Gleichungen ablaufen (HLNUG 2018).



und/oder



Für den Ablauf der beschriebenen Denitrifikationsprozesse sprechen die teilweise deutlich erhöhten Eisenkonzentrationen der Taunus-Grundwässer. Etwa 15 % der Wässer erreichen Eisen-Konzentrationen > 1 mg/l. In sauerstoffhaltigen Grundwässern ist Eisen im Regelfall nicht oder nur in Spuren nachweisbar.

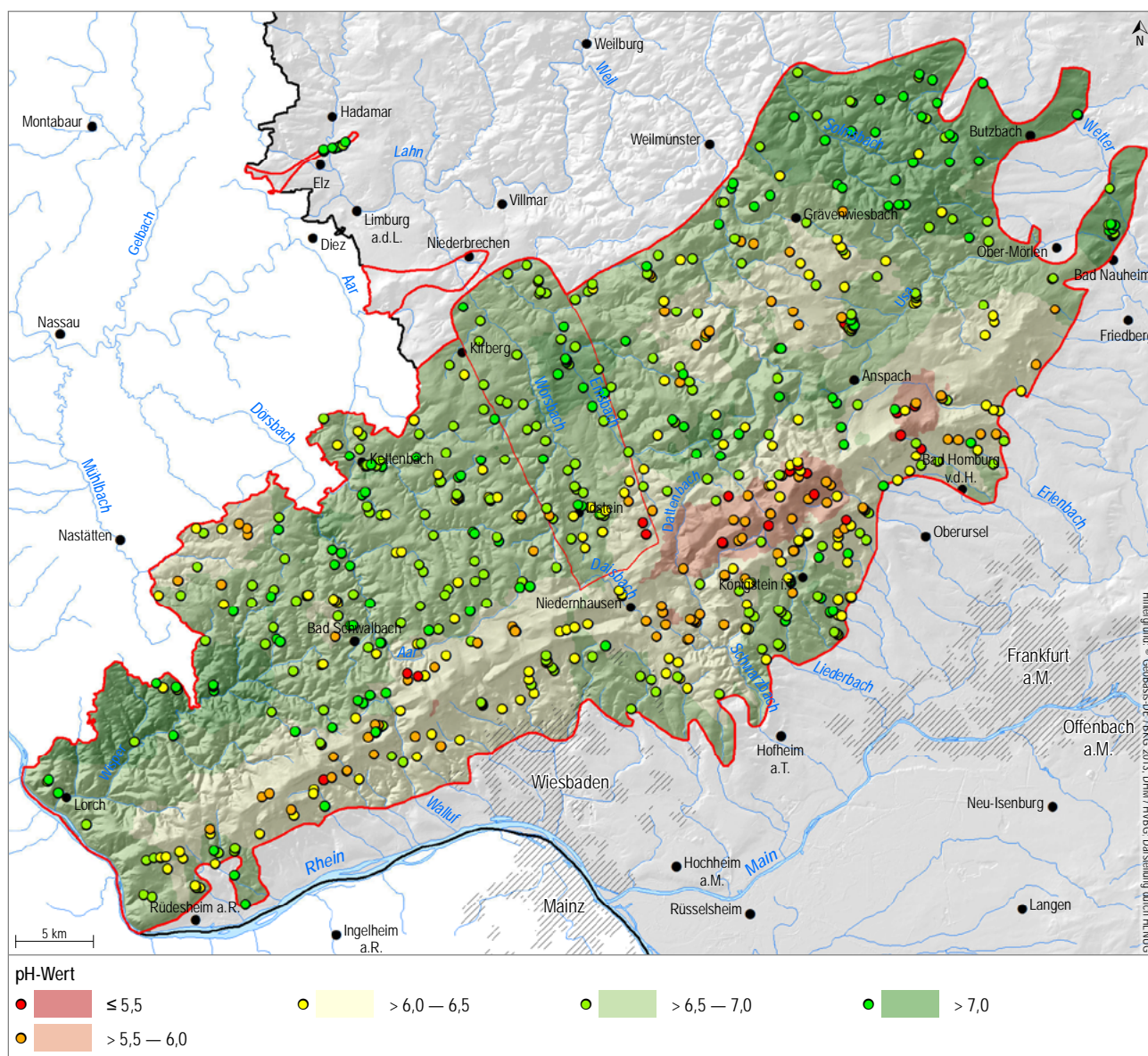


Abb. 5.42: Flächenhafte Verteilung der pH-Werte, 695 Wasseranalysen

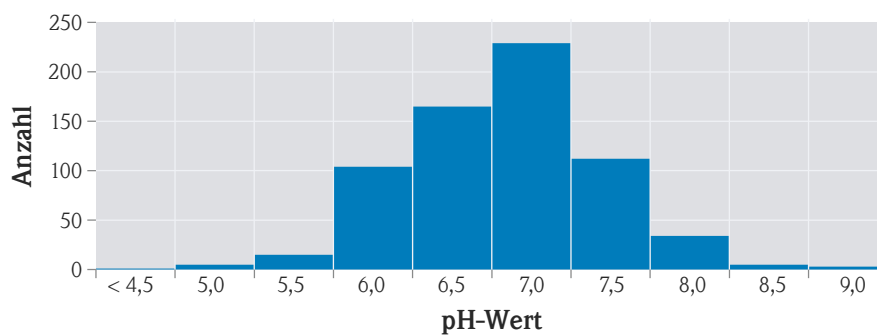


Abb. 5.43: Histogramm der pH-Werte (Zahlenangaben bezeichnen jeweils die Klassenobergrenzen), 695 Wasseranalysen

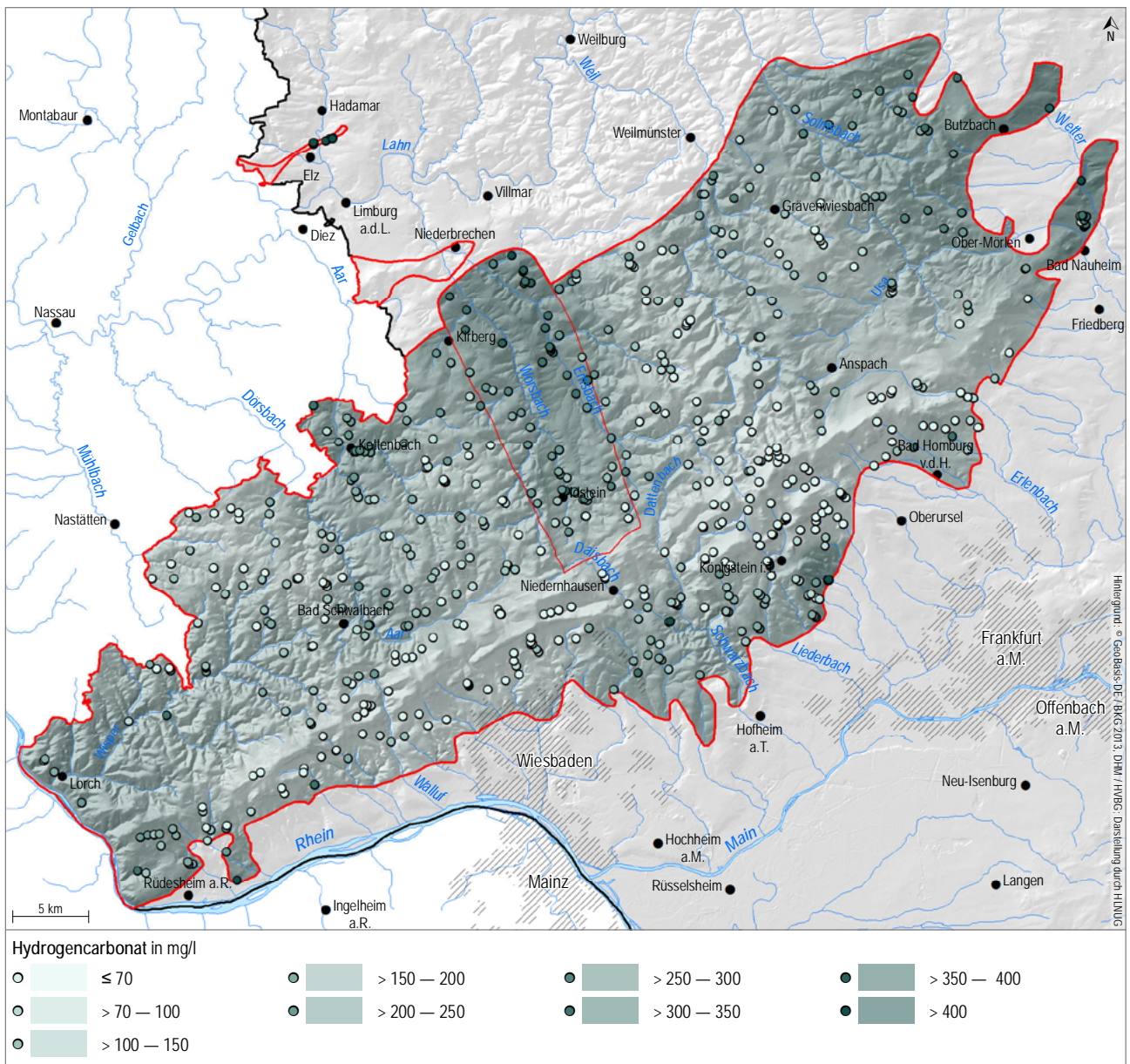


Abb. 5.44: Flächenhafte Verteilung der Hydrogencarbonat-Konzentrationen, 695 Wasseranalyse

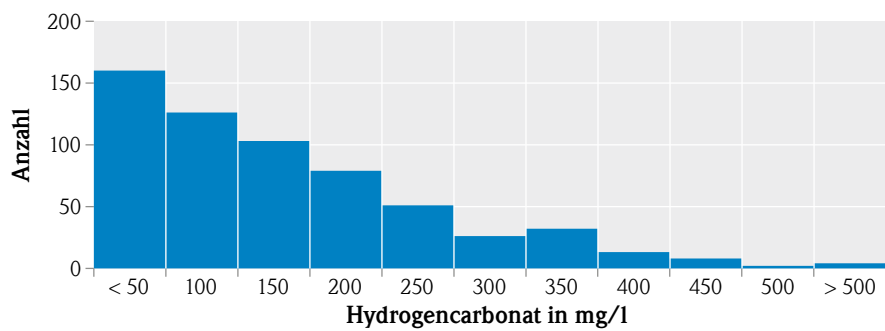


Abb. 5.45: Histogramm der Hydrogencarbonat-Konzentrationen (Zahlenangaben bezeichnen jeweils die Klassenobergrenzen), 695 Wasseranalysen

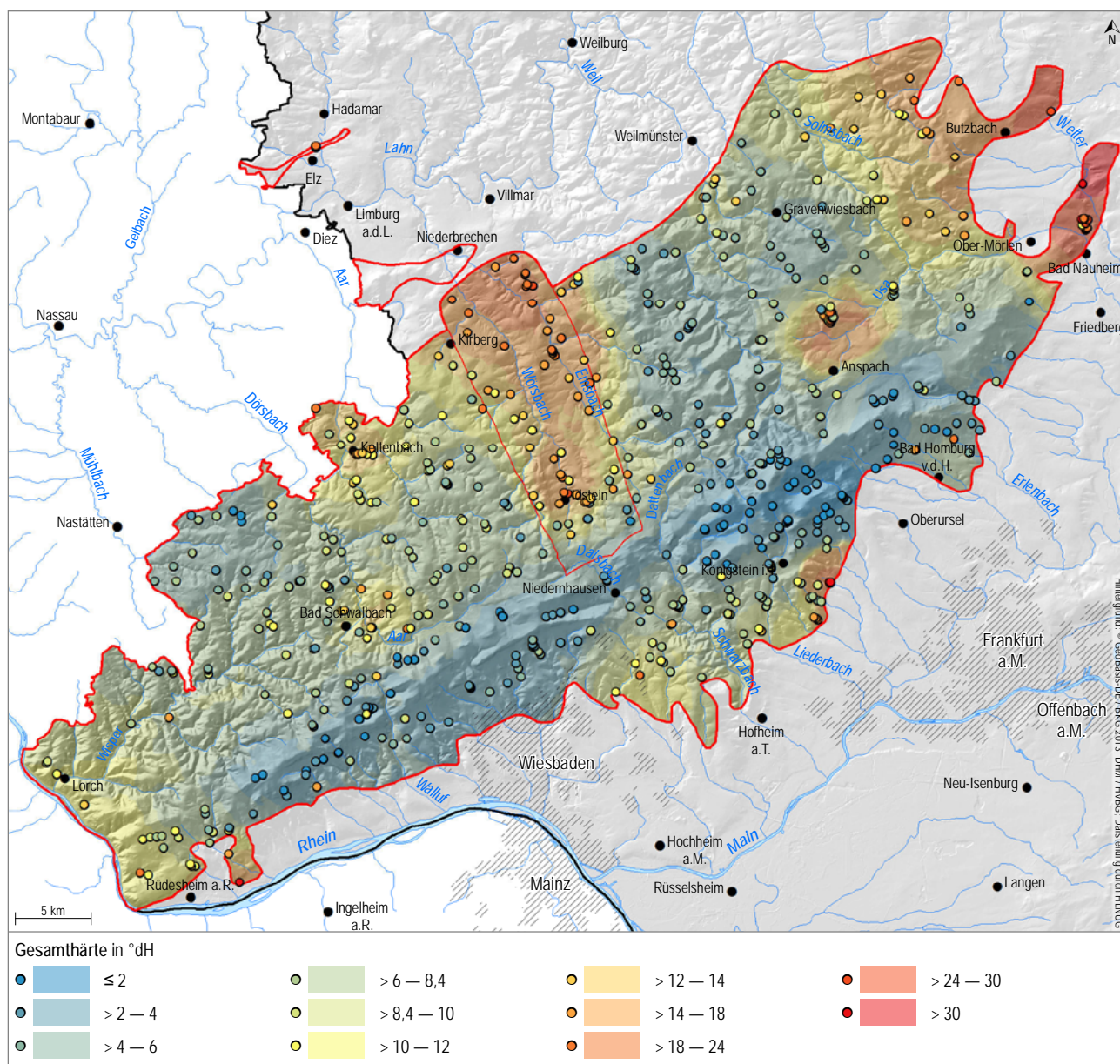


Abb. 5.46: Flächenhafte Verteilung der Gesamthärten (°dH), 695 Wasseranalysen

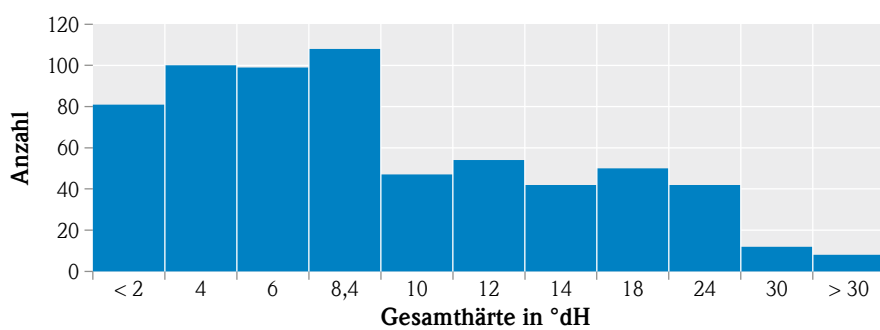


Abb. 5.47: Histogramm der Gesamthärten (Zahlenangaben bezeichnen jeweils die Klassenobergrenzen), 695 Wasseranalysen

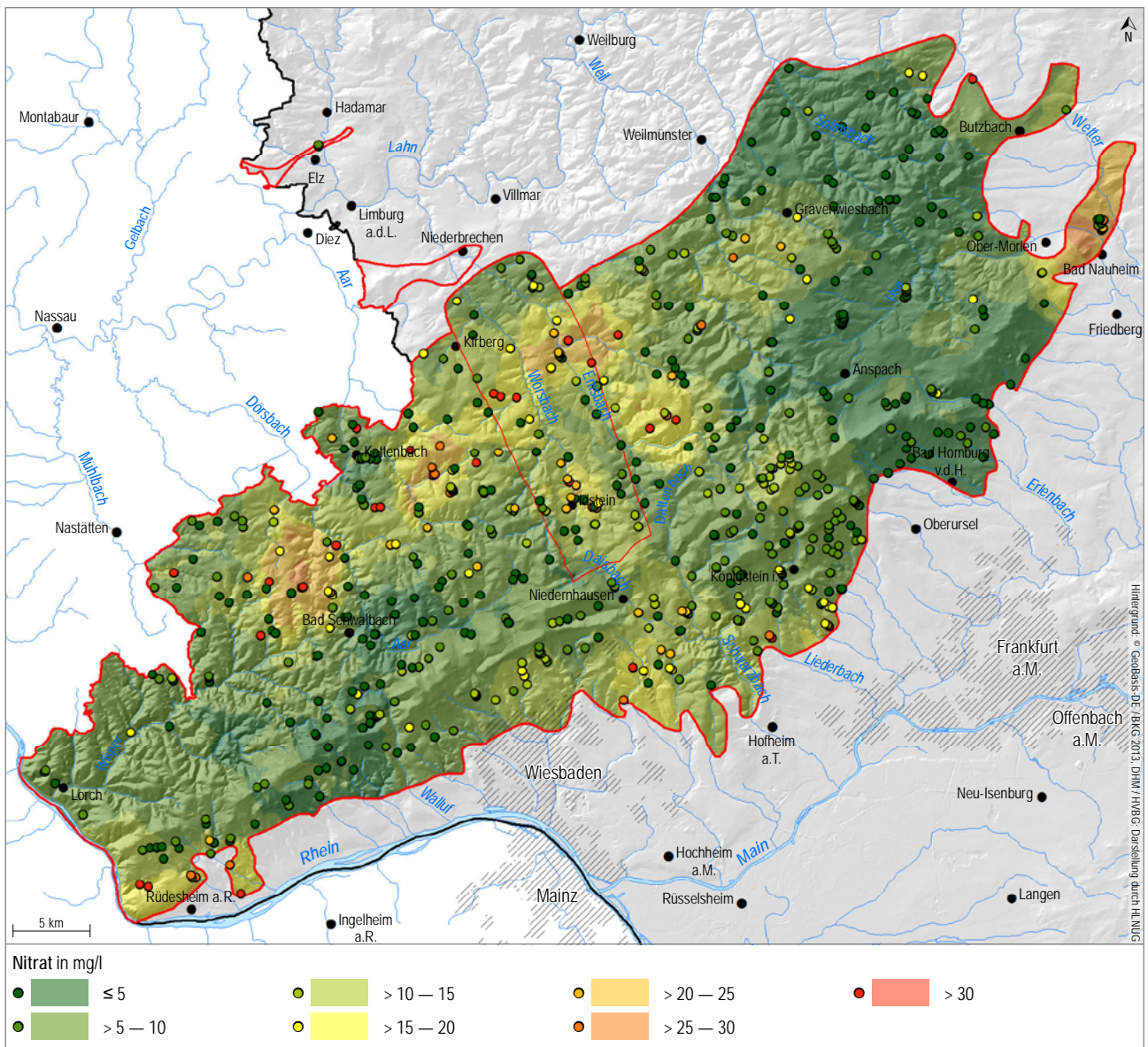


Abb. 5.48: Flächenhafte Verteilung der Nitrat-Konzentrationen, 695 Wasseranalysen

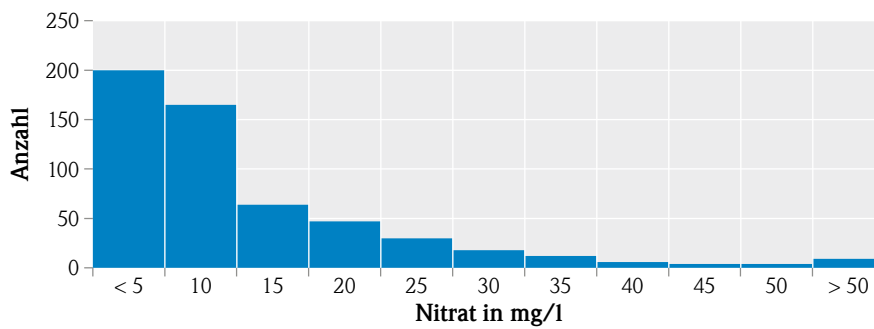


Abb. 5.49: Histogramm der Nitrat-Konzentrationen (Zahlenangaben bezeichnen jeweils die Klassenobergrenzen), 695 Wasseranalysen

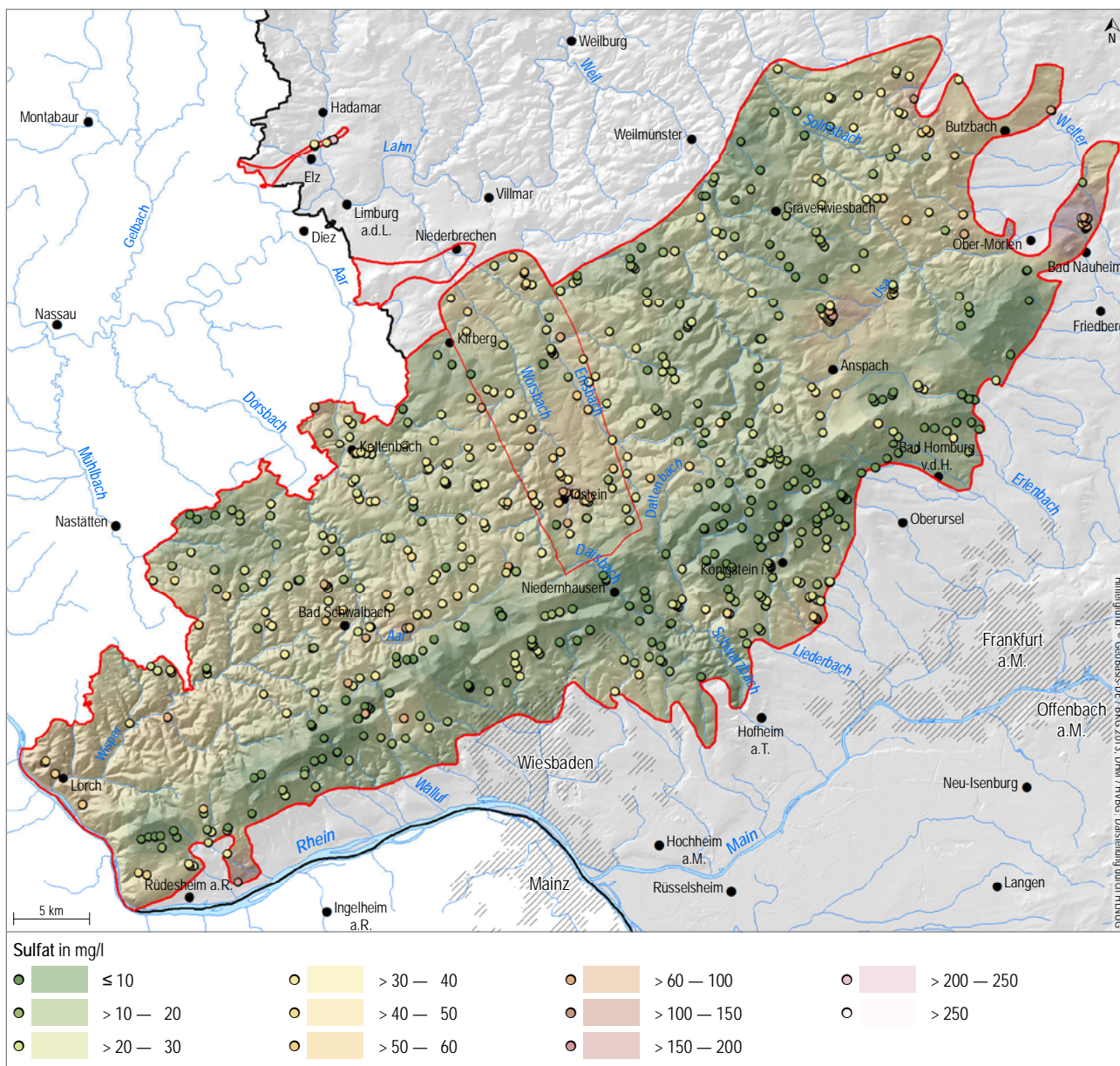


Abb. 5.50: Flächenhafte Verteilung der Sulfat-Konzentrationen, 695 Wasseranalysen

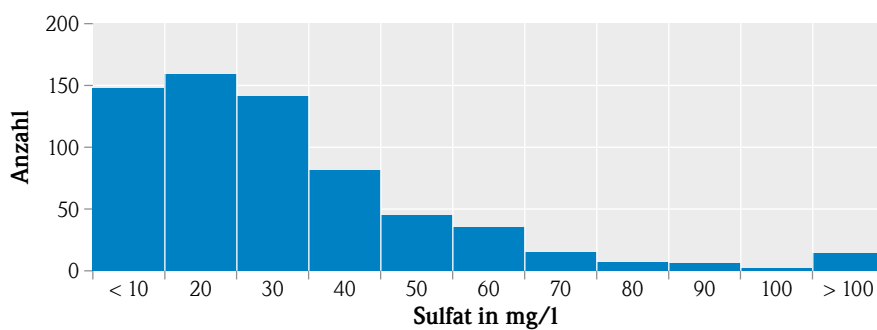


Abb. 5.51: Histogramm der Sulfat-Konzentrationen (Zahlenangaben bezeichnen jeweils die Klassenobergrenzen), 695 Wasseranalysen

6 Grundwasserbewirtschaftung

6.1 Grundwassererschließung und Grundwassergewinnung

Die Grundwasserentnahme zum Zwecke der Trink- und Brauchwassernutzung erfolgt im Taunus und in der Idsteiner Senke im Wesentlichen aus Brunnen (Abb. 6.1). Zahlenmäßig untergeordnet werden auch Quelfassungen und die in Kap. 5.3.4 beschriebenen Grundwasserstollen genutzt.

Die Entnahmen pro Brunnen sind aufgrund der häufig nur niedrigen hydraulischen Durchlässigkeit, des wenig verbundenen Kluftnetzes und des schlechten Speichervermögens des Gesteins oft gering. Sie liegen im Mittel bei etwa 55 000 m³/a. Ergiebiger Gewinnungsanlagen mit Jahresentnahmen von mehr als 200 000 m³/a sind vor allem im Bereich des Tau-

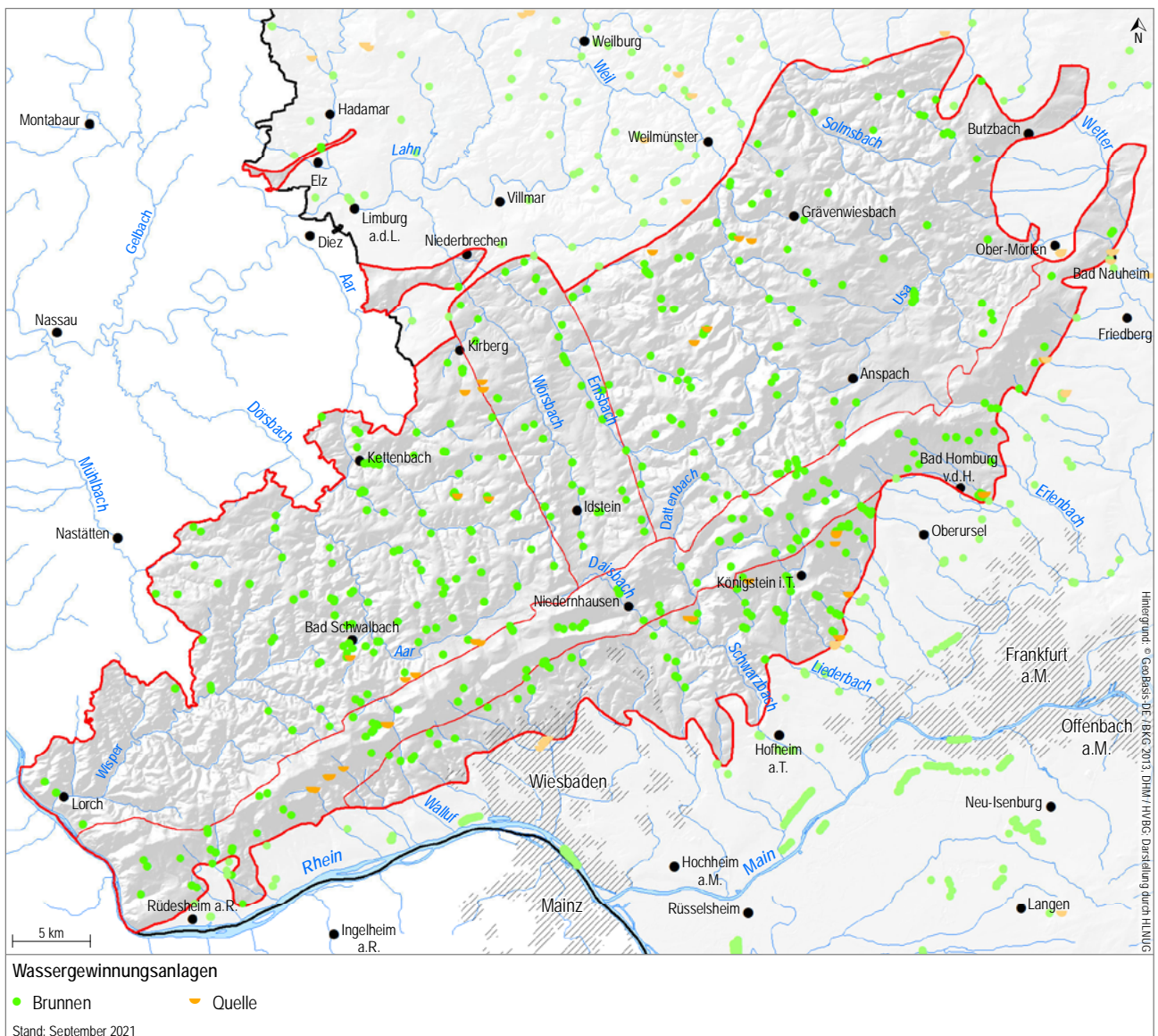


Abb. 6.1: Lage und Art der Grundwasserentnahmen

nuskamms zu finden. Auch in der Idsteiner Senke ist der Anteil des nutzbaren Grundwassers als moderat zu beschreiben. Die geringsten Fördermengen finden sich im Bereich des tonsteindominierten Hintertaunus. Anstatt auf größere Wasserwerke, die mit weni-

gen Brunnen auch mehrere Gemeinden gemeinsam versorgen können, muss hier auf eine Vielzahl von Einzelanlagen mit nur geringen Förderraten zurückgegriffen werden.

6.2 Wasserschutzgebiete

6.2.1 Trinkwasserschutzgebiete

Die Festsetzung von Trinkwasserschutzgebieten mit den jeweiligen Wasserschutzgebietsverordnungen stellt ein klassisches Instrument des vorsorgenden Grundwasserschutzes in den Einzugsgebieten der öffentlichen Wassergewinnungsanlagen dar. Die Wasserschutzgebietsverordnungen regeln durch Ver- und Gebote in den einzelnen Schutzzonen der Trinkwasserschutzgebiete die Einschränkungen und Verbote bestimmter Handlungen und Nutzungen. So kann z. B. die Ausbringung von Stickstoffdüngern und Pflanzenschutzmitteln auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen restriktiver geregelt und dadurch der Eintrag in das Grundwasser verhindert oder minimiert werden.

Ein Trinkwasserschutzgebiet umfasst üblicherweise das gesamte unterirdische Einzugsgebiet einer Wassergewinnungsanlage. Da die Gefahr schädigender Einflüsse mit der Annäherung an den Fassungsbe- reich zunimmt, werden in der Regel drei Schutz- zonen (I, II und III) unterschieden, in denen die Schutzanforderungen von der weiteren Schutzzone

(Zone III) über die engere Schutzzone (Zone II) zum Fassungsbe- reich (Zone I) hin ansteigen.

Die Schutzzonen werden gemäß des in Hessen verbindlich eingeführten DVGW-Arbeitsblattes W 101 (2021) in einem Schutzgebietsgutachten vorgeschla- gen. Dabei erfolgt die Beurteilung auf Grundlage einer konzeptionellen Beschreibung der hydrogeo- logischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Wassergewin- nungsanlage sowie unter Berücksichtigung der vor- liegenden Betriebsdaten. Eine Modellierung der Grundwasserströmung kann bei ausreichender Messstellendichte als zusätzliche Entscheidungshil- fe eingesetzt werden, insbesondere bei Porengrund- wasserleitern.

Die wasserrechtlich verbindliche Festsetzung von Trinkwasserschutzgebieten erfolgt durch die Oberen Wasserbehörden der hessischen Regierungspräsidien. Dabei bilden die hydrogeologischen Schutzgebiets- gutachten die wesentliche fachliche Grundlage.

Zone I (Fassungsbereich)

Die Zone I umfasst den unmittelbaren Nahbereich der Wassergewinnungsanlage. Sie soll gewährleisten, dass das Grundwasser vor jeglichen Verunreinigungen und Beeinträchtigungen geschützt wird. Der Fassungsbereich ist daher durch eine Einzäunung vor unbefugtem Betreten zu sichern. Nach dem DVGW- Arbeitsblatt W 101 (2021) soll die Ausdehnung der

Zone I bei Brunnen in der Regel allseits mindestens 10 m und bei Quelfassungen in Richtung des zuströ- menden Grundwassers mindestens 20 m betragen. In der Zone I sind nur Flächennutzungen zugelassen, die zum Betrieb der Wassergewinnungsanlage not- wendig sind.

Zone II (Engere Schutzzone)

Die Zone II soll den Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier) gewährleisten, die bei geringer Fließdauer und -strecke zur Wassergewinnungsanlage zu einer Verunrei-

nigung des Grundwassers führen können. Daher soll die Zone II den Bereich der Umgebung der Wassergewinnungsanlage abdecken, in dem die Fließzeit des Grundwassers 50 Tage oder weniger bis zum Erreichen der Fassung beträgt.

Zone III (Weitere Schutzzone)

Die Zone III soll den Schutz des Grundwassers vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen oder radioaktiven Verunreinigungen gewährleisten. In der Regel umfasst die Zone III das gesamte unterirdische Einzugsgebiet der Wassergewinnungsanlage.

Bei sehr großen Einzugsgebieten kann die Zone III in eine Zone IIIA und eine Zone IIIB aufgeteilt werden, wobei in der Zone IIIB die Anforderungen an den vorsorgenden Grundwasserschutz herabgesetzt werden können.

6.2.1.1 Nitratklassen

Die in Hessen zur Trinkwassernutzung geförderten Grundwässer haben teilweise erhöhte Nitrat-Konzentrationen, die zum überwiegenden Teil durch die landwirtschaftliche Flächennutzung im Einzugsgebiet der jeweiligen Wassergewinnungsanlage bedingt sind. Nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2018) liegt der Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser bei 50 mg/l. Wasser, das den Grenzwert überschreitet, darf nicht als Trinkwasser genutzt werden. Um einen Anstieg der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser, das zur Trinkwassergewinnung genutzt wird, zu verhindern bzw. eine Trendumkehr zu erreichen, sind in den entsprechenden Wasserschutzgebieten Maßnahmen umzusetzen. Die Art der Maßnahmen hängt auch von der Höhe der Nitrat-Konzentrationen ab. Dabei werden drei Klassen unterschieden:

Klasse A

Nitrat-Konzentration im Rohwasser < 15 mg/l

Klasse B

Nitrat-Konzentration im Rohwasser 15–25 mg/l

Klasse C

Nitrat-Konzentration im Rohwasser > 25 mg/l

Entsprechend der Einstufung gelten mehr oder weniger strenge Auflagen für die landwirtschaftliche Landnutzung. In der ganz überwiegenden Zahl der Wasserschutzgebiete, die zur Klasse C gehören, gehen der Wasserversorger und die im Wasserschutzgebiet wirtschaftenden Landwirte eine Kooperation ein. In dieser werden schlagbezogene Maßnahmen zur Reduktion des Nitrat-Eintrags ins Grundwasser festgelegt. Im Frühjahr und im Herbst werden dabei u. a. die N_{\min} -Gehalte im Boden analysiert. Auf dieser Basis erfolgt eine standort- und pflanzenbezogene Düngung, die einen Austrag von Nitrat in das Grundwasser weitgehend minimieren soll.

6.2.2 Heilquellenschutzgebiete

Heilquellenschutzgebiete sollen den quantitativen und qualitativen Schutz der Heilquellen, mit ihren erschlossenen oder natürlich zutage tretenden Grundwässern, gewährleisten.

Der quantitative Schutz soll sicherstellen, dass das Fließsystem, die Ergiebigkeit und die natürlichen Konzentrationen des Heilwassers nicht beeinträchtigt werden. Dabei werden eine innere Zone (Zone A) und eine äußere Zone (Zone B) unterschieden. Nach

Bildungstypen

Nach den LAWA-Richtlinien (1998) werden Heilquellen in Abhängigkeit von der Größe des Bildungsgebietes, der Tiefe und Überdeckung des Heilwasser-Fließsystems, der mittleren Verweilzeit des Heilwassers im Untergrund, dem Nachweis von Tritium und der Temperatur der Heilwässer in drei verschiedenen Bildungstypen unterteilt.

Zwischen den Bildungstypen kann es Übergänge geben, so dass sich einzelne Heilquellen nicht eindeutig einem Bildungstyp zuordnen lassen. In diesen Fällen sind besondere Aussagen zur Abgrenzung der Schutzzonen und zu den Schutzmaßnahmen zu treffen.

Bildungstyp 1

weist ein sehr großes Bildungsgebiet mit Abstandsweiten der äußeren Einzugsgebietsgrenzen über 10 km und einem über 500 m in die Tiefe reichenden Heilwasser-Fließsystem auf. Seine Überdeckung gewährleistet ein von anderen Fließsystemen unbeeinträchtigt Strömen in den Formationswasserleitern. Die mittlere Verweilzeit im Untergrund beträgt 50 Jahre und mehr. Die Temperaturen der Heilwässer sind im Vergleich zu üblichen Grundwässern deutlich erhöht. Das Wasser ist Tritium-frei.

Bildungstyp 2

stammt aus einem großen Bildungsgebiet mit Abstandsweiten der äußeren Einzugsgebietsgrenzen von mehreren Kilometern bis zum Heilquellenaustritt. Das Heilwasser-Fließsystem liegt in Tiefen bis max. 500 m und ist gekennzeichnet durch mittlere Verweilzeiten um ca. 50 Jahre. Anteilig können ge-

den LAWA-Richtlinien (1998) sind für alle Heilquellenschutzgebiete beide Zonen auszuweisen.

Der qualitative Schutz soll eine chemische und hygienische Verunreinigung verhindern. Die Schutzzonen unterteilen sich entsprechend der Trinkwasserschutzgebiete in den Fassungsbereich (Zone I), die engere Schutzzone (Zone II) und die weitere Schutzzone (Zone III). Zone I wird immer ausgewiesen, die Zonen II und III nur bei Bedarf.

ringe Mengen jüngerer Grundwassers enthalten sein. Die Temperatur des i. d. R. Tritium-freien Wassers ist gegenüber üblichen Grundwässern schwach erhöht.

Bildungstyp 3

verfügt über ein kleines bis mittelgroßes Bildungsgebiet von einigen hundert Metern um die Austrittsstelle. Sein Fließsystem liegt meist in geringen Tiefen von weniger als 100 m. Der Anteil an jüngerem Grundwasser ist hoch. Bei mittleren Verweilzeiten von maximal 30–50 Jahren ist Tritium vorhanden. Die Temperatur des Heilwassers entspricht weitgehend den ortsüblichen Grundwassertemperaturen.

Tab. 6.1: Übersicht über die Merkmale für die Erfordernis von Schutzzonen für die Bildungstypen der Heilquellen (LAWA-Richtlinien 1998)

Schutz	Bildungstyp		
	1	2	3
Quantitativer Schutz			
Zone A	+	+	+
Zone B	+	+	+
Qualitativer Schutz			
Zone I	+	+	+
Zone II	-	(+)	+
Zone III	-	(+)	+

- + Schutzzone ist erforderlich
- (+) Schutzzonenerfordernis ist im Einzelfall zu prüfen
- Schutzzone ist nicht erforderlich

6.2.3 Wasserschutzgebiete des Taunus und der Idsteiner Senke

Im HLNUG erfolgt die zentrale Erfassung und Darstellung der festgesetzten und im Verfahren befindlichen Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien. Bereits Mitte der 1960er Jahre wurden im Bearbeitungsgebiet die durch Tiefbrunnen genutzten Grundwässer durch Trinkwasserschutzgebiete geschützt. Anfang der 1970er Jahre waren mehr als 20 Trinkwasserschutzgebiete festgesetzt, von denen noch heute neun im Bestand sind. Insgesamt sind derzeit 263 Trinkwasserschutzgebiete festgesetzt, weitere

27 sind in Planung. Das Trinkwasserschutzgebiet Bad Camberg-Würges wurde 2021 ausgewiesen und stellt das jüngste im Bearbeitungsgebiet dar.

Die Ausweisung des Heilquellenschutzgebiets für die Heilquelle von Bad Soden am Taunus erfolgte im Jahr 1977. Die Heilquellenschutzgebiete Kronberg (1985), Bad Homburg (1985), Bad Schwalbach (1985), Schlangenbad (1987) und Wiesbaden (2016) folgten. In das Bearbeitungsgebiet ragen außerdem das Heilquellenschutzgebiet Bad Nauheim (festgesetzt 1988)

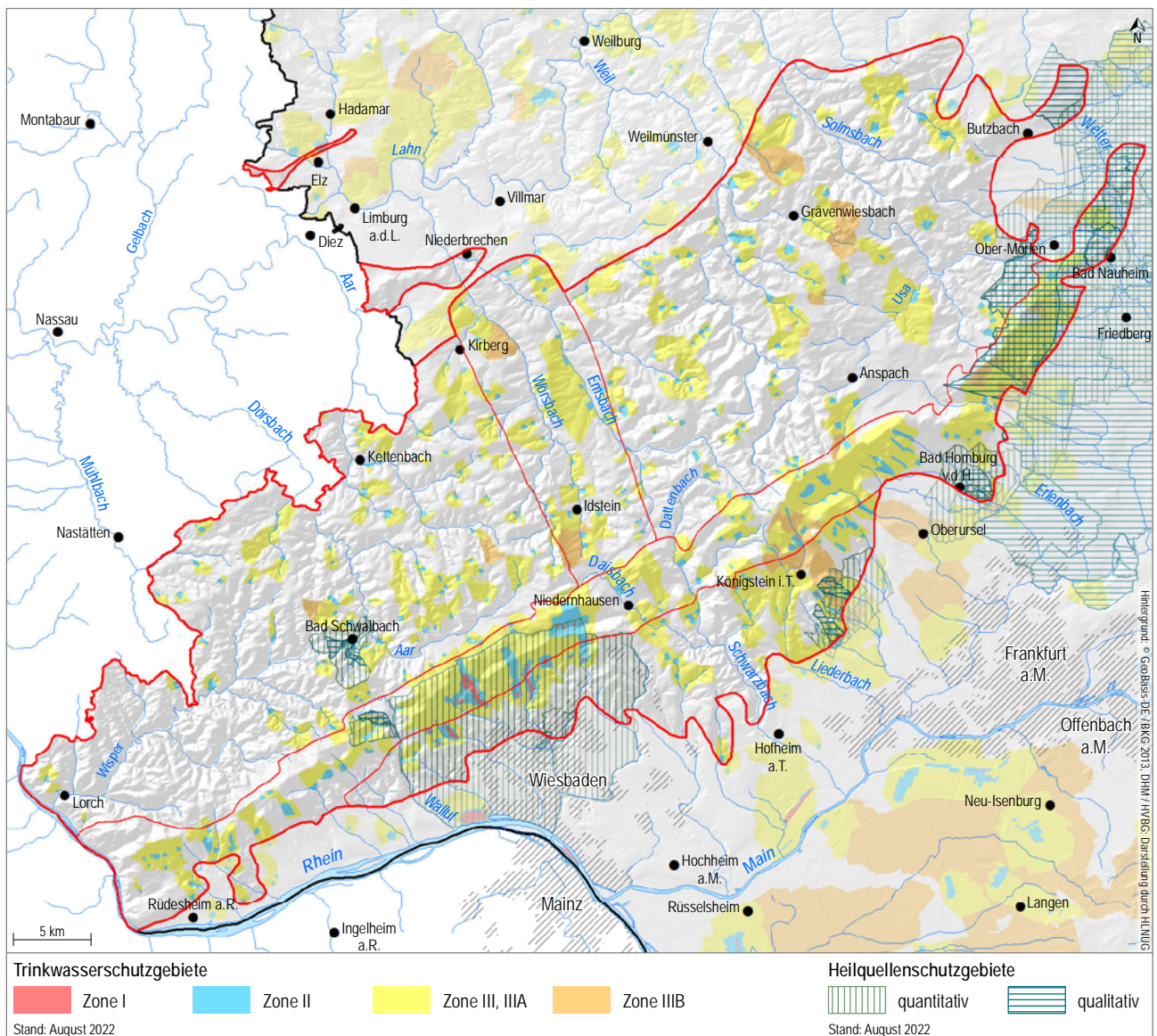


Abb. 6.2: Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete

und das Oberhessische Heilquellenschutzgebiet (erstmalig erwähnt 1896).

Die in diesem Kapitel aufgeführten Zahlen und Auswertungen beziehen sich auf den Bearbeitungsstand des HLNUG vom Oktober 2022.

Die Wasserschutzgebiete bedecken etwa 590 km², das sind rund 35 % der Fläche des Bearbeitungsgebiets. Die 493 zur Trinkwasserversorgung genutzten Wassergewinnungsanlagen bestehen aus 125 Quellen bzw. Quelfassungen oder Schürfungen, 45 Stollen und 323 Brunnen.

6.3 Zustand nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) trat am 22.12.2000 in Kraft, um eine koordinierte Bewirtschaftung über Staats- und Ländergrenzen hinweg umzusetzen und u. a. einen guten mengenmäßigen und chemischen Grundwasserzustand einzuhalten oder zu erreichen (EG-WRRL 2000).

Die WRRL verfolgt einen auf alle Gewässer bezogenen integrativen Ansatz, der in folgenden Aspekten deutlich wird:

- Der Anwendungsbereich der WRRL umfasst alle Gewässerkategorien der europäischen Gemeinschaft, d. h. Fließgewässer, Seen, Ästuare, Küstengewässer und das Grundwasser.
- Die Gewässer sollen flusseinzugsgebietsbezogen bewirtschaftet werden, d. h. von den Quellen bis zur Mündung mit allen Zuflüssen, wobei die grenzüberschreitende Dimension in der WRRL betont wird.
- Die Grundwasserqualität wird nach stofflichen und mengenmäßigen Kriterien beurteilt.
- Ökonomische Aspekte sind zu berücksichtigen.
- Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne sind aufzustellen und regelmäßig alle sechs Jahre zu aktualisieren.
- Die Öffentlichkeit ist in die Planungen einzubeziehen.

Zur Charakterisierung und Beschreibung des Grundwassersystems wurden Grundwasserkörper (GWK) durch Verschneidung hydrogeologischer Teilräume mit hydrologischen Einzugsgebieten abgegrenzt. Die hydrogeologischen Abgrenzungen zu den unterschiedlichen hydrogeologischen Räumen beziehen sich dabei überwiegend auf die Eigenschaften bzw. die Beschaffenheit des oberen Grundwasserleiters. Hydrogeologische Teilräume sind Gesteinseinheiten, die aufgrund ihrer Gesteinsbeschaffenheit (z. B. Gesteinsart, Hohlraumart, Verfestigung, Durchlässigkeit) und ihrer tektonischen Situation (z. B. Verwerfungen, Klüfte) charakteristische hydraulische und hydrochemische Eigenschaften haben. Jeder hydrogeologische Teilraum weist dabei eine typische Kombination der vorgenannten Eigenschaften auf.

Das Bearbeitungsgebiet wird durch 16 der 127 hessischen Grundwasserkörper berührt. Vier dieser Grundwasserkörper liegen mit einem überwiegenden Flächenanteil im Bundesland Rheinland-Pfalz. Ihre Bewertung erfolgt in Abstimmung mit dem rheinlandpfälzischen Landesamt für Umwelt. Die in diesem Kapitel abgebildeten Karten zu den Messnetzen, zum chemischen und mengenmäßigen Zustand der Grundwasserkörper dokumentieren den Sachstand für den dritten Bewirtschaftungsplan (2021–2027) (HMUKLV 2021). Die aktuelle Situation ist im Wasserrahmenrichtlinie-Viewer unter <https://wrml.hessen.de> zu finden.

6.3.1 WRRL-Überwachungsmessnetze

Ziel des WRRL-Überwachungsmessnetzes ist es, den qualitativen und quantitativen Grundwasserzustand und eventuelle Trends im Grundwasserkörper festzustellen.

Zur Überwachung des mengenmäßigen Zustandes wurden Messstellen des Landesgrundwasserdienstes

mit einem für den jeweiligen Grundwasserkörper typischen Ganglinienverlauf ausgewählt. Zur Überwachung des chemischen Zustandes wurden repräsentative Messstellen ausgewählt, deren Grundwasser in ihrer Beschaffenheit typisch für die jeweiligen Grundwasserkörper sind.

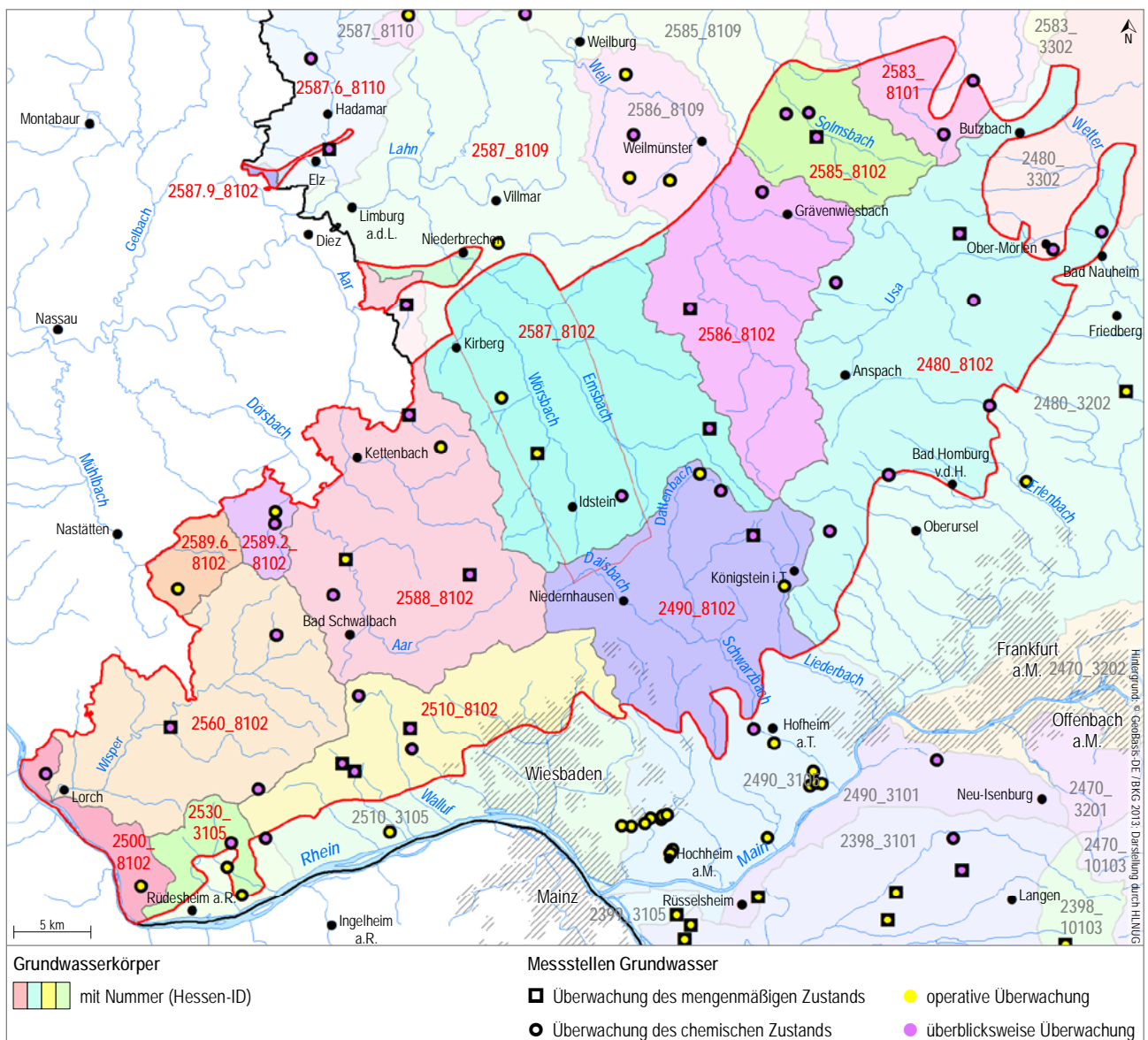


Abb. 6.3: Grundwasserkörper und WRRL-Überwachungsmessnetze (Stand 20.05.2020)

6.3.2 Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper nach WRRL

Ein guter mengenmäßiger Grundwasserzustand ist nach WRRL (Anhang V Nr. 2.2.1) erreicht, wenn der Grundwasseroberfläche im Grundwasserkörper (GWK) so beschaffen ist, dass die verfügbare Grundwasserressource nicht von der langjährigen mittleren Entnahme überschritten wird. Die Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes der Grundwasserkörper erfolgte mittels einer Trendanalyse der Grundwasserstände/Quellschüttungen und einer Wasserbilanzbetrachtung gemäß der Vorlage der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser „Analyse, Dargebot und Nutzung“ vom 16.09.2013) sowie dem Sachstandsbericht der LAWA („Fachliche Umsetzung der EG-WRRL, Teil 5, Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands“ vom 25.08.2011).

Nach WRRL (Anhang V, Abschn. 2.1.1) wird als Parameter für die Einstufung des mengenmäßigen Zustands des Grundwassers prinzipiell der Grundwasseroberfläche genannt. Nach dem CIS-Leitfaden Nr. 18 (CIS 2009) gilt eine alleinige Bewertung auf Grundlage des Grundwasserstandes jedoch als unzureichend. Es wird empfohlen, generell weitere Parameter und Informationen zur Bewertung heranzuziehen. Weitere Informationen hierzu sind im Bewirtschaftungsplan 2021–2027 zu finden: <https://flussgebiete.hessen.de/information/bewirtschaftungsplan-2021-2027>.

6.3.3 Chemischer Zustand der Grundwasserkörper nach WRRL

Zentraler und langfristiger Ansatz der WRRL (EG-WRRL 2000) ist es, Wasser nur unter Beachtung von Nachhaltigkeitsgrundsätzen zu nutzen, wodurch die Ressource Wasser langfristig geschützt wird. Für das Grundwasser gilt es, einen guten mengenmäßigen Zustand und einen guten chemischen Zustand einzuhalten oder zu erreichen. Die Anforderungen an den guten chemischen Zustand des Grundwassers wurden in der Grundwasserverordnung vom 09.11.2010 (GrwV 2010) spezifiziert.

Die Grundwasserverordnung regelt in § 5 ff. die Beurteilung des chemischen Grundwasserzustandes mit Hilfe von Schwellenwerten. Demnach befindet sich ein Grundwasserkörper bei Überschreitung eines

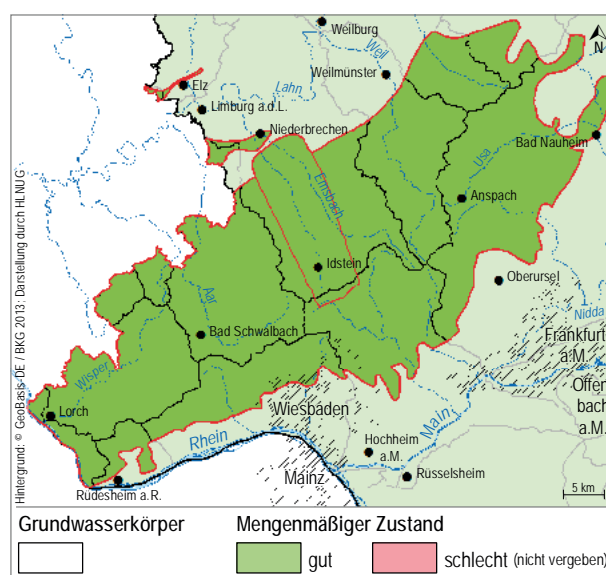


Abb. 6.4: Mengenmäßiger Zustand der Grundwasserkörper (Stand 20.05.2020)

Aufgrund der Einstufung der GWK als „in mengenmäßig gutem Zustand“ sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

Schwellenwerte an einer Überwachungsmessstelle in einem schlechten chemischen Zustand, allerdings nur dann, wenn die Überschreitung anthropogen und nicht geogen bedingt ist.

Die Parameter mit den jeweiligen Schwellenwerten sind in Anlage 2 der GrwV aufgeführt. Kein Schwellenwert ist niedriger als der entsprechende Hintergrundwert im Grundwasserkörper (§ 5 Abs. 2 GrwV). Es gelten folgende Schwellenwerte:

■ Nitrat	50,0 mg/l
■ Ammonium	0,5 mg/l
■ Arsen	10,0 µg/l

- Cadmium 0,5 µg/l
- Blei 10,0 µg/l
- Quecksilber 0,2 µg/l
- Chlorid 250,0 mg/l
- Sulfat 240,0 mg/l
- Summe aus Tri- und Tetrachlorethen 10,0 µg/l
- Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (PSM) 0,1 µg/l
- Summe der PSM-Einzelstoffe 0,5 µg/l

Insbesondere Überschreitungen des Schwellenwertes für Nitrat führen in Hessen zur Einstufung von GWK als im „schlechten chemischen Zustand“ befindlich. Erhöhte Nitratkonzentrationen sind verbreitet in Grundwassermessstellen mit vorwiegend landwirtschaftlicher Nutzung messbar, so dass die Landbewirtschaftung der diffuse Haupteintragspfad für Nitrat ins Grundwasser ist. Bei den Grundwassermessstellen, deren Einzugsgebiete überwiegend im Wald liegen, sind die Nitratkonzentrationen deutlich niedriger als bei anderen Landnutzungen. Der Mittelwert der Nitratgehalte im Grundwasser liegt hier unter 10 mg/l.

In Taunus werden lediglich die Schwellenwerte für Arsen an zwei Brunnen überschritten. Arsen steht in engem Zusammenhang mit der geogenen Verfügbarkeit und dem Redox-Milieu des Grundwassers. In reduzierenden Bereichen zeigt Arsen eine erhöhte

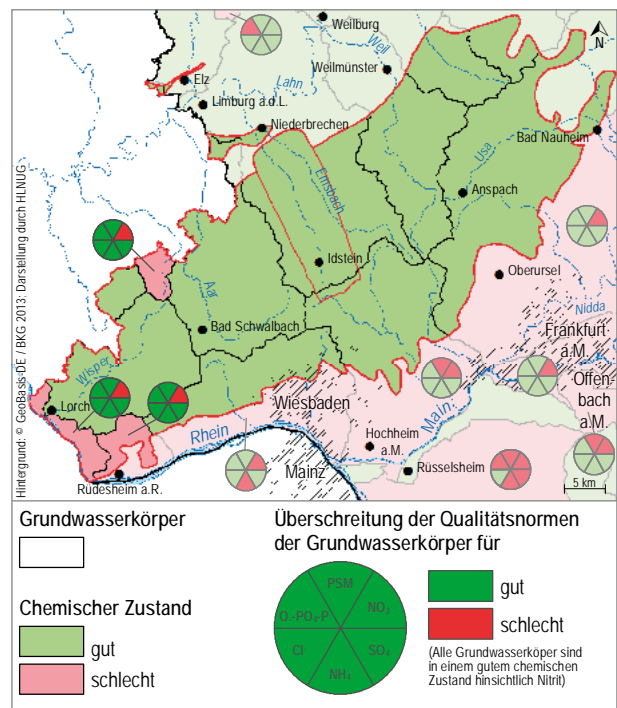


Abb. 6.5: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper (Stand 20.05.2020)

Löslichkeit. Die vereinzelt Überschreitungen sind geogener Herkunft, also natürlichen Ursprungs und führen damit nicht zu der Bewertung „schlechter chemischer Zustand“.

7 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen der hydrogeologischen Landesaufnahme Hessens erarbeitet. Zielsetzung war eine umfassende hydrogeologische Systembeschreibung der hydrogeologischen Teilräume „Taunus“ und „Idsteiner Senke“. Mit dem

Bericht stehen vielfältige gebietsbezogene Fachinformationen zur Verfügung, die zur Bearbeitung hydrogeologischer und wasserwirtschaftlicher Fragestellungen genutzt werden können.

Geologie und Böden

Der im Südwesten von Hessen befindliche Taunus wird als Teil des Rheinischen Schiefergebirges aus paläozoischen, metamorph überprägten Gesteinen aufgebaut. Die Gesteine wurden während der variszischen Gebirgsbildung im Devon und Karbon intensiv geschuppt und gefaltet. Der Taunus gliedert sich dabei in drei tektonisch-stratigraphische Großeinheiten, die sich morphologisch voneinander abgrenzen lassen: der weniger hohe Vordertaunus, der Tau-

nuskamm mit dem Feldberg als höchster Erhebung und die flacheren Ebenen des Hintertaunus. Die aus den metamorphen Ausgangsgesteinen gebildeten Böden bestehen hauptsächlich aus lössleharmen Soliflukationsdecken (z. B. Braunerden). Die Böden haben ein geringes Wasserspeichervermögen und geringes landwirtschaftliches Ertragspotential. Eine Ausnahme bilden die aus Löss bestehenden Böden der Idsteiner Senke.

Hydrogeologische Teilräume

Der Taunus setzt sich aus den hydrogeologischen Teilräumen „Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges“ und „Idsteiner Senke“ zusammen. In den metamorphen Festgesteinen stellen offene Klüfte und Störungszonen die wichtigsten Wasserwegsamkeiten für das Grundwasser dar. Grundwasserleiter bestehen im Taunus daher fast ausschließlich aus Kluftgrundwasserleitern. Die hydraulischen Durchlässigkeiten sind in der Regel gering bis mittel und eng an die Lagerungsverhältnisse und die tektonische Überprägung der Gesteine gebunden. Die Ergiebigkeit der Brunnen ist in der Regel gering. Er-

höhte Wasserwegsamkeiten können entlang von Falten- und Muldenachsen sowie deren Querstörungen auftreten. Eine Ausnahme bildet der Taunusquarzit in dem eine mittlere bis hohe Ergiebigkeit erreicht werden kann. Bei niedrigen Grundwasserflurabständen kommt es im Taunus zu jahreszeitlich ausgeprägten Schwankungen des Grundwasserspiegels. Im Taunus gibt es darüber hinaus eine Vielzahl lokaler, teils nur saisonal auftretender Quellen. Porengrundwasserleiter sind begrenzt auf quartäre und tertiäre Lockersedimente.

Wasserhaushalt und Grundwasserneubildung

Die Niederschlagsverteilung ist im Taunus maßgeblich von der Topographie abhängig. In den Höhenlagen des Taunuskammes fallen die höchsten Niederschläge mit bis zu 1 245 mm/a. Die geringsten Niederschläge (500 mm/a) treten in den Niederungen des westlichen Hintertaunus auf. Der gemittelte Niederschlag liegt bei rund 827 mm/a. Die Verdunstung liegt im Taunus in nicht bewaldeten, niederschlagsarmen Niederungen und Talauen mit ca. 400–500 mm/a deutlich niedriger als in den

bewaldeten Hochlagen mit bis zu 820 mm/a. Die mittlere Grundwasserneubildung liegt im Taunus bei 69 mm/a (Bodenwasserhaushaltsmodell) und ist damit deutlich niedriger als die mittlere Grundwasserneubildung von Hessen (101 mm/a). Da die Grundwasserneubildung vergleichsweise gering ausfällt, ist auch das Grundwasserdargebot gering. Allerdings ist der Zwischenabfluss im Taunus stark ausgeprägt, was zu vielen, teils saisonal schüttenden Quellen führt. Der Zwischenabfluss wird im Taunus seit über

100 Jahren zur Trinkwassergewinnung genutzt. Dabei handelt es sich meistens um kleine Stollen oder Schürfungen aus der Jahrhundertwende des letzten

Jahrtausends, die in den letzten Jahren wieder vermehrt reaktiviert wurden.

Bohrungen, Grundwassererschließung und Wasserförderung

Als natürliche Wasseraustritte finden sich im Taunus zahlreiche Quellen. Obwohl die Quellen in der Regel nur gering ergiebig sind (Schüttung von $< 0,5$ l/s) und starken Schwankungen ausgesetzt sind, reicht die Schüttung häufig aus, um kleine Siedlungen mit Wasser zu versorgen. Darüber hinaus wurden im Taunus zahlreiche Bohrungen für die Trinkwassergewinnung niedergebracht. Über 30% aller Bohrungen mit Teufen ≥ 10 m wurden im Taunus zur Grundwassererschließung gebohrt. Die tiefsten Bohrungen

befinden sich dabei am Taunuskamm. Eine Besonderheit der Wasserversorgung stellen die Stollen entlang des Taunusrandes dar, die ausschließlich zum Zweck der Wassergewinnung angelegt wurden. Die ersten Stollen wurden bereits zwischen 1875 und 1909 gebaut. Beispielsweise tragen sie mit einer Gesamtlänge von über 11 Kilometern seit über 100 Jahren auch heute noch mit bis zu einem Drittel zur Trinkwasserversorgung von Wiesbaden bei.

Mineral- und Thermalwasservorkommen

Der Taunus ist reich an Mineralquellen. Insbesondere am Taunusrand reihen sich zwischen Rüdesheim im Südwesten und Bad Nauheim im Nordosten balneologisch (zur Bädertherapie) genutzte Thermalquellen mit zum Teil hohen NaCl-Konzentrationen aneinander. Die Wiesbadener Thermalquellen sind für ihre hohen Temperaturen von fast 70 °C und ihre hohe Ergiebigkeit bekannt. Der hohe Lösungsinhalt

der Mineralwässer wird auf den Aufstieg von hochmineralisierten Wässern aus größeren Tiefen entlang von Störungszonen (z. B. der Taunussüdrandstörung) zurückgeführt. Grundwässer können in größere Tiefen absinken, werden dort erwärmt, und können dann entlang von gut durchlässigen Klüften wieder als Mineral- und Thermalwässer aufsteigen.

Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung spiegelt sich in der Morphologie und im Gewässernetz des Taunus wider. Eine geringe Schutzwirkung ist im Bereich des Taunusquarzits (Taunuskamm) vorhanden, da dieser intensiv geklüftet ist, kaum Adsorptionswirkung für Schadstoffe besitzt und nur von

sehr geringmächtigen oder keinen quartären Lockergesteinen überdeckt ist. In weiten Teilen des Hintertaunus, der Idsteiner Senke und dem Südaunus gibt es eine mittlere bis hohe Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung.

Grundwasserbeschaffenheit

Im Gegensatz zu den höher mineralisierten Mineral- und Thermalwässern, die im Taunus aus größerer Tiefe aufsteigen, besitzen oberflächennahe Grundwässer im Taunus eine niedrige Gesamtmineralisation. Anthropogen unbelastete Grundwässer werden in den metamorphen Gesteinen des Taunus hauptsächlich dem Ca-Mg-(Na-)HCO₃-(Cl)-Typ

zugeordnet. Regionale Unterschiede der Grundwasserbeschaffenheit gibt es vor allem zwischen der Idsteiner Senke und dem Taunuskamm. Letzterer wird hydrochemisch durch niedrige Gesamthärten, einem niedrigen pH-Wert sowie niedrigen Hydrogencarbonat-Konzentrationen charakterisiert. In der Idsteiner Senke kommt es auf Grund der Verbreitung

von kalkhaltigem Löss und Lösslehm zu einer höheren Gesamthärte und erhöhten Hydrogencarbonat-Konzentrationen. Das Grundwasser in der Idsteiner Senke wird durch den kalkhaltigen Löss gepuffert.

Die Nitratkonzentrationen sind im Taunus, bis auf wenige Ausnahmen, vergleichsweise gering und weisen auf ein anthropogen weitgehend unbeeinflusstes Grundwasser hin.

Grundwassergewinnung/Wasserschutzgebiete

Die Grundwassergewinnung zum Zweck der Trink- und Brauchwassernutzung erfolgt im Taunus aus rund. 490 Brunnen sowie 170 Quellen, Stollen oder Schürfungen. Auf Grund der niedrigen hydraulischen Durchlässigkeiten und des schlechten Speichervermögens der Gesteinsschichten ist die Ergiebigkeit zumeist gering. Die ergiebigsten Gewinnungsanla-

gen befinden sich überwiegend im Bereich des Taunuskamms. Die geringsten Förderraten finden sich im Hintertaunus, wo für die öffentliche Trinkwasserversorgung auf eine Vielzahl von einzelnen Brunnen zurückgegriffen werden muss. Die Trinkwassergewinnungsanlagen werden durch derzeit 263 Wasserschutzgebiete geschützt (Stand 2022).

Maßnahmenräume und Zustand nach WRRL

Nach den Bewertungskriterien der europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind im Bearbeitungsgebiet

alle Grundwasserkörper in einem mengenmäßigen und chemischen guten Zustand.

8 Verwendete Literatur

- AHREND, H., CLAUER, N., HUNZIKER, J.C. & WEBER, K. (1983): Migration of folding and metamorphism in the Rheinische Schiefergebirge deduced from K-Ar and Rb-Sr Age determinations. – In: MARTIN, H & EDER, F. W. (Eds.): Intracontinental Fold Belts: 323–338, 5 Abb. 1 Tab.; Berlin (Springer).
- AMBS, S., KÄMMERER, D., LESSMANN, B., MITTELBACH, G., SCHIEDEK, T. & SCHÜTH, C. (2008): Hydrogeologische Untersuchungen im Taunus. – Posterbeitrag FH-DGG Tagung 2008.
- ANDERLE, H.-J. (1976): Der Südrand des Rhenoherynikums im Taunus. Vorläufige Mitteilungen der Ergebnisse tektonischer Untersuchungen. – Geol. Jb. Hessen, **104**, 279–284; Wiesbaden.
- ANDERLE, H.-J. (1984): Postvaristische Bruchtektonik und Mineralisation im Taunus. – Schr.-R. Ges. dt. Metallhütten- u. Bergleute, **41**: 201–217, 2 Abb.; Weinheim.
- ANDERLE, H.-J. (1991): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000 Blatt 5715 Idstein. 239 S. Wiesbaden.
- ANDERLE, H.-J. (2008): Süddaunus. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland VIII. Devon. – Schr.-R. Dt. Ges. für Geowissenschaften, Heft 52, 118–130, Hannover.
- ANDERLE, H.-J. (2021): Taunus. – In: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.): Geologie von Hessen. XVI, 705 S., 300 Abb., 42 Tab., 2 Taf.: 34–48; Stuttgart (Schweizerbart).
- ANDERLE, H.-J. & KIRNBAUER, T. (1995): Geologie von Naurod im Taunus. – In: 650 Jahre Naurod 1346–1996. – Nauroder Chronik bis zur Gegenwart: 85–103, 6 Abb.; Wiesbaden-Erbenheim (M. Breuer Verlag).
- ANDERLE, H.-J., ROTHE, P. & SCHARPFF, H.-J. (2021): Taunus – Geologische Entwicklung und Struktur. Exkursionen in ein deutsches Mittelgebirge. – Sammlung geologischer Führer, Band 111, 306 S., 93 Abb., 11 Tab., 1 Geol. Faltkt. mit Aufschlusspunkten; Stuttgart (Schweizerbart).
- Arbeitskreis Grundwasserneubildung der FH-DGG (1977): Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate. – Geol. Jb., **C 19**: 3–98, 30 Abb., 9 Tab.; Hannover.
- Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.) (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. – KLIWA-Ber., 17: 112 S., 70 Abb., 15 Abb., 1 CD-ROM; Karlsruhe.
- ARMBRUSTER, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg. – Freiburger Schr. Hydrol., **17**: X, 141 S., 35 Abb., 20 Tab., 3 Kt.; Freiburg i. Br.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – 3. Lfg., Kartentafel 5.5: „Mittlere jährliche Grundwasserneubildung“; Berlin.
- CARLS, P., JAHNKE, H., LUSZNAT, M. & RACHEBOEUF, P. (1982): On the Siegenian Stage. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **55**: 181–198, 3 Abb.; Frankfurt a. M.
- CZYSZ, W. (1995): Die Wiesbadener heißen Quellen von der Eiszeit bis zur Gegenwart, Teil 1: Geologie – Archäologie – Geschichte. – Jb. nass. Ver. Nat.-Kde., **116**: 5–39; Wiesbaden.
- DEMUTH, S. (1989): The application of the West German IHP recommendations for the analysis of data from small research basins. – In: ROALD, L., NORDSETH, K. & HASSEL, K.A. (Eds.): FRIENDS in Hydrology. – IAHS Publ. **187**: 47–60; Wallingford, UK.
- DHV & DTV (2016): Begriffsbestimmungen / Qualitätsstandards für Heilbäder und Kurorte, Luftkurorte, Erholungsorte - einschließlich der Prädikatisierungsvoraussetzungen - sowie für Heilbrunnen und Heilquellen. – Deutscher Heilbäderverband e.V., Deutscher Tourismusverband e.V., 12. Aufl.; Bad Nauheim. [https://www.deutscher-heilbaederverband.de/fileadmin/user_upload/themen/PDF-Dateien/begriffsbestimmungen/begriffsbestimmungen-auflage-12-stand-21-10-2016.pdf; Stand 23.08.2022]
- DIEDERICH, G., FINKENWIRTH, A., HÖLTING, B., KAUFMANN, E., RAMBOW, D., SCHARPFF, H.-J., STEN-

- GEL-RUDKOWSKI, W. & WIEGAND, K. (1991): Hydrogeologisches Kartenwerk 1 : 200 000. – Geol. Abh. Hessen, **95**: 83 S., 3 Abb., 4 Tab., 5 Kt.; Wiesbaden.
- DIN 4049-3 (Okt. 1994): Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – 80 S., 20 Abb., 2 Tab.; Berlin (Beuth).
- DÖRHÖFER, G., HANNAPPEL, S. & VOIGT, H.-J. (2001): Die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland HÜK200. – Z. angew. Geol., **47**(3/4): 153–159, 3 Abb.; Hannover.
- DVGW – Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (2021): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser. DVGW-Regelwerk, Techn. Regeln, Arbeitsbl. W 101: 27 S., Bonn.
- EG-WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – ABl. europ. Gemeinschaft., L 327: 72 S.; Brüssel. [http://eur-lex.europa.eu/source.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF; Stand 23.08.2022].
- EHRENBERG, K.-H., HOLTZ, S. & KUPFAHL, H.-G. (1966): Bericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zur geologischen Kartierung der Sperrstelle und des Stauraumes der geplanten Wispertalsperre. – Gutachten 5913/52 aus dem Archiv des Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie; Wiesbaden.
- EHRENBERG, K.-H., KUPFAHL, H.-G. & KÜMMERLE, E. (1968): Erläuterungen zur Geologische Karte von Hessen 1 : 25 000 Blatt 5913 Presberg. – 2. Aufl.: 201 S., 22 Abb., 9 Tab., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- EISENBACH, U. (2004): Mineralwasser: vom Ursprung rein bis heute. – 326 S., Verband Deutscher Mineralbrunnen, Bonn.
- FICKEL, W. (1991): VIII. Böden. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1 : 25 000 Blatt 5715 Idstein. S. 153–157. Wiesbaden.
- FREILING, J. & HOTTENROTT, M. (1995): Mitteilungen über zwei Vorkommen jüngerer Tertiärs (Ober-Oligozän, Pliozän) in Baugrunderkundungsbohrungen bei Limburg-Lindenholzhausen (Limburger Becken). – Jber. Wett. Ges. ges. Naturkunde., **146/147**: 169–183; Hanau.
- FRITSCHKE, H.-G., HEMFLER, M., KÄMMERER, D., LESSMANN, B., MITTELBACH, G., PETERS, A., PÖSCHL, W., RUMOHR, S. & SCHLÖSSER-KLUGER, I. (2003): Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume von Hessen gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). – Geol. Jb. Hessen **130**: 5–19, 1 Abb.; Wiesbaden.
- FUCHS, A. (1927): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, Lfg. 253, Blatt 5716 Oberreifenberg. – 2. Aufl.: 48 S.; Geol. L.-Anst., Berlin.
- FUCHS, A. (1978): Erläuterungen zur Geologische Karte von Hessen 1 : 25 000 Blatt 5716 Oberreifenberg. – 3. ergänzte Aufl.: 101 S., Wiesbaden.
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H. R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. – Mem. IAH-Congress, 1965, VII: 86–96; Hannover.
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserschutzverordnung – GrwV) vom 9. November 2010. – BGBl. I: 1513–1518; Bonn.
- HANNAPPEL, S., FRITSCHKE, H.-G. & LESSMANN, B. (2003): Die Erstellung der Hydrogeologischen Übersichtskarte (HÜK 200) in Hessen. – Hess. Umwelt-Monitor 7 (4): 3–8, 4 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- HEITFELD, K.-H., HESSE, K.-H. & KOPPELBERG, W. (1981): Gutachterliche Stellungnahme zu den ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Verhältnissen im Bereich der geplanten Ernstbachtalsperre/Rheingau. – 168 S., Gutachten 5913/105 aus dem Archiv des Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie; Wiesbaden.
- HENNINGS, V. (2000): Methodendokumentation Bodenkunde: Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geol. Jb., Reihe G, Heft SG 1; Hannover (Schweizerbart).
- HERGESELL, M. & BERTHOLD, G. (2005): Entwicklung eines Regressionsmodells zur Ermittlung flächendifferenzierter Abflusskomponenten in

- Hessen durch die Regionalisierung des Baseflow-Index (BFI). – Jber. hess. L.-Amt für Umwelt und Geologie 2004: 47–66, 17 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- HERRMANN, F. (2010): Entwicklung einer Methodik zur großräumigen Modellierung von Grundwasserdruckflächen am Beispiel der Grundwasserleiter des Bundeslandes Hessen. – Dissertation, Technische Universität Cottbus: 144 S., 45 Abb., 11 Tab., Anh.; Cottbus.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007): Geologische Übersichtskarte von Hessen 1:300 000 (GÜK 300). – 5. Aufl., digitale Ausg.; Wiesbaden. [<http://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/geologie/guek300.pdf>; Stand: 27.06.2022].
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018): Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2017: 137 S., Reihe: Grundwasser in Hessen, Band 3, Wiesbaden.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2021): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan 2021–2027. – digitale Ausg.; Wiesbaden. [<https://flussgebiete.hessen.de/information/bewirtschaftungsplan-2021-2027>; Stand 23.08.2022].
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W.G. (2013): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und angewandte Hydrogeologie. – 8. Aufl.: XXX-VII, 438 S., 137 Abb., 92 Tab.; Berlin (Springer Spektrum).
- HOLTZ, S. (1968): Bericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zur geologischen Kartierung im Ernstbachtal, Rheingaukreis. – Gutachten 5913/65 aus dem Archiv des Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie; Wiesbaden.
- HOTTENROTT, M. (1993): Paläobotanik. – In: WEIDENFELLER, M. & REQUARDT, H. mit Beitr. von HOTTENROTT, M., KRAUSE, C. & SCHÄFER, P.: Das Marienfesler (Miehler) Becken im Känozoikum (Hintertaunus, Rheinisches Schiefergebirge). – Mainzer geowiss. Mitt., **22**: 112–114; Mainz.
- HOTTENROTT, M. (2007): Altersstellung der Floren aus der Miehlen-Formation. – In: REQUARDT, H. & WEIDENFELLER: Erläuterungen zur geologischen Karte von Rheinland-Pfalz 1:25 000 Blatt 5713 Katzenelnbogen. – 2. Aufl.: 66–73; L.-Amt Geol. Bergbau Rheinl.-Pfalz, Mainz.
- HOTTENROTT, M. (2021): Taunus. – In: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (Hrsg.): Geologie von Hessen. XVI, 705 S., 300 Abb., 42 Tab., 2 Taf.: 394–396; Stuttgart (Schweizerbart).
- Hydrogeologische Übersichtskarte Bundesrepublik Deutschland 1:200 000 (HÜK 200) (2000). – Digitale Ausg.; BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- JUNG, H. (1955): Zur Tektonik des Devons im Rheingaugebirge im Rheindurchbruchtal bei Bingen – Rüdesheim. – Geol. Rdsch., **44**: 223–265, 25. Abb.; Stuttgart.
- KÄMMERER, D. (1998): Hydrogeologische Untersuchungen zur Grundwasserversauerung im südlichen Taunus. – Geol. Abh. Hessen, **103**: 125 S., 87 Abb., 27 Tab.; Wiesbaden.
- KILLE, K. (1970): Das Verfahren MoMNO, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. – Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. u. Hydrogeochem.: 89–95; Hannover.
- KIRNBAUER, T. (1991): Geologie, Petrographie und Geochemie der Pyroklastika des Unteren Ems/Unter-Devon (Porphyroide) im südlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Geol. Abh. Hessen, **92**: 228 S., 52 Abb., 4 Tab., 5 Taf., 2 Kt.; Wiesbaden.
- KIRNBAUER, T. (Hrsg.) (1998): Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge. – 328 S., 77 Abb., 12 Tab., 8 Farbtaf.; Wiesbaden.
- KLAUSING, O. (1974): Karte der naturräumlichen Gliederung Hessens im Maßstab 1:200 000. – 85 S.; Hess. L.-Anst. Umwelt, Wiesbaden.
- KLAUSING, O. (1988): Die Naturräume Hessens. – Hess. L.-Anst. Umwelt, **67**; Wiesbaden.
- KLÜGEL, T. (1997): Geometrie und Kinematik einer variszischen Plattengrenze – der Südrand des Rhenohertzynikums im Taunus. – Geol. Abh. Hessen, **101**: 215 S., Wiesbaden.

- KOPP, K. (1986): Wasser von Taunus, Rhein und Ried. Aus zwei Jahrtausenden Wasserversorgung. 327 S.; Wiesbaden (Verl. v. Stadtwerke Wiesbaden AG).
- KÖTT, A. (2016): Die Bedeutung von Relief und Trennflächengefüge für das Auftreten von Rutschungen im südwestlichen Taunus. – Jber. hess. L.-Amt für Umwelt und Geologie: 157–166; Wiesbaden.
- KÖTT, A. & ROGALL, M. (2016): Massenbewegungen im Südwestlichen Taunus – Einfluss von Tektonik und Trennflächengefüge. – 16th Symposium Tectonics – Structural Geology – Crystalline Geology (TSK 16), 02. – 06.03.2016; Bonn.
- KRIGE, D. G. (1951): A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand. – Masterarbeit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- KÜMMERLE, E. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000 Blatt 5518 Butzbach. – 214 S., 30 Abb., 13 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- KUNKEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. & HANNAPPEL, S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – 204 S.; Forsch.-Zentrum Jülich, Jülich.
- LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (1998): Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete. – 3. Aufl.: 27 S.; Berlin (Kulturbuchverl.).
- LEPPLA, A. (1922): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Lfg. 15, Blatt 5816 Königstein a. Taunus. – 2. Aufl.; Berlin.
- LEPPLA, A. (1924): Tektonik und Stratigraphie des Taunus im Gebiet des Blattes Wehen (Platte) nördlich Wiesbaden. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **44**: 312–318; Berlin.
- LESSMANN, B. (2001): Die anthropogene Beeinflussung des grundwasserbürtigen Abflusses und die daraus folgenden Konsequenzen für die Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildungsrate durch Abflussmessungen. – Z. angew. Geol., **47**/1: 55–65; Hannover.
- LÖNS-HANNA, C., KREMER, M. & RITTERSHOFER, B. (2019): Niedrigwasser und Trockenheit 2018. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie; Wiesbaden.
- LUDWIG, F. (2013): Geogene Hintergrundwerte der Hauptbestandteile und Spurenstoffe in hessischen Grundwässern. – Geol. Abh. Hessen, **118**: 165 S., 144 Abb., 29 Tab.; Wiesbaden.
- MAHR, A. (1998): Lockerbraunerden und periglaziale Hangsedimente im Bayerischen Wald. – Regensburger geogr. Schr., **30**: 21–37; Regensburg.
- MATTHESS, G. (1994): Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2: Die Beschaffenheit des Grundwassers. – 3. Aufl.: X, 499 S.; Berlin-Stuttgart (Gebrüder Borntraeger).
- MENZEL, L. (1999): Flächenhafte Modellierung der Evaporation mit TRAIN. – PIK Report, **54**: 30 S., 12 Abb., 2 Tab.; Potsdam. [<https://www.pik-potsdam.de/research/publications/pik-reports/.files/pr54.pdf>; Stand: 27.06.2022].
- MICHELS, F. (1961): Zur Geologie der Wiesbadener Mineralquellen. – Z. dt. geol. Ges., **113**: 117, Hannover.
- MICHELS, F. (1966): Die Wiesbadener Mineralquellen. – Jb. nass. Ver. Nat.-Kde., **98**: 17–54; Wiesbaden.
- MICHELS, F. & ANDERLE, H.-J. (2010): Geologische Karte von Hessen 1:25 000 Blatt 5714 Kettenbach. – 2. Aufl.; Wiesbaden.
- MITTMEYER, H.-G. (1963): Die Hunsrückschiefer des südlichen Aartales (Rheinisches Schiefergebirge). Stratigraphie und Tektonik sowie Beiträge zur Paläontologie und Gefügekunde des Hunsrückschiefers. – Dissertation, Universität Hamburg: 76 S.; Hamburg.
- MITTMEYER, H.-G. (1965): Die Bornischer Schichten im Gebiet zwischen Mittelrhein und Idsteiner Senke (Taunus, Rheinisches Schiefergebirge). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **93**: 73–98; Wiesbaden.
- MITTMEYER, H.-G. (1973): Die Hunsrückschiefer-Fauna des Wisper-Gebietes im Taunus. Ulmen-Gruppe, tiefes Unter-Ems, Rheinisches Schiefergebirge. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **101**: 16–45, 8 Abb., Taf. 2–6.; Wiesbaden.
- MITTMEYER, H.-G. (1974): Zur Neufassung der Rheinischen Unterdevon-Stufen. – Mainzer geowiss. Mitt., **3**: 69–79, 2 Tab.; Mainz.
- MITTMEYER, H.-G. (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000 Blatt 5813

- Nastätten. – 2. Aufl.: 112 S., 19 Abb., 12 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- MITTMEYER, H.-G. (1982): Rhenish Lower Devonian biostratigraphy. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, **55**: 257–270, 2 Abb., 2 Tab.; Frankfurt am Main.
- MITTMEYER, H.-G. (2008): Unterdevon der Mittelrheinischen und Eifeler Typ-Gebiete (Teile von Eifel, Westerwald, Hunsrück und Taunus). – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland VIII. Devon. – *Schr.-R. Dt. Ges. für Geowissenschaften*, **52**: 118–130; Hannover.
- MORHARD A. (2012): Kurzbeschreibung des Modells GWN-BW. Bedienung und Erweiterungen in Version 3.x. [https://www.hydroconsult.com/app/download/7595575/GWN-BW_2.0_Kurzbeschreibung.pdf; Stand 27.06.2022]
- MÜLLER, K.-H. (1973): Zur Morphologie des zentralen Hintertaunus und des Limburger Beckens. Ein Beitrag zur tertiären Formengenesse. – *Marburger geogr. Schr.*, **58**: 112 S; Marburg.
- NATERMANN, E. (1951): Die Linie des langfristigen Grundwassers (AuL) und die Trockenwetterabflußlinie (TWL). – *Wasserwirtsch., Sonderh.*, **41**: 12–14; Stuttgart.
- ONCKEN, O. (1988): Geometrie und Kinematik der Taunuskammüberschiebung – Beitrag zur Diskussion des Deckenproblems im südlichen Schiefergebirge. – *Geol. Rdsch.*, **77**: 551–575, Stuttgart.
- PIPER, A. M. (1944): A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. – *Trans. Am. Geophys. Union*, **25**: 914–928, 4 Abb., 2 Tab.; Washington D.C.
- REISCHMANN, H. (1967): Die Schichten des oberen Gedinium im Mittelrheintal bei Assmannshausen. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **95**: 13–23; Wiesbaden.
- REITZ, E. (1989): Devonische Sporen aus Phylliten vom Südrand des Rheinischen Schiefergebirges. – *Geol. Jb. Hessen*, **117**: 23–35; Wiesbaden.
- REITZ, E., ANDERLE, H.-J. & WINKELMANN, M. (1995): Ein erster Nachweis von Unterordovizium (Arenig) am Südrand des Rheinischen Schiefergebirges im Vordertaunus: Der Bierstadt-Phyllit (Blatt 5915 Wiesbaden). – *Geol. Jb. Hessen*, **123**: 25–38; Wiesbaden.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – *Ber. dt. Wetterdienst*, **194**: 93 S.; Offenbach.
- ROGALL, M. (1997): Untersuchung von Rutschungen und Felsstürzen im Westtaunus im Hinblick auf die Hangstabilität mit Darstellung in einer Hangstabilitätskarte. – Dissertation, Phillips Universität Marburg, 189 S., 85 Abb., 6 Tab., 2 Anh.; Marburg/Lahn.
- SABEL, K.-J. (o. D.): Böden im Taunus [<http://www.taunuswelten.de/das-gebirge/boden/>; Stand 23.08.2022]
- SCHÄFER, P. (1993): Neue Ostracoden-Arten aus dem Kalktertiär (Chattium/Aquitanium) des Mainzer Beckens. – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **22**: 75–98; Mainz.
- SCHÄFER, P. (2005): Tertiäre Ablagerungen in Hunsrück, Taunus und Nordpfälzer Bergland. – In: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Hrsg.): *Geologie von Rheinland-Pfalz*, 219–222; Stuttgart (Schweizerbart).
- SCHMIDT, W. (1958): Die ersten Agnathen und Pflanzen aus dem Taunus-Gedinnium. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **86**: 31–49, 1 Abb., 1 Tab., Taf. 4–6; Wiesbaden.
- SCHOELLER, H. (1962): *Les eaux souterraines*. – 642 S., 187 Abb.; Paris (Mason et Cie).
- SCHWARZ, J. (1991): Palynostratigraphie im Unterdevon des östlichen Taunus (Blatt 5716 Oberreifenberg und Blatt 5717 Bad Homburg vor der Höhe). – *Geol. Abh. Hessen*, **93**: 67–81, 4 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- SEMMEL, A. (1964): Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **92**: 275–285; Wiesbaden.
- SEMMEL, A. (1991): Schuttdecken und ihre Bedeutung für den Landschaftshaushalt in hessischen Mittelgebirgen. – *Geogr. Rdsch.*, **43**: 298–302; Braunschweig.
- SEMMEL, A. (1993): Grundzüge der Bodengeographie. – Teubner Studienbücher der Geographie, 3. überarb. Aufl.; Stuttgart (Teubner).

- SEMMELE, A. (2002): Hauptlage und Oberlage als umweltgeschichtliche Indikatoren. – *Z. Geomorph. N. F.*, **46**: 167–180; Stuttgart (Schweizerbart).
- SOLLE, G. (1951): Obere Siegener Schichten, Hunsrück-schiefer, tiefstes Unterkoblenz und ihre Eingliederung ins Rheinische Unterdevon. – *Geol. Jb.*, **65**: 299–380, 2 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- SOMMERMANN, A.-E., MEISL, S. & TODT, W. (1992) Zirkonalter von drei verschiedenen Metavulkaniten aus dem Südtanunus. – *Geol. Jb. Hessen*, **120**: 67–76, 6 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- SONNE, V. (1982): Waren Teile des Rheinischen Schiefergebirges im Tertiär vom Meer überflutet? – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **11**: 217–219; Mainz.
- STAHR, A. (2015): Bodenerosion in Mitteleuropa: Ein Überblick. [<http://www.ahabc.de/bodenerosion-in-mittleuropa-ein-ueberblick/>; Stand 09.08.2022].
- STAHR, A. (2017): Böden der deutschen Mittelgebirge. [<http://www.ahabc.de/bodentypen/coole-clique-oder-bodengesellschaften/boden-der-deutschen-mittelgebirge/>; Stand 23.08.2022].
- STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1970): Bruch- und Dehnungstektonik im östlichen Rheinischen Schiefergebirge als Auswirkung des Oberrheingrabens. – *Z. dt. geol. Ges.*, **121**: 129–141, 3 Abb.; Hannover.
- STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1994): Erd- und Landschaftsgeschichte des mittleren Taunus um Niederselters. – In: CASPARY, E.: *Geschichte von Niederselters*; Selters (Seltersdruck & Verlag).
- TrinkwV – Trinkwasserverordnung (2018): Verordnung zur Neuordnung trinkwasserrechtlicher Vorschriften vom 03. Januar 2018 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 08. Januar 2016. – *BGBI. I (2)*: 99–114; Bonn.
- WENDLAND, F., BERTHOLD, G., FRITSCHKE, J.-G., HERRMANN, F., KUNKEL, R., VOIGT, H.-J & VEREECKEN, H. (2011): Konzeptionelles hydrogeologisches Modell zur Analyse und Bewertung von Verweilzeiten in Hessen. – *Grundwasser, Z. Fachsektion Hydrogeol. (Fachbeitr.)*, **16** (3): 163–176; Berlin (Springer).
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1977): Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, **20**: 325–343.
- WUNDERLICH, H. G. (1964): Maß, Ablauf und Ursachen orogener Einengung am Beispiel des Rheinischen Schiefergebirges, Ruhrkarbons und Harzes. – *Geol. Rdsch.*, **54**: 861–882, 5 Abb; Stuttgart.
- WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. – In: GRAHAM, R.: *Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung*. – *Forsch. dt. Landeskd.*, **104**: 47–54; Remagen/Rhein.
- WRMG (2007): Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz – WRMG) vom 29. April 2007. – *BGBI. I*: 600–603; Bonn. – In der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juli 2013 (*BGBI. I S. 2538*), geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (*BGBI. I S.2774*).

9 Abkürzungsverzeichnis

A_{EO}	Fläche des oberirdischen Einzugsgebietes	HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem	HÜK	Hydrogeologische Übersichtskarte
BFD	Bodenflächendaten Hessen	KLIWA	Arbeitskreis Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz
BFI	Baseflow-Index	MNQ	Niedrigwasserabfluss
BÜK	Bodenübersichtskarte	MoMNQ	Mittlerer monatlicher Niedrigwasserabfluss
DGJ	Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch	MoNQ	Monatlicher Niedrigwasserabfluss
DWD	Deutscher Wetterdienst	MQ	Mittlerer Abfluss
GK	Geologische Karte	N	Niederschlagshöhe
GÜK	Geologische Übersichtskarte	N_{min}	Verfügbare mineralisierter Stickstoff
GruWaH	Grundwasserdatenbank Hessen	PSM	Pflanzenschutzmittel
GrwV	Grundwasserschutzverordnung	Q	Abfluss
GWK	Grundwasserkörper	REGNIE	Regionalisierung der Niederschlagshöhen Deutschlands
GWN	Grundwasserneubildung	TRAIN	Verdunstungsmodell (TRANspiration und INterzeption)
GWN-BW	Bodenwasserhaushaltsmodell	WRRL	Wasserrahmenrichtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates
HBV	Niederschlag-Abfluss-Modell (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning)		
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Name bis 2015)		
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (neuer Name seit 2016)		

