



Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012



Umwelt und Geologie

Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012

Wiesbaden, 2013

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

Umwelt und Geologie

ISSN 1617-4038

ISBN 978-3-89026-374-8

Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012

Redaktion: Harald Rückert

Bearbeitung: Harald Rückert, Dr. Georg Berthold, Heike Greb, Jeannette Stüber-Renschin, Mario Hergesell, Sybille Siebert, Dr. Bernd Leßmann

Layout: Nadine Monika Lockwald

Titelbild: Foto oben: © bigfoot – Fotolia.com, Foto unten: Trinkwasserbrunnen im Taunus.

Herausgeber, © und Vertrieb:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-111

Telefax: 0611 6939-113

E-Mail: vertrieb@hlug.hessen.de

www.hlug.de

Inhalt

Vorwort	5
Einleitung	6
2 Allgemeines zum Grundwasserhaushalt Hessens	7
2.1 Wasserkreislauf und Wasserhaushaltsgrößen	7
2.2 Grundwasserneubildung	9
2.3 Grundwasserleiter	11
2.4 Hydrogeologische Räume	12
3 Grundwasserbeschaffenheit in Hessen	13
3.1 Landnutzung	13
3.2 Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete	15
3.3 Messnetze	18
3.3.1 Landesgrundwasserdienst (LGD)	18
3.3.2 Rohwasseruntersuchungsverordnung (RUV)	18
3.3.3 Monitoringmessnetz nach der Wasserrahmenrichtlinie	20
3.4 Datenverarbeitung und Bereitstellung	20
4 Anorganische Wasserinhaltsstoffe	21
4.1 Hauptinhaltsstoffe (Kationen/Anionen)	21
4.2 Wasserhärte	23
4.3 Nitrat	25
4.3.1 Allgemeines	25
4.3.2 Nitratuntersuchungen der Grund- und Rohwässer	25
4.3.3 Flächenhafte Darstellung der Nitratkonzentrationen	25
4.3.4 Nitratkonzentrationen im Grundwasser differenziert nach der Landnutzung	29
4.3.5 Nitrat-Untersuchungsergebnisse 2011	32
4.3.6 Untersuchung des Trends bei den Nitratkonzentrationen	33
4.4 Ammonium	36
4.5 Ausgewählte anorganische Spurenstoffe	39
4.5.1 Einführung	39
4.5.2 Anorganische Spurenstoffe	39
5 Organische Wasserinhaltsstoffe	54
5.1 Pflanzenschutzmittel	54
5.1.1 Einführung	54
5.1.2 Eintragspfade von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in die Gewässer	55
5.1.3 Pflanzenschutzmittelbefunde für das Jahr 2011	56
5.1.4 Zugelassene Pflanzenschutzmittelwirkstoffe	58
5.1.5 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, bei denen ein Anwendungsverbot besteht.....	59
5.1.6 Nicht relevante Metabolite von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen	62

5.2 Arzneimittelrückstände	65
5.2.1 Einführung	65
5.2.2 Untersuchungen in Hessen	66
5.2.3 Aktuelles Arzneimittelmessprogramm	67
5.3 Süßstoffe im Grundwasser	69
6 Mikrobiologische Parameter	70
6.1 Einführung	70
6.2 Ergebnisse	72
7 Grundwasserbeschaffenheit und WRRL	77
8 Zusammenfassung und Ausblick	82
9 Literaturverzeichnis	84
Abkürzungsverzeichnis	87

Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

Grund- und Trinkwasserschutz ist für Hessen von sehr großer Bedeutung. Mehr als 95 % des für die öffentliche Wasserversorgung genutzten Wassers stammen aus dem Grundwasser.

Die systematische und flächendeckende Erfassung und Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit ist eine unverzichtbare Grundlage für den Grund- und Trinkwasserschutz. Tendenzen einer sich verändernden Grundwasserbeschaffenheit können so frühzeitig erkannt werden.

Der Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012 gibt Auskunft zu geogenen und anthropogenen Einflussgrößen auf die Grundwasserqualität. Der Bericht hat dabei das Ziel, die Beschaffenheit der Grundwässer in Hessen in möglichst allgemeinverständlicher Weise darzustellen, dabei werden gleichzeitig dem Fachpublikum wertvolle Informationen zur Verfügung gestellt.

Mit den angewandten statistischen und geostatistischen Verfahren sind Auswertungen über einen umfangreichen Datenpool möglich, die qualifizierte Aussagen über den Zustand und die Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit zulassen. Somit bietet der Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012 eine Basis, vorhandene Belastungen zu erkennen, um gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen einleiten zu können oder bestehende fortzusetzen.

Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die derzeit vorhandenen Belastungen des Grundwassers meist schon vor Jahren oder gar Jahrzehnten verursacht worden sind. Um in Bezug hierauf maßgebliche Verbesserungen der Grundwasserqualität zu erreichen, bedarf es vor allem mittel- und langfristiger Maßnahmen. Oberstes Ziel im Sinne eines vorsorgenden Grundwasserschutzes muss jedoch die Vermeidung jeder Art von Grundwasserbelastung sein.

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The script is cursive and fluid.

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

Einleitung

Grundwasser ist nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) das unterirdische Wasser, welches in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund (Gesteinen) steht.

Hessen zeichnet sich durch eine große Vielfalt an Locker- und Festgesteinen aus. Die unterschiedliche Zusammensetzung dieser Gesteine spiegelt sich in der Beschaffenheit des Grundwassers wider. Unterschiedliche Grundwassertypen resultieren hieraus. Insbesondere kann die Art der Landnutzung, z. B. durch die Landwirtschaft oder durch Siedlungen, einen Einfluss auf die Beschaffenheit des Grundwassers haben. Das Grundwasser ist nachhaltig zu bewirtschaften, insbesondere mit dem Ziel bestehende und künftige Nutzungsmöglichkeiten besonders für die öffentliche Wasserversorgung (Daseinsvorsorge) zu erhalten oder zu schaffen.

In Hessen sind wir in der glücklichen Lage, Trinkwasser in ausreichender Menge aus dem öffentlichen Wassernetz entnehmen zu können. Nur in einigen Bereichen, wie z. B. dem Hessischen Ried, sind lokale Nutzungskonflikte offensichtlich. Eine strenge Überwachung sorgt dafür, dass das von den Wasserwerken ins öffentliche Netz eingespeiste Wasser von gleichbleibend hoher Qualität ist. Das Wasser erfüllt dabei die gesetzlichen Vorgaben der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001). Das Trinkwasser muss danach so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit auszuschließen ist.

Das Grundwasser verdankt seine in der Trinkwasserverordnung geforderte Reinheit überwiegend den schützenden Deckschichten aus z. B. Sand, Kies oder

anderen Gesteinsschichten. Deshalb gilt es im Vergleich zu oberirdischen Gewässern als gut geschützt gegenüber Verunreinigungen. Doch Reinigungs- und Rückhaltevermögen der überlagernden Deckschichten sorgen nicht immer für die gewünschte Reinheit. Auch das Grundwasser ist anfällig gegenüber Verschmutzungen.

Ist Grundwasser verschmutzt, wie z. B. bei Grundwasserschadensfällen oder durch eine grundwasserbelastende Flächennutzung, sind Sanierungsmaßnahmen meistens mit einem großen technischen und finanziellen Aufwand verbunden. Zudem benötigen solche Maßnahmen überwiegend einen langen Zeitraum. Daher kommt dem vorbeugenden Grundwasserschutz eine sehr hohe Bedeutung zu. Deshalb ist die systematische und flächendeckende Erfassung und Auswertung der Grundwasserbeschaffenheit eine unverzichtbare Voraussetzung für einen erfolgreichen Grundwasserschutz. Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit können so frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden, wenn der vorbeugende Grundwasserschutz nicht hinreichend war.

Zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit wird in Hessen seit dem Jahr 1984 ein Landesgrundwassermessnetz betrieben. Zudem sind Betreiber von Wassergewinnungsanlagen seit dem Jahr 1991 durch die Rohwasseruntersuchungsverordnung verpflichtet (RUV 1991), mindestens ein Mal im Jahr eine Analyse des geförderten Rohwassers vornehmen zu lassen.

Die Analysen werden zentral in einer Datenbank des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) gesammelt und ausgewertet.

2 Allgemeines zum Grundwasserhaushalt Hessens

2.1 Wasserkreislauf und Wasserhaushaltsgrößen

Rd. 70 % der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Jedoch ist nur rd. 2,5 % der globalen Wasserressource Süßwasser, wobei hiervon wiederum rd. 69 % in Schnee und Eis gebunden ist, welches vor allem an den Polen vorhanden ist (GALLER 1999). Grundwasser ist vor diesem Hintergrund eine wertvolle Süßwasserressource, deren weitgehend uneingeschränkte Nutzung, wie es bei uns in Hessen der Fall ist, keine Selbstverständlichkeit ist. Zudem kommt in Hessen das Trinkwasser mit rd. 95 % fast ausschließlich aus dem Grundwasser.

Ein großer Anteil des auf die Erde fallenden Niederschlags gelangt durch verschiedene Verdunstungsprozesse (Transpiration, Evaporation, Interzeption), die am Boden, an bzw. durch Pflanzen oder an Wasseroberflächen stattfinden, direkt wieder in die Atmosphäre. Die nicht verdunsteten Niederschlagsanteile (Gesamtabfluss) gelangen teils als Direktabfluss (Summe aus Oberflächenabfluss und oberflächennahem Zwischenabfluss) mit einer geringen zeitlichen Verzögerung in die Oberflächengewässer. Der restliche Teil versickert und gelangt nach einer Passage durch die ungesättigte Gesteinszone mit einer deutlichen zeitlichen Verzögerung in den Grundwasserraum.

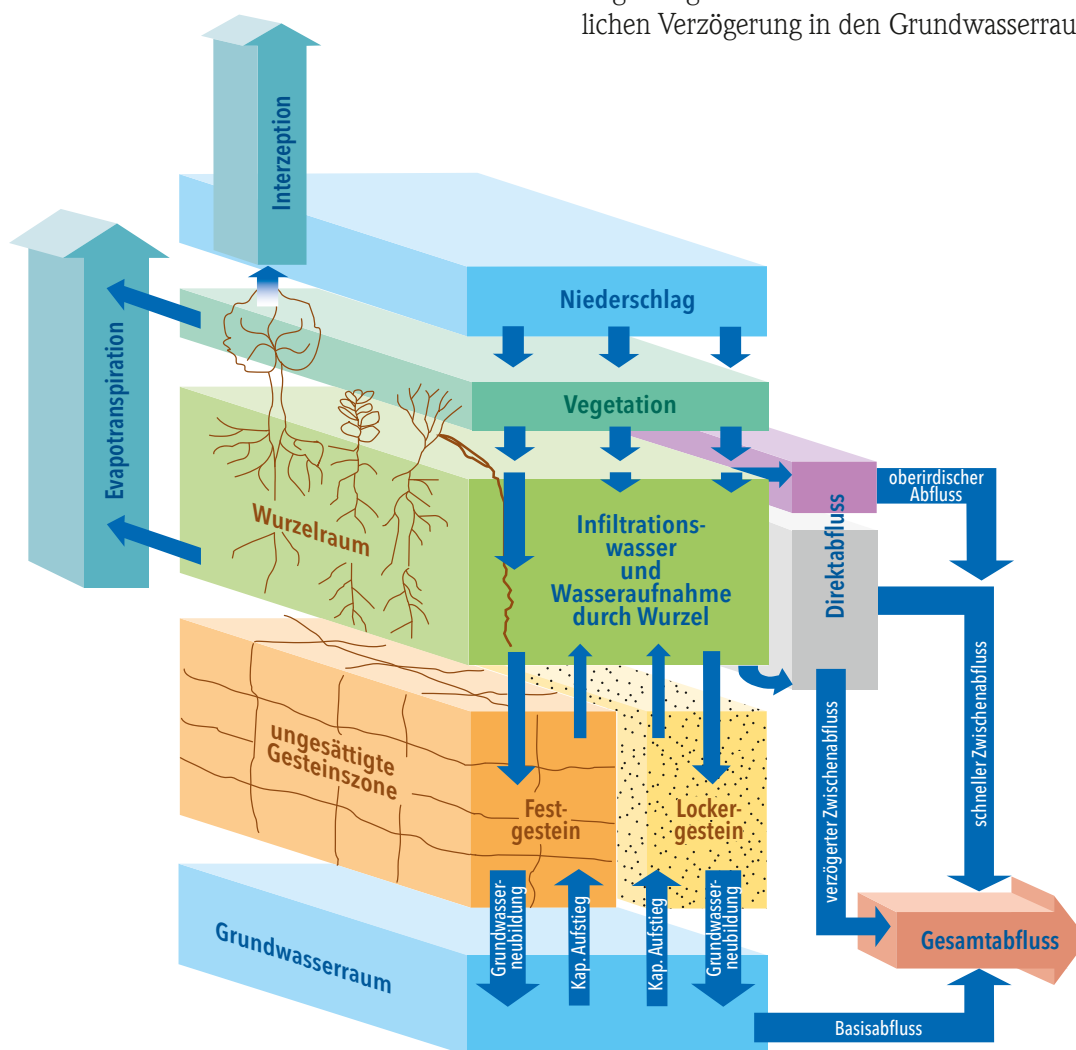


Abb. 1: Der terrestrische Wasserhaushalt (DÖRHÖFER et al., 2001).

Auf der Grundlage korrigierter Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) fallen in Hessen im 30-jährigen Mittel (1971–2000) rd. 845 mm Niederschlag pro Jahr. Durch die topographische Struktur des Landes mit Mittelgebirgen und Ebenen ist die Niederschlagsverteilung räumlich stark gegliedert (Abb. 2a). Die größten mittleren jährlichen Niederschlagshöhen treten in den Höhenlagen der Mittelgebirge auf, während sich die Niederungen als relativ niederschlagsarm erweisen. Im Landesmittel verdunsten rd. 70 % des gefallenen Niederschlags (reale Verdunstung: 589 mm/a), die verbleibenden 30 % stehen als Gesamtabfluss (256 mm/a) für die verschiedenen Abflussprozesse zur Verfügung.

Bei der mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW ermittelten Verteilung der realen Verdunstung (Abb. 2b) fällt auf, dass diese in nicht bewaldeten Niederungen deutlich geringer als in bewaldeten Hochlagen der Mittelgebirge ist. 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 reale Verdunstung ab bzw. ab einem kritischen Bodenwas-

sergehalt findet diese nicht mehr statt. Die räumliche Verteilung des Gesamtabflusses (Abb. 2c) resultiert aus der Überlagerung der Verteilungsmuster des Niederschlags und der realen Verdunstung. Der Einfluss von Orographie und Landnutzung ist deutlich zu erkennen. Vom Gesamtabfluss in Höhe von 256 mm/a entfallen 155 mm/a auf den Direktabfluss und 101 mm/a auf die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag, d.h. nur 12 % des Niederschlags wird zu Grundwasser.

Da mit zunehmender Reliefenergie die schnellen Abflusskomponenten (Oberflächen- und Zwischenabfluss) zunehmen, ist das Verteilungsmuster des Direktabflusses (Abb. 2d) erwartungsgemäß am stärksten durch die topographische Gliederung Hessens geprägt. Der Direktabfluss ist in den reliefierten Mittelgebirgsregionen am höchsten und in den reliefarmen Niederungen am niedrigsten. Im Hessischen Ried und der Untermain-Ebene findet mit Ausnahme der versiegelten Flächen (Siedlungsflächen) kein nennenswerter Direktabfluss statt. Hier entspricht der Gesamtabfluss im Wesentlichen der aus Niederschlag gebildeten Grundwasserneubildung.

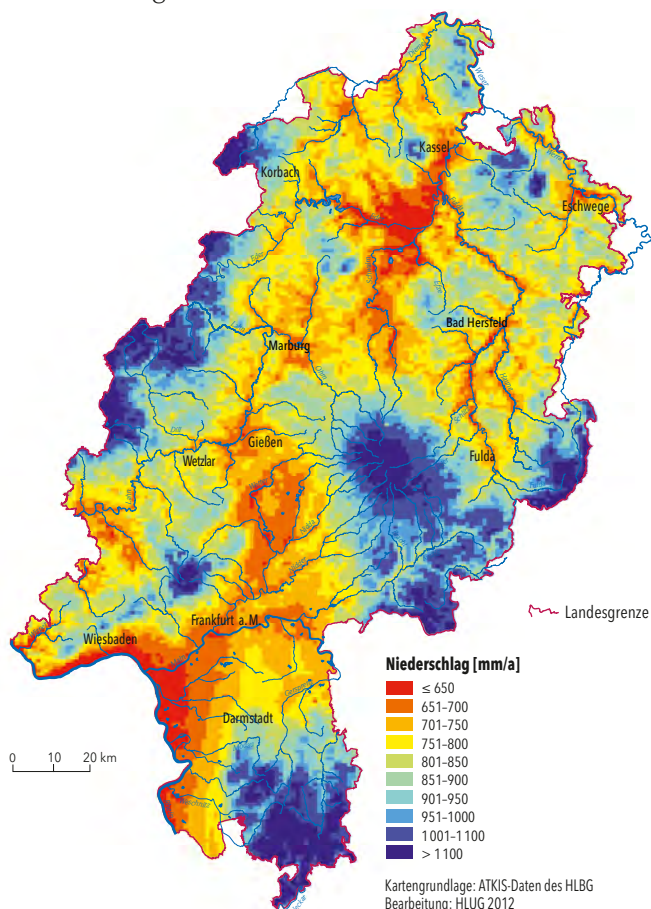


Abb. 2a: Korrigierter Niederschlag.

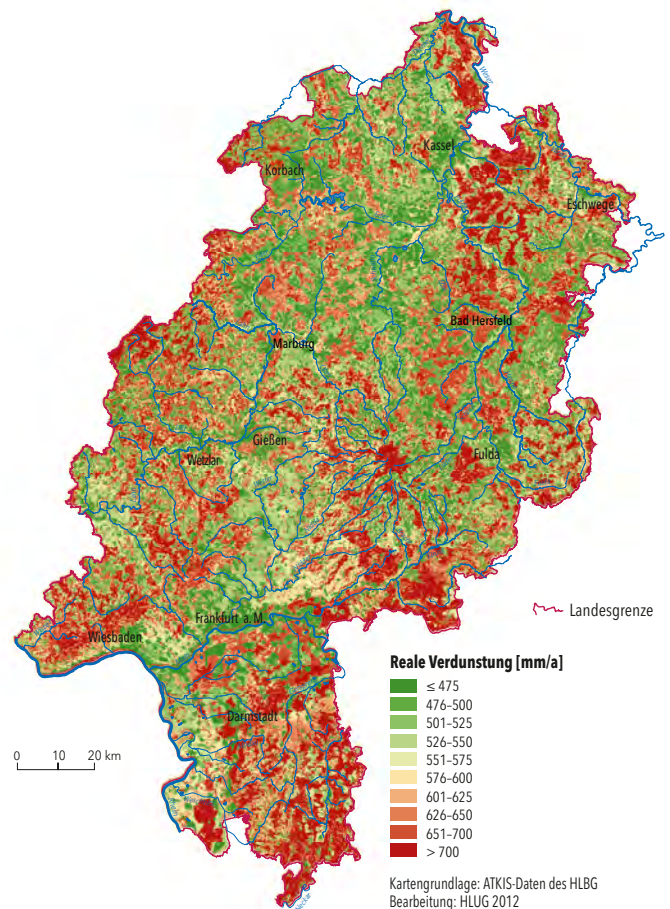


Abb. 2b: Reale Verdunstung.

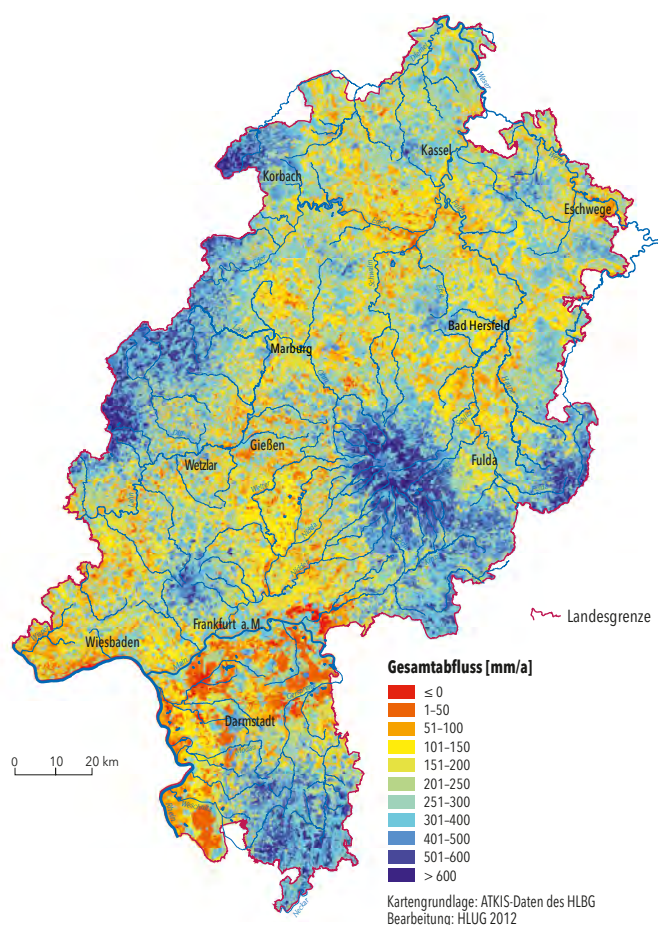


Abb. 2c: Gesamtabfluss.

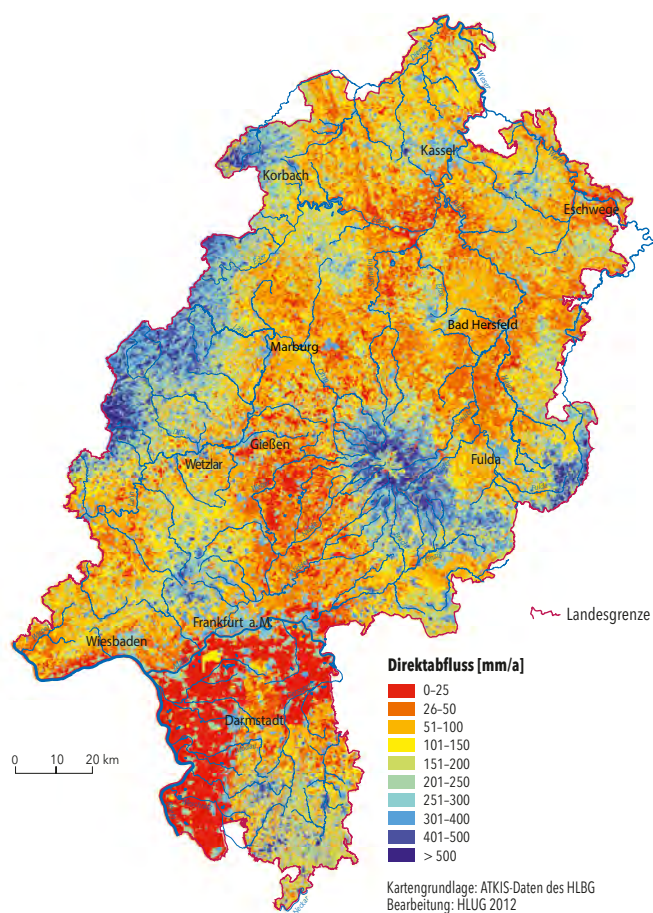


Abb. 2d: Direktabfluss.

2.2 Grundwasserneubildung

Unter Grundwasserneubildung wird laut DIN 4049-3 der Zufluss von in den Boden infiltriertem Wasser zum Grundwasser verstanden. Die Grundwasserneubildung ist ein Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressource und deshalb eine wichtige hydrogeologische Kenngröße für die Beurteilung des mengenmäßigen Grundwasserzustands. In Hessen, wo das Trinkwasser fast ausschließlich aus dem Grundwasser gewonnen wird, sind regional differenzierte Kenntnisse der Grundwasserneubildung besonders wichtig.

Die Grundwasserneubildung hat nicht nur einen Einfluss auf den mengenmäßigen Zustand, sondern auch auf die Beschaffenheit des Grundwassers. Die Menge an Wasser, die durch die Bodenpassage und die Gesteine in das Grundwasser gelangt, kann Einfluss auf die Konzentration von Stoffen im Grundwasser haben. So kann mit einer höheren Grundwasserneubildung

ein verstärktes Auswaschen von Stoffen möglich sein. Andererseits kann es durch eine erhöhte Grundwasserneubildung auch zu Verdünnungseffekten im Grundwasser kommen.

Als ein Teilprozess des terrestrischen Wasserkreislaufs (Kapitel 2.1) ist die Grundwasserneubildung von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig. Neben den klimatischen Bedingungen (Niederschlag und Verdunstung) wird die Grundwasserneubildung durch die Landnutzung, die Bodenart, den geologischen Aufbau des Untergrunds, die Topographie, den Grundwasserflurabstand und durch die Lage zu Gewässern beeinflusst. Neben der Niederschlagsversickerung kann die Versickerung aus oberirdischen Gewässern zur Grundwasserneubildung beitragen. Zudem kann der unterirdische Zustrom aus Nachbargebieten das Grundwasserdargebot erhöhen.

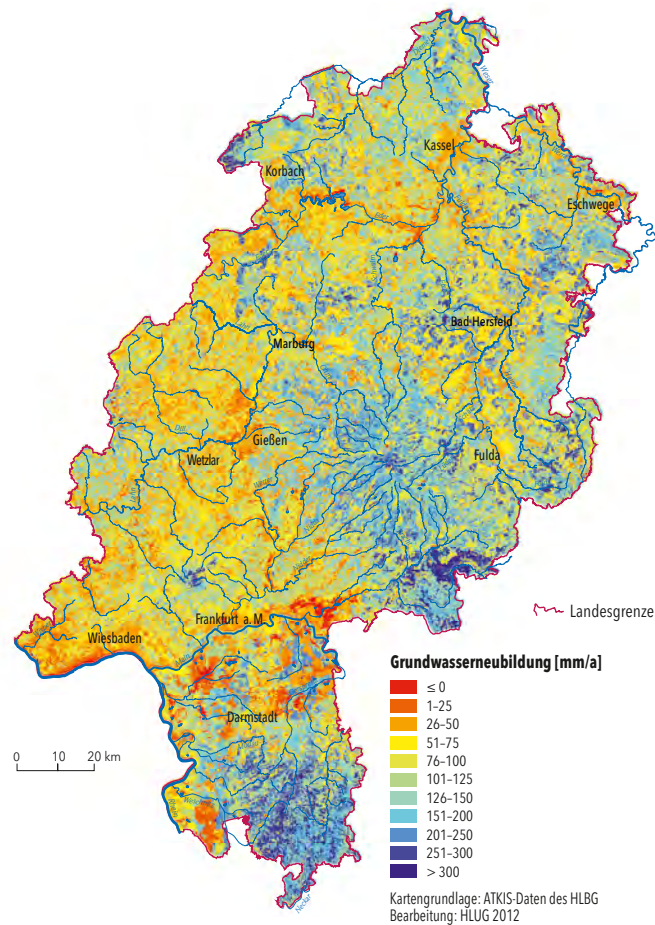


Abb. 2e: Grundwasserneubildung aus Niederschlag.

In Hessen findet die Grundwasserneubildung überwiegend während des Winterhalbjahres statt, wenn die Verdunstung sowie der Wasserverbrauch durch die Vegetation gering ist und der Niederschlag größtenteils versickern kann.

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag ist für die Referenzperiode 1971–2000 in Abb. 2e als Übersichtskarte dargestellt. Aufgrund der vielen Einflussgrößen ist die Grundwasserneubildung durch ein sehr heterogenes Verteilungsmuster gekennzeichnet. Die Verteilung des Niederschlags ist deutlich zu erkennen. Regional und lokal treten allerdings andere Einflussgrößen in den Vordergrund.

So sind z. B. die niedrigeren Grundwasserneubildungsraten im Rheinischen Schiefergebirge auf die dort anzutreffenden geringen hydraulischen Durchlässigkeiten und Speicherkapazitäten des Gesteinsuntergrundes zurück zu führen.

Umgerechnet auf die Fläche Hessens werden im langjährigen Mittel (1971–2000) jährlich rd. 2,13 Mrd. m³ Grundwasser neu gebildet. Demgegenüber werden im Mittel jährlich rd. 407 Mio. m³ Grundwasser entnommen. Der Vergleich zeigt, dass hessenweit jährlich rd. 5-fach mehr Grundwasser neu gebildet als gefördert wird.

2.3 Grundwasserleiter

Grundwasser wird nach der DIN 4049 als unterirdisches Wasser definiert, das die Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeiten ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird. Es gibt Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter. In Nord- und Mittelhessen überwiegen Kluftgrundwasserleitersysteme, wie

z. B. im Rheinischen Schiefergebirge, im Vogelsberg und im Fulda-Werra-Bergland. In Südhessen sind neben Kluftgrundwasserleitersystemen, wie im Odenwald, im Spessart und im Taunus, auch großflächige Porengrundwasserleitersysteme vorhanden, z. B. im Hessischen Ried und in der Untermainebene.

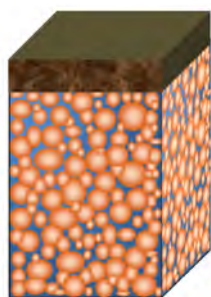


Abb. 3a: Porengrundwasserleiter.

Porengrundwasserleiter sind nach DIN 4049 Grundwasserleiter im Locker- oder Festgestein, dessen durchflusswirksamer Hohlraum von Poren gebildet wird. Sie bestehen in Hessen zumeist aus locker gelagerten Sanden und Kiesen. Weiterhin sind sie überwiegend ergiebige Grundwasserspeicher.

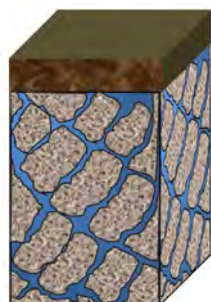


Abb. 3b: Kluftgrundwasserleiter.

Kluftgrundwasserleiter sind Festgesteine, deren durchflusswirksamer Hohlraumanteil aus Klüften und anderen Trennfugen gebildet wird (DIN 4049). Das Wasser fließt durch die mehr oder weniger weiten Klüfte. In der Regel weisen Kluftgrundwasserleiter gegenüber Porengrundwasserleitern eine geringere Speicherfähigkeit auf.

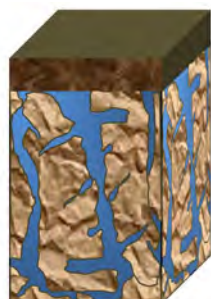


Abb. 3c: Karstgrundwasserleiter.

Karstgrundwasserleiter sind Festgesteine, in denen Klüfte auf Grund von chemischen Lösungsvorgängen zu größeren, unterirdischen Hohlräumen aufgeweitet wurden. Sie sind typisch für wasserlösliche Gesteine wie Kalke, Dolomite und Gips/Anhydrit.

2.4 Hydrogeologische Räume

Nach den Kriterien Durchlässigkeit, geochemischer Gesteinstyp, Hohlraumart, Gesteinsart und Verfestigung wurden in Deutschland durch die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) hydrogeologische Großräume, Räume und Teilräume abgegrenzt.

Die hessische Landesfläche hat Anteile an fünf hydrogeologischen Großräumen, neun hydrogeologischen

Räumen und 25 hydrogeologischen Teilräumen. Die hydrogeologischen Abgrenzungen zu den unterschiedlichen hydrogeologischen Räumen beziehen sich dabei überwiegend auf die Eigenschaften bzw. die Beschaffenheit des oberen Grundwasserleiters. FRITSCH et al. (2003) liefert eine umfassende Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume in Hessen.

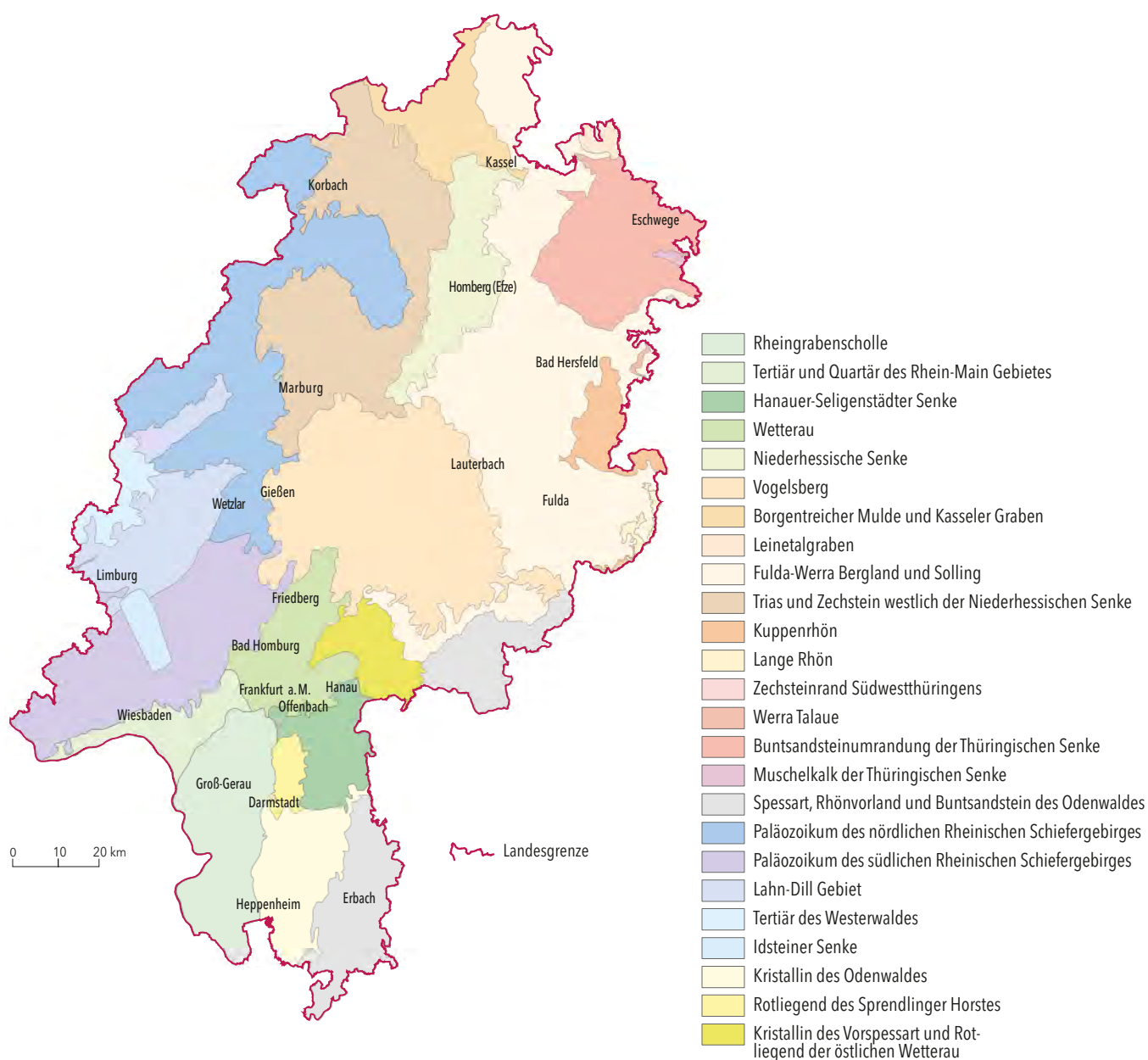


Abb. 4: Hydrogeologische Teilräume in Hessen.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

3 Grundwasserbeschaffenheit in Hessen

3.1 Landnutzung

Die Landnutzung ist ein wichtiger Faktor, der Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Grundwassers hat. Sie hat dabei Einfluss auf viele Prozesse des oberirdischen und unterirdischen Wasserkreislaufs, so ist die Landnutzung z. B. eine wichtige Größe bei der Ermittlung des Wasserhaushalts (z. B. Grundwasserneubildung, Direktabfluss).

Die Art und Intensität der jeweiligen Landnutzung können wichtige Hinweise auf eine mögliche Belastung des Grundwassers geben.

Landwirtschaftliche Flächennutzung (Acker, Grünland, Sonderkulturen sowie Marktfrüchte)

Die Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe beläuft sich hessenweit auf rd. 17 800. Die sogenannte „landwirtschaftliche Nutzfläche (Acker- und Grünlandnutzung)“ in Hessen beträgt rd. 780 000 ha, darunter rd. 480 000 ha Acker (INVEKOS 2011). Der Getreideanbau nimmt dabei rd. 70 % der Ackerfläche ein. Besonders viele landwirtschaftliche Betriebe befinden sich in den Mittelgebirgsregionen, in denen häufig das Landschaftsbild durch die Landwirtschaft geprägt wird.

In den klimatisch besonders begünstigten Regionen Hessens (z. B. Rheingau, Bergstraße) gibt es Sonderkulturen wie den Weinbau. Im Hessischen Ried werden verstärkt Marktfrüchte wie z. B. Spargel, Erdbeeren und Salat angebaut. In Mittel- und Nordhessen sind Ackerland und Grünlandnutzung die vorherrschende Nutzungsform. Die Wetterau zeichnet sich mit ihren mächtigen Lößstandorten als guter Ackerbaustandort aus. In den südhessischen Mittelgebirgslagen (z. B. Odenwald), den nordwesthessischen Mittelgebirgslagen (z. B. Waldeck-Frankenberg, Lahn-Dill-Gebiet) sowie osthessischen Mittelgebirgslagen (z. B. Werra-Meißner-Kreis, Schwalm-Eder-Gebiet) sind in der Regel für die landwirtschaftliche Produktion weniger ertragsfähige Räume anzutreffen. Neben den Anbauverhältnissen ist der Viehbesatz eine wichtige Größe bei der Abschätzung eines möglichen Belastungspotenzials für das Grundwasser, so kann z. B. für Rinder und Schweine eine Aussage über

die jährliche Stickstoff- und Phosphatausscheidung getroffen werden. Aus der Anzahl der Tiere ergibt sich eine erste Abschätzung zum Anfall an Wirtschaftsdünger in einer Region. Als Wirtschaftsdünger werden überwiegend organische Dünger wie Gülle, Jauch und Mist bezeichnet.

Grünland hat mit rd. 294 000 ha aus Sicht des qualitativen Grundwasserschutzes Vorteile gegenüber den Ackerflächen, da durch eine geschlossene Grasnarbe die Gefahr des Nitrataustrags geringer ist. Gegenüber der Landnutzung „Wald“ hat Grünland den Vorteil einer höheren Grundwasserneubildungsrate. Vor allem in Nadelwäldern ist die Verdunstung erhöht und damit die Grundwasserneubildung verringert.

Wald

Die Waldfläche in Hessen beträgt rd. 895 000 ha und umfasst somit über 42 % der Landesfläche. Gebiete mit hohen Waldanteilen sind die Mittelgebirgslandschaften wie Odenwald, Spessart, Taunus, das nördliche hessische Schiefergebirge sowie das Weserbergland (HMUELV, NATURSCHUTZ/FORSTEN 2013). Bei der Nutzungsform Wald ist der Mischwald die vorherrschende Waldform in Hessen, gefolgt vom Nadelwald.

Aufgrund der verhältnismäßig großen Kronenoberfläche der Wälder werden durch den sogenannten Auskämmeffekt der Baumkronen verstärkt luftgetragene Schadstoffe in die Wälder eingetragen, und zwar wesentlich mehr, als dies bei Freiflächen der Fall ist. Laub- und Mischwälder zeichnen sich im Vergleich zu reinen Nadelwäldern durch geringere anthropogene Stoffeinträge und somit durch eine verminderte Gefahr von Stoffausträgen ins Grundwasser aus.

Während der Sulfateintrag seit Ende der 1980er Jahre stark zurückgegangen ist, bewegen sich die Stickstoffeinträge auf einem gleichbleibenden, deutlich zu hohen Niveau. So liegt der Stickstoffeintrag in den Waldökosystemen auch aktuell über dem Stickstoffbedarf der Bäume und Waldbodenpflanzen (HMUELV, WALDZUSTANDSBERICHT 2010).

Aus diesen Gründen kommt der Beobachtung der Grundwässer unter Waldgebieten eine besondere Bedeutung zu.

Siedlung

Die qualitative Beeinflussung des Grundwassers unter Siedlungsflächen unterliegt vielfältigen Einflüssen. Haupteinflussfaktoren sind die Flächennutzungen durch Siedlungen, Straßen sowie Industrie und Gewerbe. Streusalzeinsätze, der Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln in Grünanlagen und Kleingärten können so z. B. im Grundwasser nachgewiesen werden.

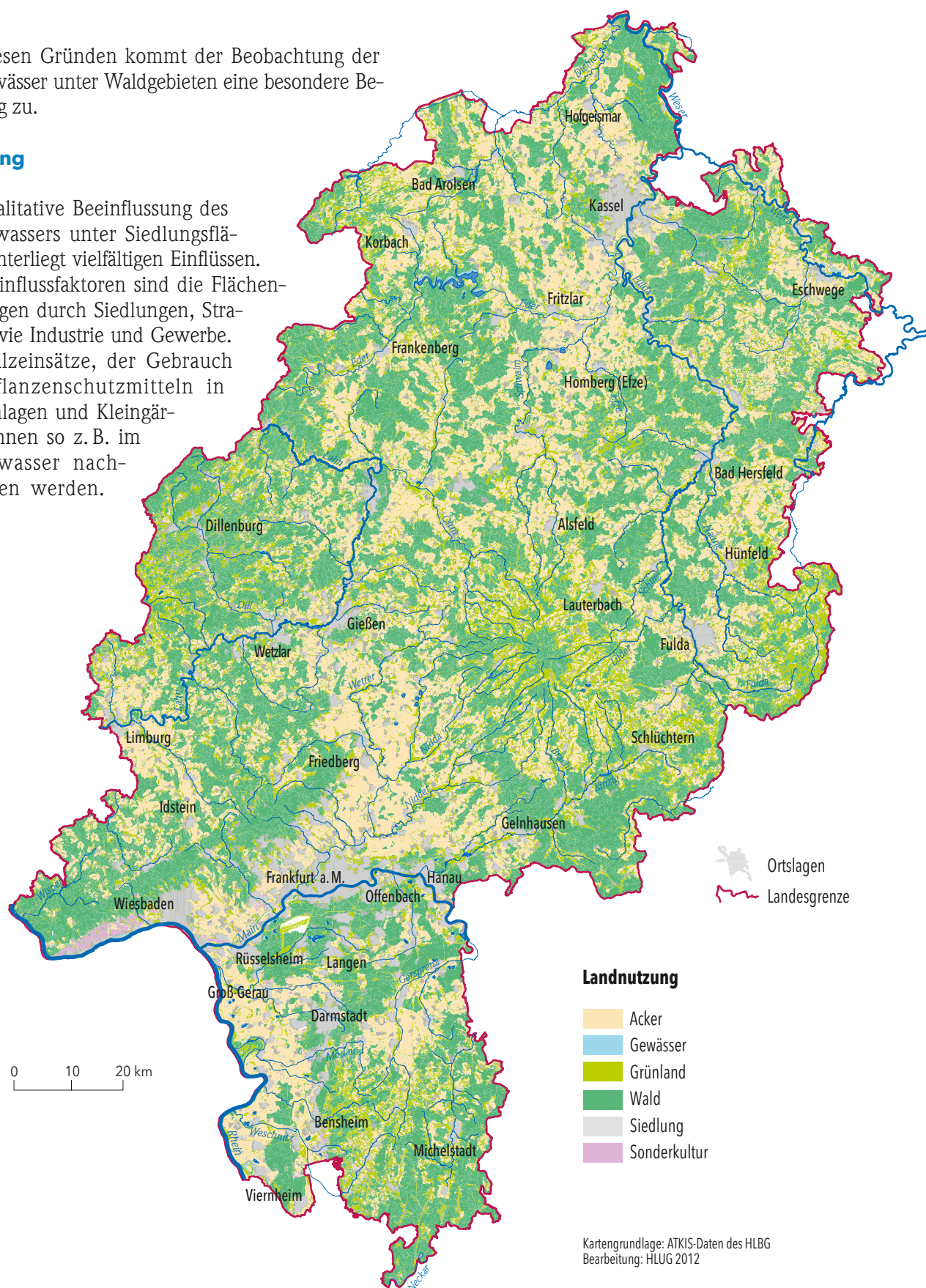


Abb. 5: Landnutzung, Kartengrundlage ATKIS.

Die Exfiltration von Abwasser aus Abwasserkanälen kann ein Einflussfaktor sein. Allgemeine Leitparameter, die eine Belastung des Grundwassers unter urbanen Räumen anzeigen, sind u. a. eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit und eine erhöhte Borkonzentration.

Insgesamt ist die Landnutzung eine wesentliche Grundlage zur Abschätzung des Gefährdungspotenzials für das Grundwasser. Diese Risikoabschätzung kann auf Grundlage von leicht zugänglichen Daten (topografische Daten, Bevölkerungs- und Agrarstatistik, u. a.) durchgeführt werden.

3.2 Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete

In Hessen sind 1 682 Trinkwasserschutzgebiete (30 % der Landesfläche) und 24 Heilquellenschutzgebiete (13 % der Landesfläche) ausgewiesen. Weitere 251 Trinkwasserschutzgebiete und 7 Heilquellenschutzgebiete befinden sich im Verfahren zur Ausweisung. Unter Berücksichtigung der Gebietsüberschneidungen sind insgesamt 38 % (8 088 km²) der Landesfläche als Wasserschutzgebiete ausgewiesen (Stand 01.04.2013).

Trinkwasserschutzgebiete

Die Festsetzung von Trinkwasserschutzgebieten mit der jeweiligen Wasserschutzgebietsverordnung stellt ein klassisches Instrument des vorbeugenden Grundwasserschutzes in den Einzugsgebieten der öffentlichen Wasserversorgung dar. Die Wasserschutzgebietsverordnungen regeln u. a. Ver- und Gebote in den einzelnen Schutzzonen der Trinkwasserschutzgebiete, in denen bestimmte Handlungen und Nutzungen verboten bzw. eingeschränkt sind. Hierdurch kann z. B. die Ausbringung von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln in den landwirtschaftlichen Nutzflächen geregelt und dadurch der Eintrag in das Grundwasser verhindert oder minimiert werden.

Im HLUG erfolgt die zentrale Erfassung und Darstellung der festgesetzten und im Verfahren befindlichen Trinkwasserschutzgebiete in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien.

Ein Trinkwasserschutzgebiet umfasst grundsätzlich das gesamte Einzugsgebiet einer Wassergewinnungsanlage. Da die Gefahr schädigender Einflüsse mit der Annäherung an den Fassungsbereich zunimmt, werden in der Regel drei Zonen (I, II und III) unterschieden, in denen die Schutzanforderungen zum Fassungsbereich (Zone I) hin ansteigen.

Die Schutzzonen werden in Anlehnung an die geltenden Richtlinien des DVGW, Technische Regeln, Arbeitsblatt W 101 vorgeschlagen (DVGW 2006). Die Beurteilung erfolgt auf Grundlage einer konzeptionellen Beschreibung der hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse im Einzugsgebiet. Hieraus ergibt sich eine hydrogeologische Modellvorstellung. Dabei werden die vorliegenden technischen Daten der Wassergewinnungsanlage berücksichtigt. Auf Grundlage der hydrogeologischen Modellvorstellung werden die Grenzen der Schutzzonen vorgeschlagen:

Zone I (Fassungsbereich)

Die Zone I im Nahbereich der Wassergewinnungsanlage soll gewährleisten, dass das Grundwasser in diesem Bereich vor jeglichen Verunreinigungen und Beeinträchtigungen geschützt ist. Die Zone I ist daher durch eine Einzäunung vor unbefugtem Betreten zu sichern. Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 soll die Ausdehnung der Zone I in der Regel bei Brunnen allseits mindestens 10 m und bei Quelfassungen in Richtung des zuströmenden Grundwassers mindestens 20 m betragen. Eine Flächennutzung, gleich welcher Art, ist in der Zone I nicht zugelassen.

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 zu der Wassergewinnungsanlage gefährlich sind. Daher soll die Zone II den Bereich der Umgebung der Wassergewinnungsanlage abdecken, in dem das Grundwasser 50 Tage oder weniger bis zum Erreichen der Fassung benötigt. Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 sollte für die Bestimmung der 50-Tage-Linie zunächst die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ermittelt werden.

Zone III (Weitere Schutzzone)

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

Einen Anhalt zur Bestimmung der Größe des benötigten Einzugsgebiets lässt sich aus der maximal genehmigten jährlichen Entnahmerate und aus der für das Gebiet anzunehmenden mittleren Grundwasserneubildungsspende ableiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das im Einzugsgebiet neugebildete Grundwasser nicht zu 100 % der Wassergewinnungsanlage zuströmt. Durch diese Ableitung lässt sich die benötigte minimale Größe eines Trinkwasserschutzgebiets abschätzen. Die tatsächliche Größe des Wasserschutzgebiets bzw. des Einzugsgebiets der Wassergewinnungsanlage wird jedoch primär durch die Fließrichtung des die Wassergewinnungsanlage anströmenden Grundwassers bestimmt.

Die Zone III kann in eine Zone III A und eine Zone III B aufgeteilt werden.

Nitratklassen

Die in Hessen zur Trinkwassernutzung geförderten Grundwässer haben zu einem Teil hohe Nitratkonzentrationen, die fast ausschließlich durch die landwirtschaftliche Flächennutzung im Einzugsgebiet der jeweiligen Wassergewinnungsanlage bedingt sind. Nach der Trinkwasserverordnung 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 Nitratkonzentrationen 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 Nitratkonzentrationen ab. Dabei werden drei Klassen unterschieden:

Klasse A:

Nitratkonzentration im Rohwasser < 15 mg/l

Klasse B:

Nitratkonzentration im Rohwasser 15–25 mg/l

Klasse C:

Nitratkonzentration 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 Nitratreintrags 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.

Heilquellenschutzgebiete

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

Der quantitative Schutz soll gewährleisten, 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 der LAWA-RICHTLINIE (1998) sind für alle Heilquellenschutzgebiete beide Zonen auszuweisen.

Der qualitative Schutz soll eine chemische und hygienische Verunreinigung verhindern. Die Schutz-zonen unterteilen sich entsprechend der Trinkwasserschutzgebiete in den Fassungs-bereich (Zone I), die engere Schutzzone (Zone II) und die weitere Schutzzone (Zone III). Die qualitativen Zonen II und III werden bei Bedarf für ein Heilquellenschutzgebiet, die Zone I wird immer ausgewiesen.

Bildungstypen

Nach den LAWA-RICHTLINIEN (1998) werden Heilquellen in Abhängigkeit von der Größe des Bildungsgebiets, 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:

1. 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 unbeeinträchtigtes 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 tritiumfrei.

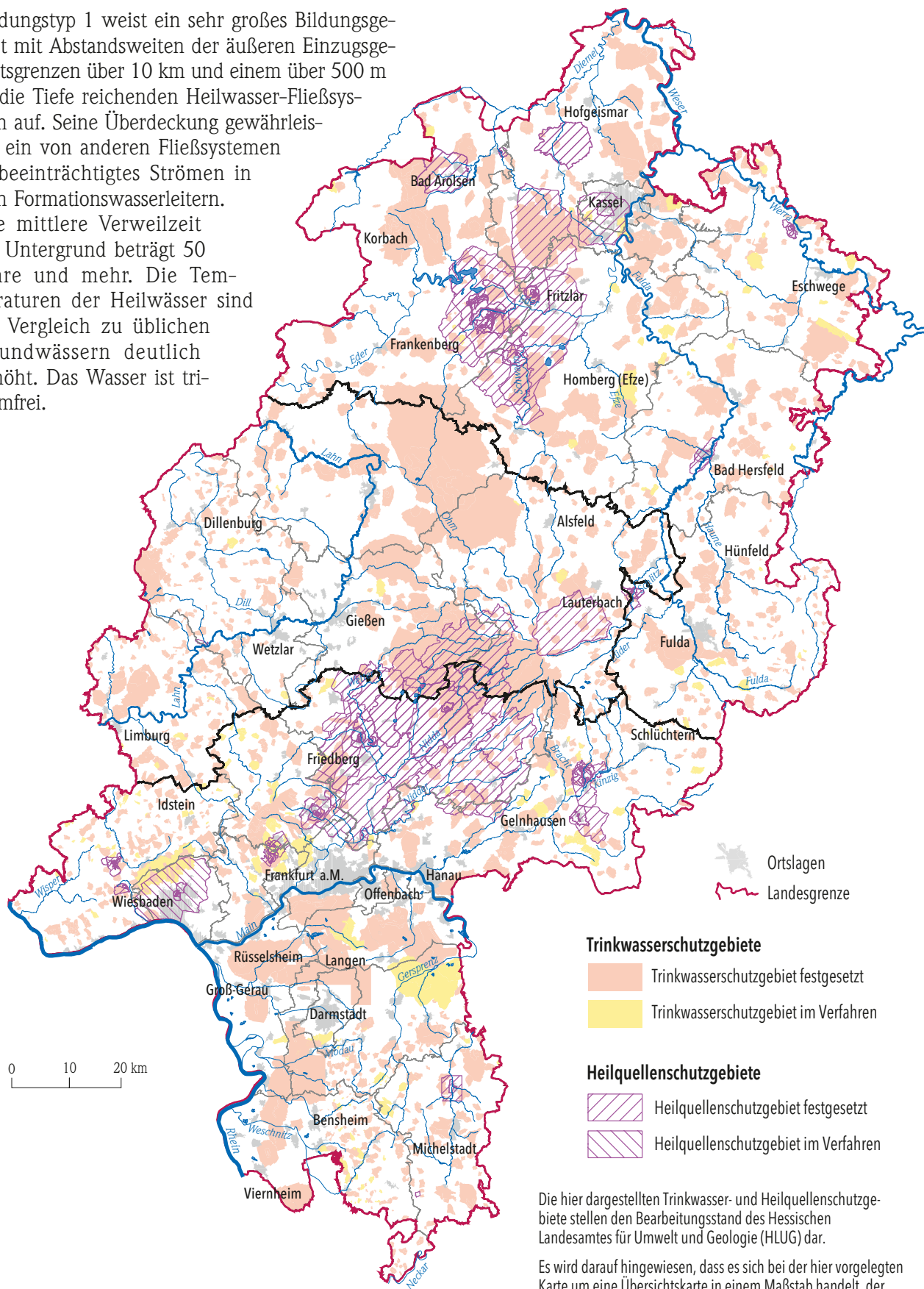


Abb. 6: Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete.

Die hier dargestellten Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete stellen den Bearbeitungsstand des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) dar.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der hier vorgelegten Karte um eine Übersichtskarte in einem Maßstab handelt, der keine rechtsverbindliche Aussage darstellt und daher nur zur Orientierung dienen kann.

Die rechtsverbindlichen Unterlagen liegen bei den jeweils zuständigen Regierungspräsidien, Abteilung Umwelt.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

2. 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 die 50 Jahre. Anteilig können geringe Mengen jüngeren Grundwassers enthalten sein. Die Temperatur des i. d. R. tritiumfreien Wassers ist gegenüber üblichen Grundwässern schwach erhöht.
3. Bildungstyp 3 verfügt über ein kleines bis mittelgroßes Bildungsgebiet von einigen 100 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.

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.

Tab. 1: Übersicht über die Merkmale für die Erfordernis von Schutzzonen für die Bildungstypen der Heilquellen (LAWA-RICHTLINIE 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

Wie bei den Trinkwasserschutzgebieten erfolgt die zentrale Erfassung und Darstellung der festgesetzten und im Verfahren befindlichen Heilquellenschutzgebiete in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien im HLUG.

3.3 Messnetze

Die zur Bewertung der Grundbeschaffenheit herangezogene Datenbasis bezieht sich auf unterschiedliche Messnetze, die trotz verschiedener Zielvorgaben Bestandteil des landesweiten Grundwassermonitorings sind. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um das Messnetz des Landesgrundwasserdienstes und um Wassergewinnungsanlagen, die überwiegend der öffentlichen Trinkwasserversorgung dienen.

Beide Datenpools werden im HLUG gepflegt und in der Grund- und Rohwasserdatenbank Hessen (GruWaH) zusammengeführt. Daneben gibt es noch Messprogramme und Messstellen auf Grundlage der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL).

3.3.1 Landesgrundwasserdienst (LGD)

Um die Qualität des Grundwassers zu überwachen, wird durch das HLUG ein landeseigenes, flächendeckendes Grundwassermessnetz betrieben. Mit Ausnahme des Hessischen Rieds wurde die Lage der Messstellen so gewählt, dass sie möglichst naturge-

mäße und damit weitgehend anthropogen unbeeinflusste Grundwässer erschließen. Weiterhin schließen die Grundwassermessstellen und Quellen räumliche Lücken zwischen den Messstellen der Wasserversorgungsunternehmen.

Die regionale Messstellendichte wird von der Notwendigkeit der Grundwasserüberwachung bei der Gewinnung von Grundwasser bestimmt, daher ist z. B. in dem für die Grundwassergewinnung wichtigen Hessischen Ried eine höhere Messstellendichte anzutreffen. Das Messnetz des Landesgrundwasserdienstes für die Grundwasserqualität umfasst rd. 400 Messstellen, davon sind rd. zwei Drittel Grundwassermessstellen und ein Drittel Quellen.

3.3.2 Rohwasseruntersuchungsverordnung (RUV)

Um die Qualität des zur Trinkwassergewinnung geförderten bzw. gefassten Grundwassers zu überwachen, werden im Rahmen der Rohwasseruntersuchungs-

verordnung (RUV 1991) die Beschaffenheitsdaten von den Betreibern der Wassergewinnungsanlagen erhoben. Eine Untersuchungspflicht besteht, wenn Wasser zur Trinkwassergewinnung genutzt wird oder zu anderen Zwecken Trinkwasserqualität haben muss (z. B. Nahrungs- und Genussmittelherstellung). Wasserversorgungsanlagen, deren Gesamtwasserentnahme jährlich mehr als 1 000 m³ beträgt, unterliegen der Untersuchungspflicht gemäß RUV.

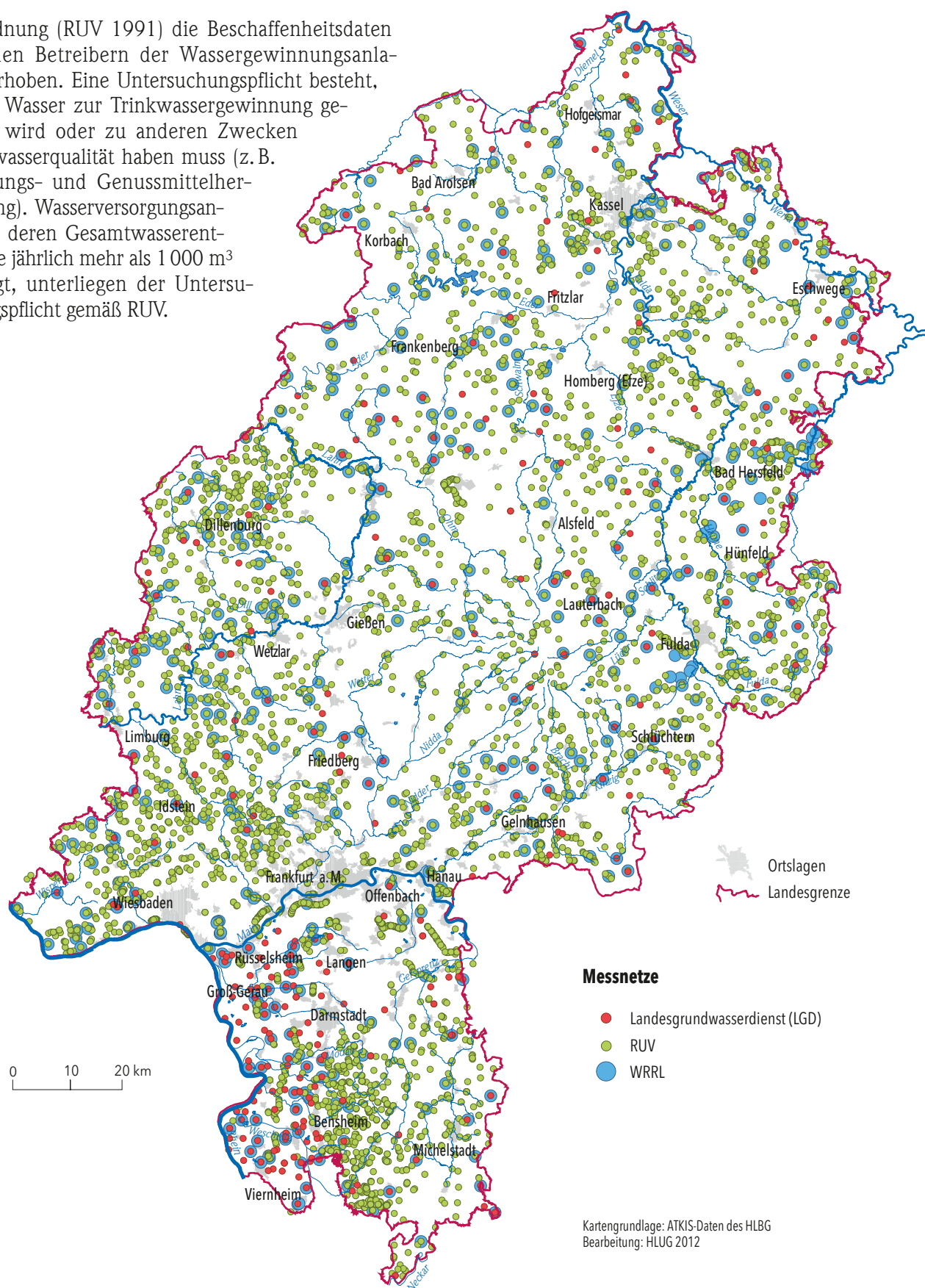


Abb. 7: Darstellung der wichtigsten Grundwasser-Messnetze.

In der RUV ist ein Mindestumfang der zu untersuchenden anorganischen und organischen Parameter festgelegt.

Standardmäßig sind einmal im Jahr Rohwasserproben zu nehmen und zu analysieren. Nitrat ist in der Regel viermal im Jahr zu untersuchen. In begründeten Ausnahmefällen kann mit Zustimmung der zuständigen Behörde vom Umfang der Untersuchungspflicht oder den vorgeschriebenen Abständen zwischen den Untersuchungen abgewichen werden.

Das Messnetz der RUV umfasst rund 4 500 Messstellen. Die Beschaffenheitsdaten der Messstellen der Wasserversorgungsunternehmen werden an das HLUG übermittelt, in der Roh- und Grundwasserdatenbank (GruWaH) erfasst und stehen dort den Wasserbehörden, Ingenieurbüros und den Wasserversorgungsunternehmen für Auswertungen zur Verfügung, aber auch der allgemeinen Öffentlichkeit zur Information.

3.4 Datenverarbeitung und Bereitstellung

Die jährlich erhobenen Grundwasserdaten werden automatisiert via Schnittstellen oder durch manuelle Eingabe in die hessische Roh- und Grundwasser-

3.3.3 Monitoringmessnetz nach der Wasser- rahmenrichtlinie

Ein weiteres hessisches Grundwasseruntersuchungsprogramm wurde auf Grundlage der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) eingerichtet. Zur Erfüllung der Anforderungen der WRRL wurden rund 420 Messstellen (WRRL-Monitoring) aus den bestehenden Messnetzen ausgewählt, deren Grundwässer in ihrer Beschaffenheit repräsentativ für die jeweiligen Grundwasserkörper sind.

Die Messstellendichte richtet sich nach den lokalen Gegebenheiten. In Grundwasserkörpern, die im Sinne der WRRL nicht im „guten chemischen Zustand“ sind, werden mehrere Messstellen zur Überwachung des qualitativen Grundwasserzustands herangezogen, während in überwiegend anthropogen unbeeinflussten Grundwasserkörpern in der Regel zwei bis drei Messstellen zur Überwachung ausgewählt wurden.

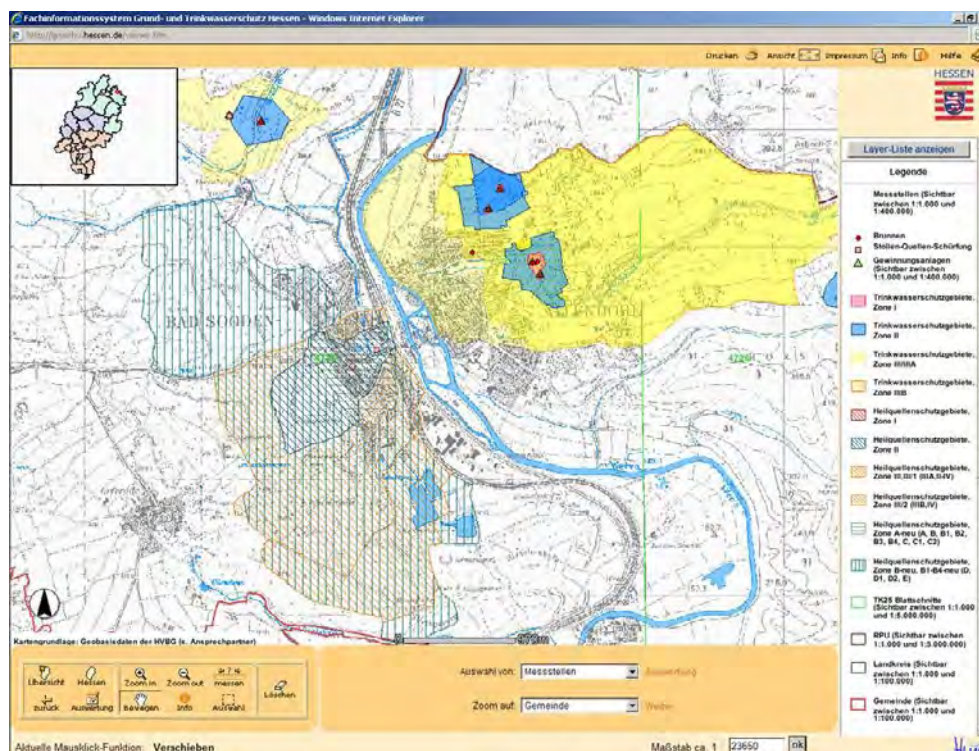


Abb. 8: Beispieldarstellung aus dem Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen.

Grundwasserdaten. Über die Schnittstellen können z. B. Analysendaten der Betreiber von Wasserversorgungsanlagen oder des Hessischen Landeslabors (LHL) in die GruWaH importiert werden. Zurzeit werden rd. 300 000 Proben mit insgesamt knapp 5 Millionen Einzelparametern in der Datenbank vorgehalten.

Das hessische Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz (GruSchu) ist ein GIS-basiertes Anwenderprogramm, das auf der HLUG-Homepage für alle Bürger zugänglich ist:

www.hlug.de/start/wasser/grundwasser/grundwasserbeschaffenheit.html

oder direkt über

gruschu.hessen.de/

GruSchu greift auf die Daten der GruWaH-Datenbank zu und ermöglicht die räumliche Abfrage von Messstellen-Stammdaten, Grundwasser-Beschaffenheitsdaten, Gewinnungsanlagendaten sowie Daten der Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete in Hessen.

4 Anorganische Wasserinhaltsstoffe

4.1 Hauptinhaltsstoffe (Kationen/Anionen)

Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium (Kationen) sowie Hydrogencarbonat, Sulfat, Nitrat und Chlorid (Anionen) bilden in der Regel bei den gelösten Ionen die Hauptbestandteile der Grundwässer. Außer Nitrat sind alle Parameter als überwiegend natürliche Bestandteile anzusehen. Hohe Nitratkonzentrationen sind meistens auf die landwirtschaftlichen Flächennutzungen zurückzuführen.

Um anthropogene Beeinflussungen erkennen zu können, ist es entscheidend, die geogenen bzw. natürlichen Stoffkonzentrationen zu kennen. Die Ionenkonzentrationen werden vornehmlich durch die hydrogeologische Herkunft und die Landnutzung im Einzugsgebiet bestimmt. Dieser Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit ergibt unterschiedliche Konzentrationsmuster der Grundwässer.

Die Grundwässer in der **Rheingrabenscholle** zeichnen sich durch verhältnismäßig hohe Stoffkonzentrationen aus. Durch die dort vorkommenden hohen Calciumkonzentrationen werden hohe Wasserhärten hervorgerufen. Wo sulfat- und pyritthaltige Sedimente anzutreffen sind, weisen die Grundwässer in den quartären Sedimenten hohe Sulfatkonzentrationen auf. Vorwiegend durch die intensive landwirtschaftliche Landnutzung haben die oberflächennahen

Grundwässer hohe bis sehr hohe Nitratkonzentrationen. Bei Nitratreinträgen und gleichzeitigem Vorhandensein von Pyrit (Eisen-Schwefel-Verbindung [FeS₂]) kommt es zum Nitratabbau (Denitrifikation). Dieser Nitratabbau geht mit steigenden Sulfatkonzentrationen einher.

Im **Odenwaldkristallin** ist eine geringere Gesamtmineralisation aufgrund der geringen Löslichkeit der kristallinen Gesteine festzustellen. Die Anteile an Sulfat und Calcium sind gering, Nitrat ist vorhanden.

Im **Buntsandstein des Odenwalds** ist das Grundwasser gleichfalls durch sehr niedrige Stoffkonzentrationen geprägt. Die Hydrogencarbonatanteile sind geringer als im Kristallin. Der Buntsandstein wird überwiegend durch Silikate geprägt, die die generell geringe Gesamtmineralisation bedingen.

Die **Thüringische Senke** ist geprägt durch Buntsandstein und karbonatisch-sulfatische Gesteine. Die Grundwässer zeigen daher höhere Härten. Die Konzentrationen von Calcium und Sulfat sind erhöht.

Das Gebiet der **Kuppenrhön** ist geprägt durch Grundwasserleiter des Buntsandsteins mit verbreitetem Vorkommen von Muschelkalk, daher überwie-

Hydrogeologische Teilräume

- Rheingrabenscholle
- Tertiär und Quartär des Rhein-Main Gebietes
- Hanauer-Seligenstädter Senke
- Wetterau
- Niederhessische Senke
- Vogelsberg
- Borgentreicher Mulde und Kasseler Graben
- Leinetalgraben
- Fulda-Werra Bergland und Solling
- Trias und Zechstein westlich der Niederhessischen Senke
- Kuppenrhön
- Lange Rhön
- Zechsteinrand Südwestthüringens
- Werra Talaue
- Buntsandsteinumrandung der Thüringischen Senke
- Muschelkalk der Thüringischen Senke
- Spessart, Rhönvorland und Buntsandstein des Odenwaldes
- Paläozoikum des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges
- Paläozoikum des südlichen Rheinischen Schiefergebirges
- Lahn-Dill Gebiet
- Tertiär des Westerwaldes
- Idsteiner Senke
- Kristallin des Odenwaldes
- Rotliegend des Sprenslinger Horstes
- Kristallin des Vorspessart und Rotliegend der östlichen Wetterau

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

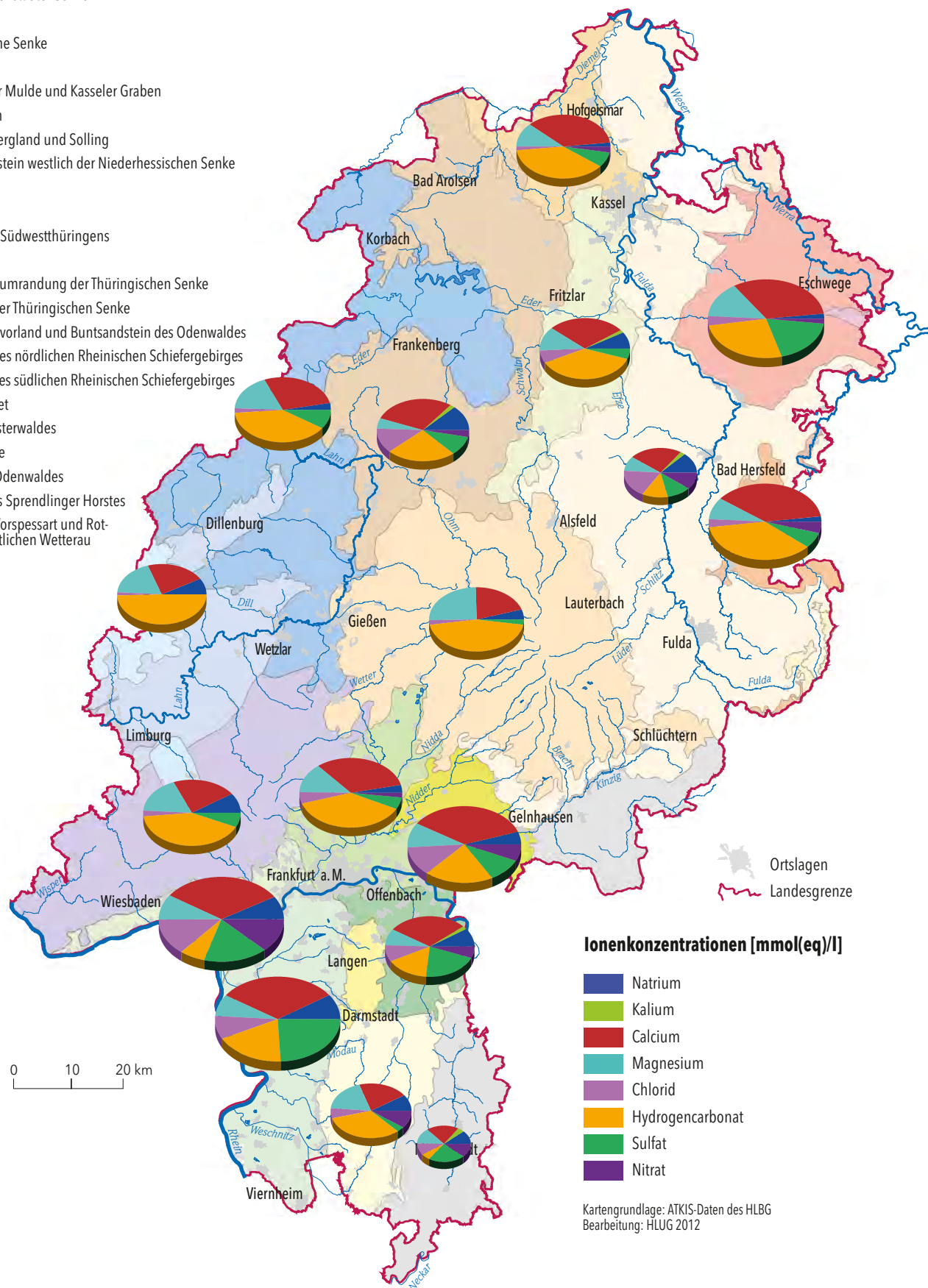


Abb. 9: Beispielhafte Grundwassertypen für hydrogeologischen Teilräume. Die Größe der Kreisdiagramme steht in Relation zur Menge der gelösten Inhaltsstoffe. Die unterschiedliche Mineralisation der Grundwässer ist sehr gut beispielhaft an der Gesamtmineralisation der Grundwässer im Buntsandstein-Odenwald [1,1 mmol (eq)/l] und in der Rheingrabenscholle [35,7 mmol (eq)/l] zu erkennen.

gen in diesen Grundwässern Calcium- und Hydrogencarbonatanteile.

Die Grundwässer des **Buntsandsteins im Fulda-Werra-Bergland** sind schwach mineralisiert. Der Anteil an Natrium- und Chloridionen deutet auf Steinsalz im Untergrund hin.

Die Grundwässer des **Vogelsberges**, der überwiegend aus Vulkangesteinen besteht, sind schwächer mineralisiert und weicher. Bei den Kationen zeigt

sich oft ein größerer Anteil von Magnesium gegenüber Calcium. Als Anion überwiegt deutlich das Hydrogencarbonat. Dies trifft auch auf den **Westerwald** zu.

Das **Rheinische Schiefergebirge** im Westen Hessens beinhaltet mehrere hydrogeologische Teilräume. Überwiegend lösungsarme Grundwässer herrschen vor. Im Taunus und hierbei besonders am Taunus-südrand ist z. T. mit aufsteigenden mineralisierten Tiefengrundwässern zu rechnen.

4.2 Wasserhärte

Wasser entnimmt aus der Luft und bei der Sicker-raumpassage Kohlensäure auf und erhält dadurch eine leicht lösliche Wirkung. Trifft es dann im Untergrund auf wasserlösliche Gesteine, löst es Mineralstoffe heraus und kann sich dadurch aufhärten.

Die Gesamthärte ist ein hydrochemisches Maß für den Gehalt an Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) im Wasser. Diese Verbindungen sind schwer wasserlöslich und fallen beim Erwärmen meist als Karbonate aus. Die Karbonathärte zeigt den Anteil an Calcium und Magnesium auf, für den eine äquivalente Konzentration an Hydrogencarbonat vorhanden ist (HÖLTING & COLDEWEY 2013).

Hohe Gesamthärten treten von Natur aus überall dort auf, wo der betreffende Grundwasserleiter entweder aus Karbonatgestein (Mergel-, Kalk-, Dolomitstein) besteht, Gips und Anhydrit vorkommen oder aber das Bindemittel bei Locker- und Festgesteinen karbonatisch ist.

Die niedrigste Gesamthärte in Hessen weisen die Grundwässer aus dem Buntsandstein des Odenwalds auf, da dieser überwiegend silikatisch gebundene Sandsteinsolgen enthält. Gleichfalls niedrige Gesamthärten werden im Spessart und dem Schlüchterner Becken angetroffen. Die Grundwässer im Taunus, der fast ausschließlich durch unterdevonische Schichten gekennzeichnet ist, weisen ebenfalls sehr geringe Härtegrade auf. Die Grundwässer aus den Quartär- und Tertiärregionen (z. B. Oberrheingraben) weisen meist höhere Gesamthärten auf. Eine Ausnahme stellt hier die Hanau-Seligenstädter Senke dar, in der

vom Main aufgeschüttete fast karbonatfreie Sande und Kiese dominieren. Entsprechend niedrig ist die mittlere Gesamthärte der Grundwässer.

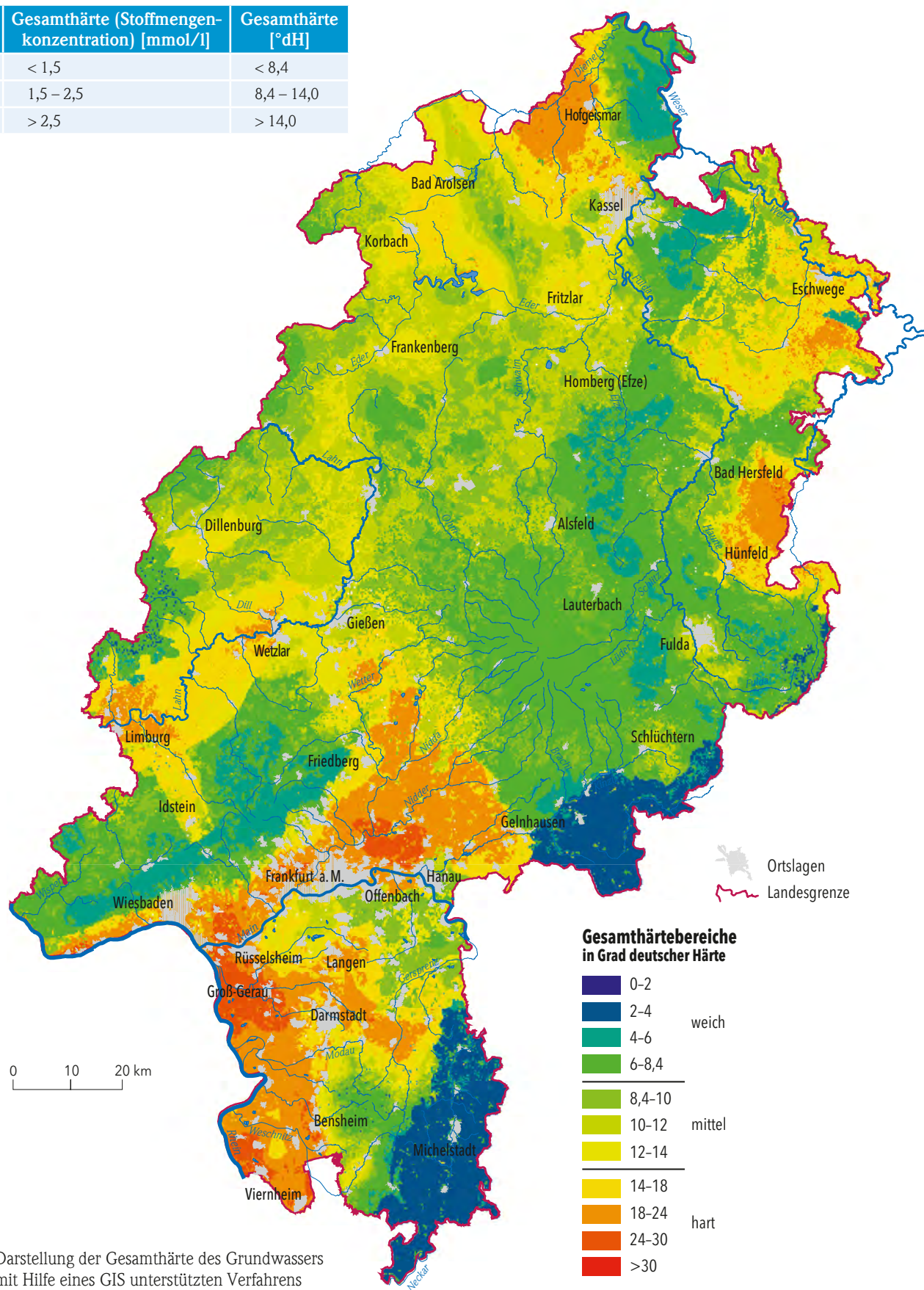
Gebiete mit harten Grundwässern haben ein höheres Pufferungsvermögen gegenüber pH-Verschiebungen durch Säureeinträge. Gebiete mit weichen Grundwässern verfügen dagegen über kein bzw. nur ein geringes Puffervermögen und sind entsprechend empfindlich gegenüber Säureeinträgen. Die wichtigsten Säurebildner sind Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die aus Verbrennungsprozessen stammen.

Wälder können wegen ihrer großen Kronenoberfläche, welche die Luftschadstoffe „auskämmt“, durch luftgetragene Stoffeinträge verglichen mit Freiflächen stärker belastet sein. Diese anhaltenden Einträge wirken sich auf die Ökosysteme und die Grundwasserqualität vor allem in Waldgebieten mit geringem Puffervermögen gegenüber Säureeinträgen aus.

Da die Härte einen großen Einfluss auf die Verwendung der Wässer hat, sind verschiedene Härtebereiche definiert. Wasserversorger müssen deshalb nach § 9 des Wasch- und Reinigungsmittelgesetzes (WRMG 2007) die Härtebereiche des Trinkwassers für ihre einzelnen Versorgungsgebiete veröffentlichen. Nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz wird die Härte des Wassers in die drei Härtebereiche weich, mittel und hart unterteilt. Die Angabe der Gesamthärte (Stoffmengenkonzentration) erfolgt entsprechend den Vorgaben der Europäischen Union in mmol/l. Die Angabe in °dH (Grad Deutscher Härte) ist weiterhin üblich.

Tab. 2: Härtestufen nach dem „Wasch- und Reinigungsmittelgesetz“.

Härtebereich	Gesamthärte (Stoffmengenkonzentration) [mmol/l]	Gesamthärte [°dH]
weich	< 1,5	< 8,4
mittel	1,5 – 2,5	8,4 – 14,0
hart	> 2,5	> 14,0

**Abb. 10:** Darstellung der Gesamthärte des Grundwassers mit Hilfe eines GIS unterstützten Verfahrens (SIMIK+) unter Verwendung von Grundwasser-Messdaten aus dem Jahr 2011.

4.3 Nitrat

4.3.1 Allgemeines

Die wichtigsten Ursachen für erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind diffuse Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, sowie atmosphärische Stickstoffeinträge, die ihre Ursachen im Kraftfahrzeugverkehr, der Industrie, der Hausfeuerung und der Landwirtschaft haben. Eine weitere Quelle können undichte Abwasserkanäle sein. Nitrat ist im oberflächennahen Grundwasser landesweit verbreitet.

Der durch die Düngung oder durch den atmosphärischen Eintrag auf die Fläche gelangte Stickstoff wird dabei im Boden angereichert. Durch Regenereignisse und dem damit verbundenen Sickerwasser kann der Stickstoff gelöst und als Nitrat (NO_3^-) oder Ammonium (NH_4^+) in das Grundwasser verlagert werden.

Der Grenzwert für Trinkwasser beträgt nach der TRINKWV (2001) 50 mg/l. In einigen Gebieten sind die Nitratkonzentrationen im Grundwasser so hoch, dass hierdurch Probleme für die dort vorhandene Trinkwasserversorgung bestehen. Im Körper kann aus Nitrat Nitrit gebildet werden, das bei Kleinkindern zu einer lebensbedrohlichen Methämoglobinämie führen kann. Außerdem kann Nitrat in kanzerogene Nitrosamine und Nitrosamide umgebildet werden (STUHRMANN 2000).

4.3.2 Nitratuntersuchungen der Grund- und Rohwässer

Auf Grundlage der Rohwasseruntersuchungsverordnung (RUV) sind Betreiber von Wasserversorgungsanlagen verpflichtet, das geförderte Grundwasser nach den Bestimmungen der RUV untersuchen zu lassen (Kap. 3.3.2). Zusammen mit dem Messnetz des Landesgrundwasserdienstes kann daher auf ein dichtes und weitgehend konsistentes Messstellennetz zugegriffen werden. Für die Zeit vor 1991 ergibt sich eine größere Varianz der Messwerte, da die Anzahl der Messstellen öfters variiert und insgesamt geringer war.

Um eine allgemeine Aussage über die Entwicklung der Nitratkonzentrationen in hessischen Grund- und Rohwässer zu bekommen, wurde aus den Nitrat-Langzeitmessreihen Messwerte selektiert, regionalisiert und flächenhaft dargestellt.

4.3.3 Flächenhafte Darstellung der Nitratkonzentrationen

Die Grundwasserbeschaffenheit und damit auch die Nitratkonzentrationen können kleinräumig sehr unterschiedlich sein. Für einen landesweiten Überblick ist es deshalb von Nutzen, die punktuellen Messungen zu regionalisieren, um einen flächenhaften Überblick der Nitratkonzentrationen und damit Belastungsschwerpunkte zu erhalten. Zu beachten ist jedoch, dass hiermit nur das großräumige Belastungsniveau dargestellt werden kann, nicht aber kleinräumige Belastungszustände oder Einzelmesswerte.

Um die Daten zu regionalisieren und flächenhaft darzustellen wurde das SIMIK+ Verfahren angewandt (Simple Updating and Indicator Kriging based on additional Information). Das Verfahren SIMIK+ ist ein geostatistisches Verfahren, das von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz in Baden-Württemberg entwickelt wurde (BÁRDOSSY, GIESE, GRIMM-STRELE 2003). Hierzu wurden die Nitratkonzentrationen der Grundwässer, die Landnutzung und die hydrogeologischen Teilräume datentechnisch so aufbereitet, dass sie mit SIMIK+ eingelesen und mit Hilfe des räumlichen Interpolationsverfahrens flächig berechnet werden konnten.

In weiten Flächen der mittelhessischen Gebiete liegen die regionalisierten Nitratkonzentrationen bei rd. 5–20 mg/l. Überwiegend in Nord- und Südhessen gab es zwischen 1973–1975 einzelne Regionen mit Nitratkonzentrationen zwischen 20–30 mg/l.

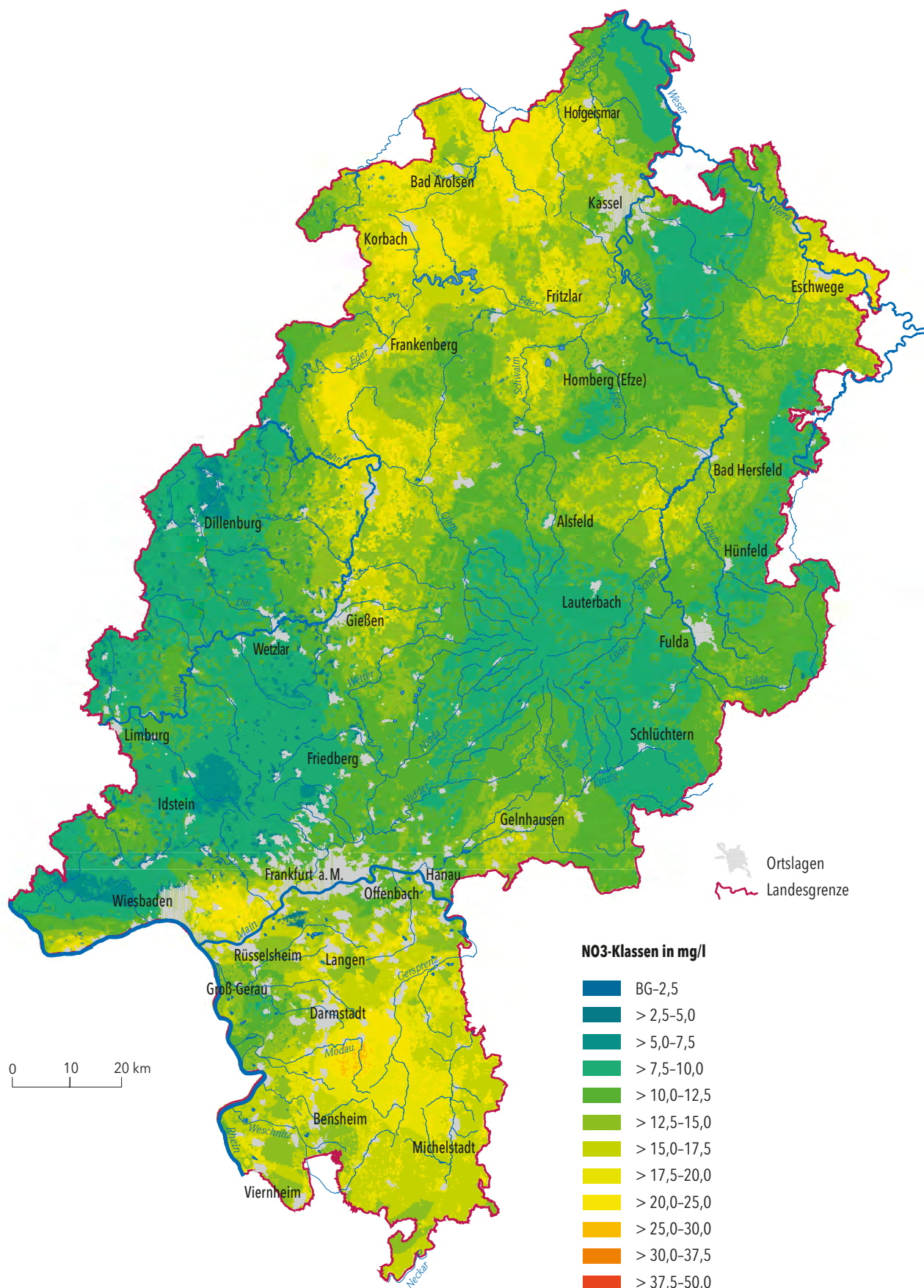


Abb. 11a: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 1973–1975.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

Im weiteren zeitlichen Verlauf nahmen die Nitratkonzentrationen erheblich zu, so dass es in den Jahren 1993–1995 zu einer flächigen Nitratverteilung kam, die in einigen Gebieten Konzentrationen über 50 mg/l aufzeigen.

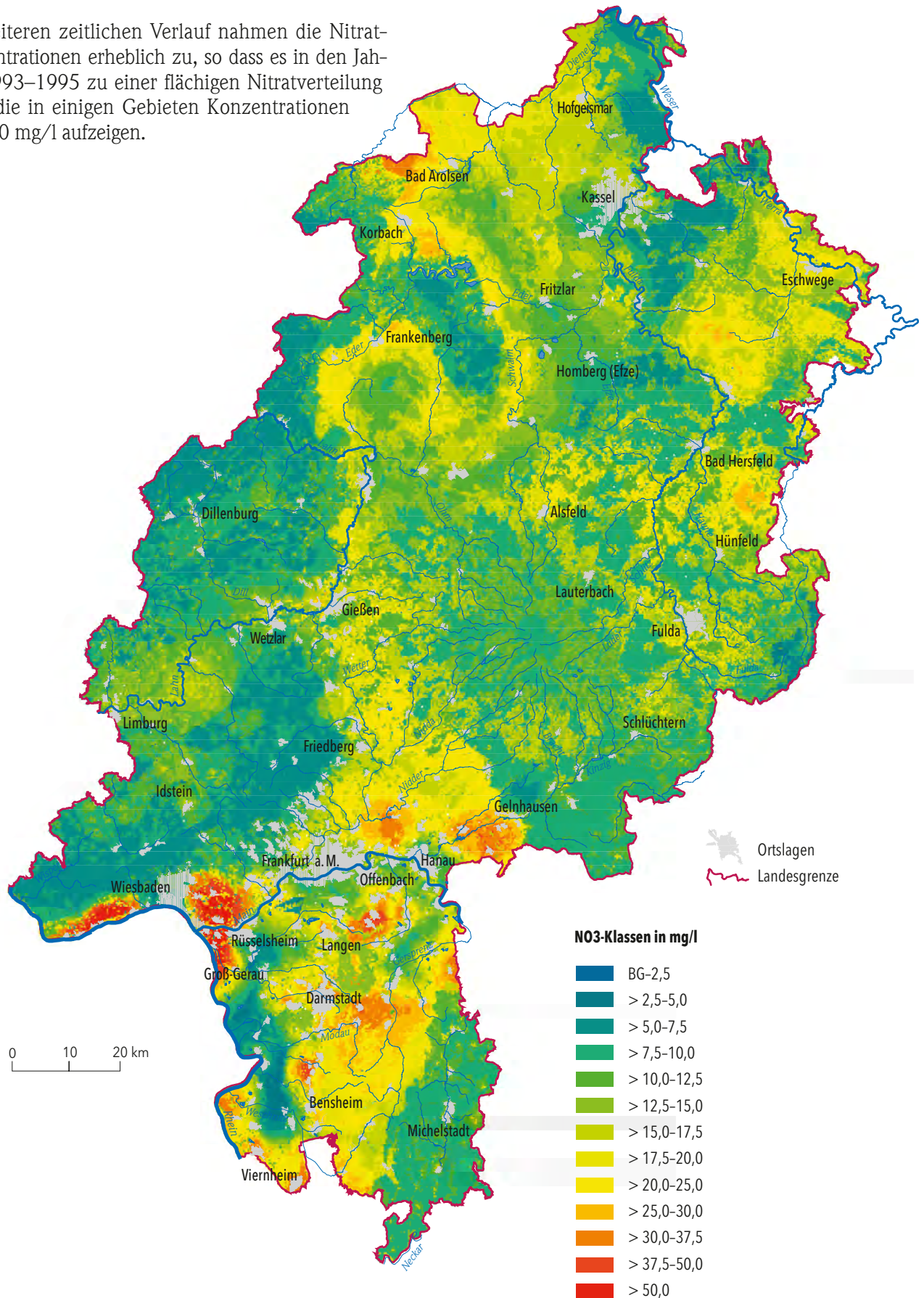


Abb. 11b: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 1993–1995.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUK 2012

Im Vergleich zur Karte für den Zeitraum 1993–1995 ist im weiteren zeitlichen Verlauf bis zum Jahr 2011 die flächige Verbreitung erhöhter Nitratkonzentrationen weiter vorangeschritten. Das bedeutet, Flächen mit niedrigen Nitratkonzentrationen (bis 15 mg/l) sind den Flächen mit Konzentrationen von über 20 mg/l gewichen. Gleichmaßen haben die Gebiete mit Nitratkonzentrationen über 50 mg/l in den mittel- und nordhessischen Regionen zugenommen. Insgesamt haben sich die Belastungsgebiete weiterhin erhärtet.

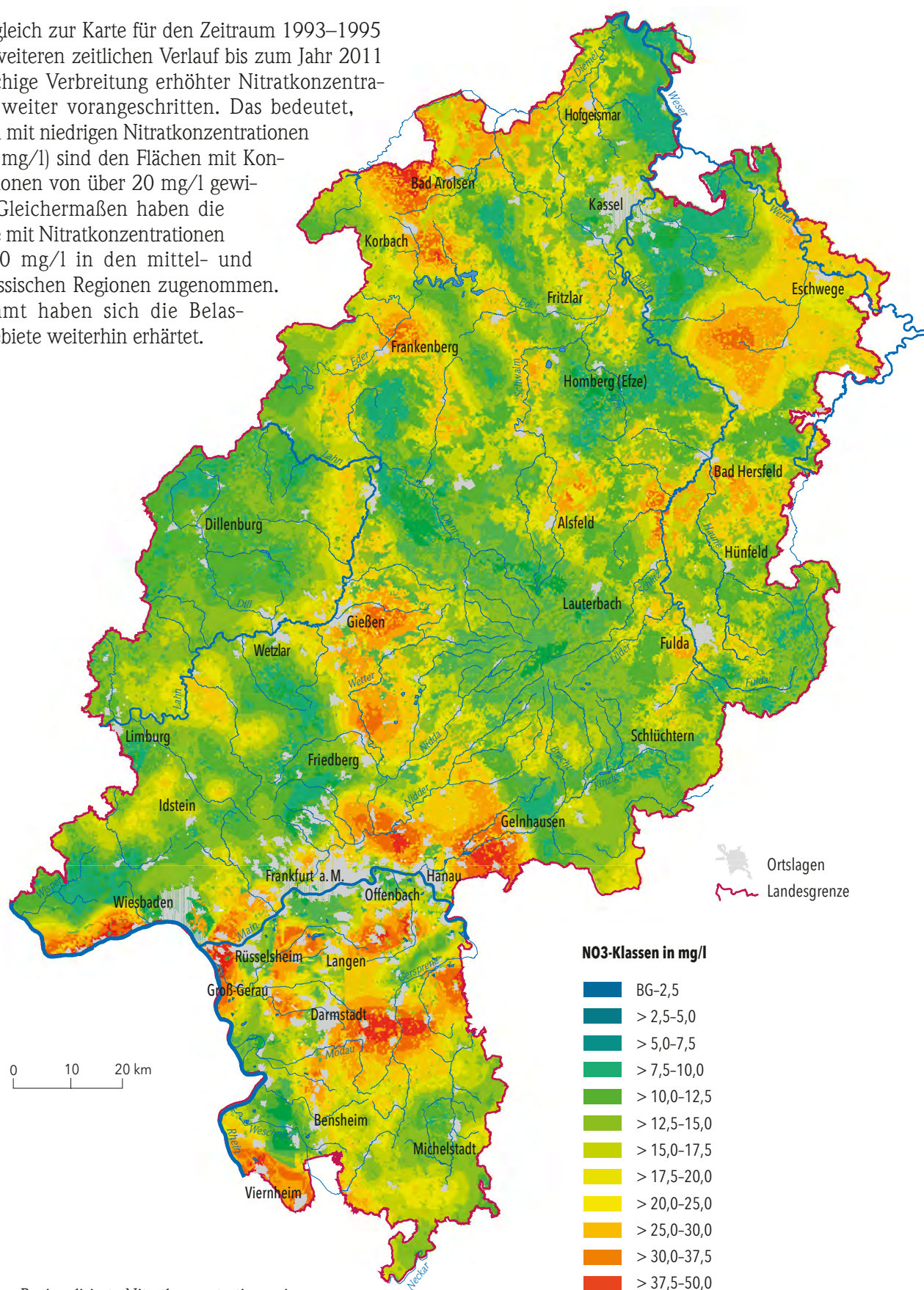


Abb. 11c: Regionalisierte Nitratkonzentrationen im Zeitraum 2009–2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

In den aktuellen Analysen sind weniger Extremwerte ($> 100 \text{ mg/l}$) vorhanden, da insbesondere in landwirtschaftlichen Flächen erste Maßnahmen ergriffen worden sind, um hohe Nitratreinträge zu reduzieren (z. B. Kooperationen, Beratung der Landwirte). Auch sind einige Wassergewinnungsanlagen mit hohen Nitratbelastungen im Grundwasser vom Versorgungsnetz genommen worden und waren dadurch nicht mehr in Rahmen der RUV untersuchungspflichtig.

Weiterhin sind einige Gebiete mit reduzierenden Grundwasserverhältnissen erkennbar, bei denen, trotz der vorhandenen hohen Stickstoffeinträge aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, Nitratkonzentrationen $< 5 \text{ mg/l}$ analysiert werden (z. B. im Hessischen Ried, Abb. 11c). Durch das reduzierende Milieu im Grundwasserleiter sind zwar die Nitratkonzentrationen gering, allerdings sind dadurch erhöhte Ammoniumkonzentrationen zu erwarten (Kapitel 4.4).

Der Rheingau, Teile des Hessischen Rieds, die Hanau-Seligenstädter Senke, der Vorspessart, die Wetterau und die westliche Niederhessische Senke sind Gebiete, in denen verbreitet hohe Nitratkonzentrationen anzutreffen sind. In den meisten dieser Gebiete sind zugleich intensive landwirtschaftliche Einflüsse zu beobachten, die einen erhöhten Stickstoffeintrag in die Böden und Grundwässer mit sich bringen. Besonders in den Gebieten mit Sonderkulturanbau sind sehr hohe Konzentrationen zu verzeichnen.

4.3.4 Nitratkonzentrationen im Grundwasser differenziert nach der Landnutzung

Um den Verlauf der Nitratkonzentrationen differenziert nach der Landnutzung darstellen zu können, wurde den Einzugsgebieten der jeweiligen Grundwassermessstellen eine dominierende Landnutzung zugeordnet. Dazu wurde der prozentuale Anteil der Landnutzungen im Einzugsgebiet berechnet und den Grundwassermessstellen zugeordnet (Abb. 12). Die Berechnung

der Flächenanteile sowie deren Zuordnung erfolgten durch eine Verschneidung der Landnutzungsdaten mit den Einzugsgebieten. Dabei wurden die Landnutzungsdaten von ATKIS (Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem) und InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) verwendet.

Die Anzahl der ausgewählten Grundwassermessstellen, klassifiziert nach der überwiegenden Landnutzung im Einzugsgebiet, variiert stark. Insbesondere bei den urban geprägten Einzugsgebieten stehen nur verhältnismäßig wenige Grundwassermessstellen zur Verfügung. Lediglich rd. 15 % der Landesfläche wird von Siedlungen eingenommen. Weiterhin stehen kaum Grundwassermessstellen mit einem annähernd ausschließlichen urbanen Einzugsgebiet zur Verfügung. Der ganz überwiegende Teil der Messstellen hat auch andere Landnutzungen im Einzugsgebiet. Um überhaupt angenäherte Aussagen machen zu können, wurde daher die Zuordnung in die Klasse „urban geprägtes Einzugsgebiet“ bereits bei einem Siedlungsflächenanteil von 40 % getroffen. Folge ist eine stärkere Varianz der Nitratkonzentrationen bzw. der sich daraus ergebenden Mittelwerte für den Siedlungsbereich.

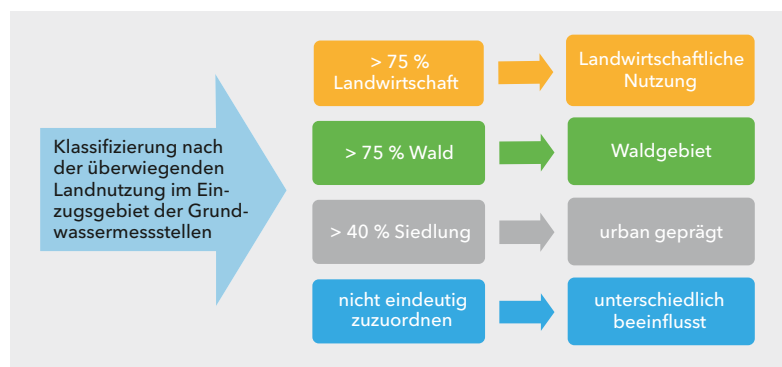


Abb. 12: Klassifizierung der Messstellen nach den Flächenanteilen der Landnutzung im Einzugsgebiet.

Tab. 3: Anzahl der ausgewerteten Messstellen nach der Landnutzung.

Klasse	Anzahl der ausgewerteten Messstellen
Landwirtschaftliche Nutzung	408
Waldgebiet	749
urban geprägte Gebiete	98
unterschiedlich beeinflusste Gebiete	860

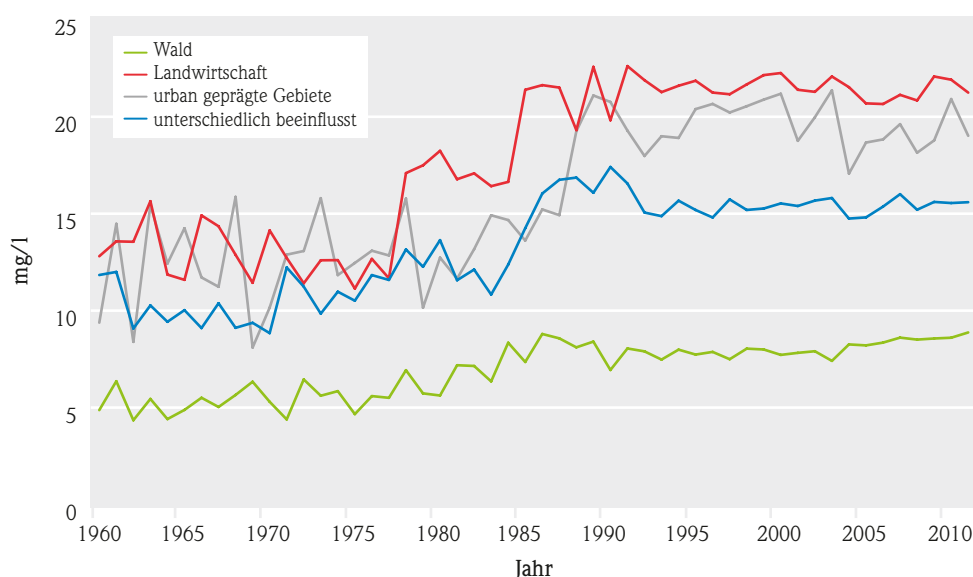


Abb. 13: Mittelwert der Nitratkonzentrationen differenziert nach Landnutzungen.

Landwirtschaftliche Flächennutzung

In Einzugsgebieten mit überwiegend landwirtschaftlicher Flächennutzung sind die Nitratkonzentrationen am höchsten. Der Anstieg der Nitratkonzentrationen in den 1980er Jahren ist auf die Intensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung zurückzuführen. Die Stickstoffbilanzüberschüsse lagen bundesweit zu Beginn der 1950er Jahre bei weniger als 30 kgN/(ha·a). Aufgrund steigender landwirtschaftlicher Produktion stiegen sie bis Ende der 1980er Jahre auf 130 kgN/(ha·a). Dies verursachte gerade unter den landwirtschaftlichen Nutzflächen erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser. In den 1990er waren die Stickstoffbilanzüberschüsse bundesweit bis auf 80 kgN/(ha·a) rückläufig (LUWG 2007, BMU 2004).

Im Mittel nahmen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser bis in die 1990er Jahre zu. Dabei wurden bei einigen Messstellen Höchstwerte über 200 mg/l analysiert. Sehr hohe Nitratkonzentrationen sind vor allem in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen mit Sonderkulturanbau, wie z. B. dem Weinbau (Rheingau, Bergstraße [Kap. 4.3.3]) zu finden. Seit 1995 haben sich die Werte auf hohem Niveau gehalten (Abb. 13). Dabei muss berücksichtigt werden, dass viele Wassergewinnungsanlagen mit Nitratkonzentrationen über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 50 mg/l von den

jeweiligen Wasserversorgern außer Betrieb genommen wurden. Von diesen Anlagen werden nach der Außerbetriebnahme keine Proben mehr genommen. Wäre dieses der Fall, könnte eine weiterhin leicht steigende Tendenz nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Zusätzlich ist von einer Stabilisierung der Nitratkonzentrationen durch die zahlreichen Kooperationen in Wasserschutzgebieten auszugehen. Eine bedarfsorientierte und gleichzeitig grundwasserschonende landwirtschaftliche Flächennutzung ist hierbei das Ziel (Kap. 7).

Waldgebiete

Bei den Grundwässern aus Grundwassermessstellen, deren Einzugsgebiete überwiegend im Wald liegen, sind die Nitratkonzentrationen deutlich niedriger als bei anderen Landnutzungen. Der Mittelwert liegt unter 10 mg/l. Der steigende Trend ist durch anhaltend hohe atmosphärische Stickstoffeinträge erklärbar (Kap. 3.1). Dabei „kämmen“ die Bäume den Stickstoff aus der Luft, wobei feste Partikel oder im Nebel gelöste Stoffe durch die Oberflächenrauigkeit der Baumkronen verstärkt aufgenommen werden und auf diesem Weg in das Ökosystem Wald gelangen.

Bei den hessischen Baumbeständen betrug der Stickstoffeintrag ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) im Jahr 2009 im

Mittel unter Fichten 23,6 kg/ha und unter Buchen 17,1 kg/ha. Im Freiland waren es dagegen lediglich 8,8 kg/ha. Unter Fichten und Buchen wurde mehr anorganischer Stickstoff mit dem Niederschlag in den Wald eingetragen, als die Bäume und die Waldbodenpflanzen für ihr Wachstum benötigen (HMUELV, WALDZUSTANDSBERICHT 2010). Hierdurch ergibt sich ein Überschuss, der zu dem leicht steigenden Trend von Nitrat im Grundwasser unter Waldbeständen führt.

Urban geprägte Gebiete

Insgesamt ist bei den Grundwässern mit einem urban geprägten Einzugsgebiet zu beachten, dass der Flächenanteil der Siedlungen in Hessen bei lediglich rd. 15 % liegt und daher deutlich geringer ist als bei den anderen aufgeführten Landnutzungen. Die Anzahl der verwendeten Grundwassermessstellen und damit auch der Grundwasserwerte ist dadurch geringer. Hieraus ergeben sich größere Schwankungen des Mittelwertes. Die Aussagekraft der Ganglinie ist daher gegenüber den anderen Landnutzungen niedriger.

Die Klasse mit Grundwässern, die ein urban geprägtes Einzugsgebiete haben, zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Grundwässer mit einem überwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet. Auch hier findet ein deutlicher Sprung, wenn auch leicht verzögert, in der 1980er Jahren statt (Abb. 13). Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass sich das Düngerverhalten im innerstädtischen Bereich

dem der Landwirtschaft angeglichen hat. Plausibel wäre dieses insbesondere für Haus- und Kleingärten. Andererseits liegen Siedlungen häufig in Regionen, die landwirtschaftlich genutzt werden. Der Einfluss der Grundwässer, die aus den Gebieten mit einer überwiegenden landwirtschaftlichen Flächennutzung in den Siedlungsbereich fließen, scheint größer zu sein, als der Einfluss der urbanen Flächennutzung auf das Grundwasser.

Gleichfalls besteht in Siedlungsgebieten die Gefahr eines Stickstoffeintrags durch defekte Abwasserleitungen. Hierdurch lässt sich jedoch der sprunghafte Anstieg in der 1980er Jahren nicht erklären.

Unterschiedlich beeinflusste Gebiete

In dieser Klasse sind die Einzugsgebiete der Grundwassermessstellen keiner bestimmten Landnutzung zuzuordnen. Der Verlauf der Ganglinie korreliert mit dem Kurvenverlauf der landwirtschaftlich beeinflussten Grundwässer. Das deutet darauf hin, dass viele Messstellen dieser Kategorie überwiegend durch die landwirtschaftlichen Flächennutzungen beeinflusst werden (Abb. 13).



Abb. 14: Trinkwasserbrunnen im Taunus.



Abb. 15: Quelle im Taunus.

4.3.5 Nitrat-Untersuchungsergebnisse 2011

Für das Jahr 2011 liegen für 2868 Grundwassermessstellen Nitratuntersuchungen vor. Bei dieser Messkampagne wurden erstmals auch Beregnungsbrunnen im Hessischen Ried untersucht.

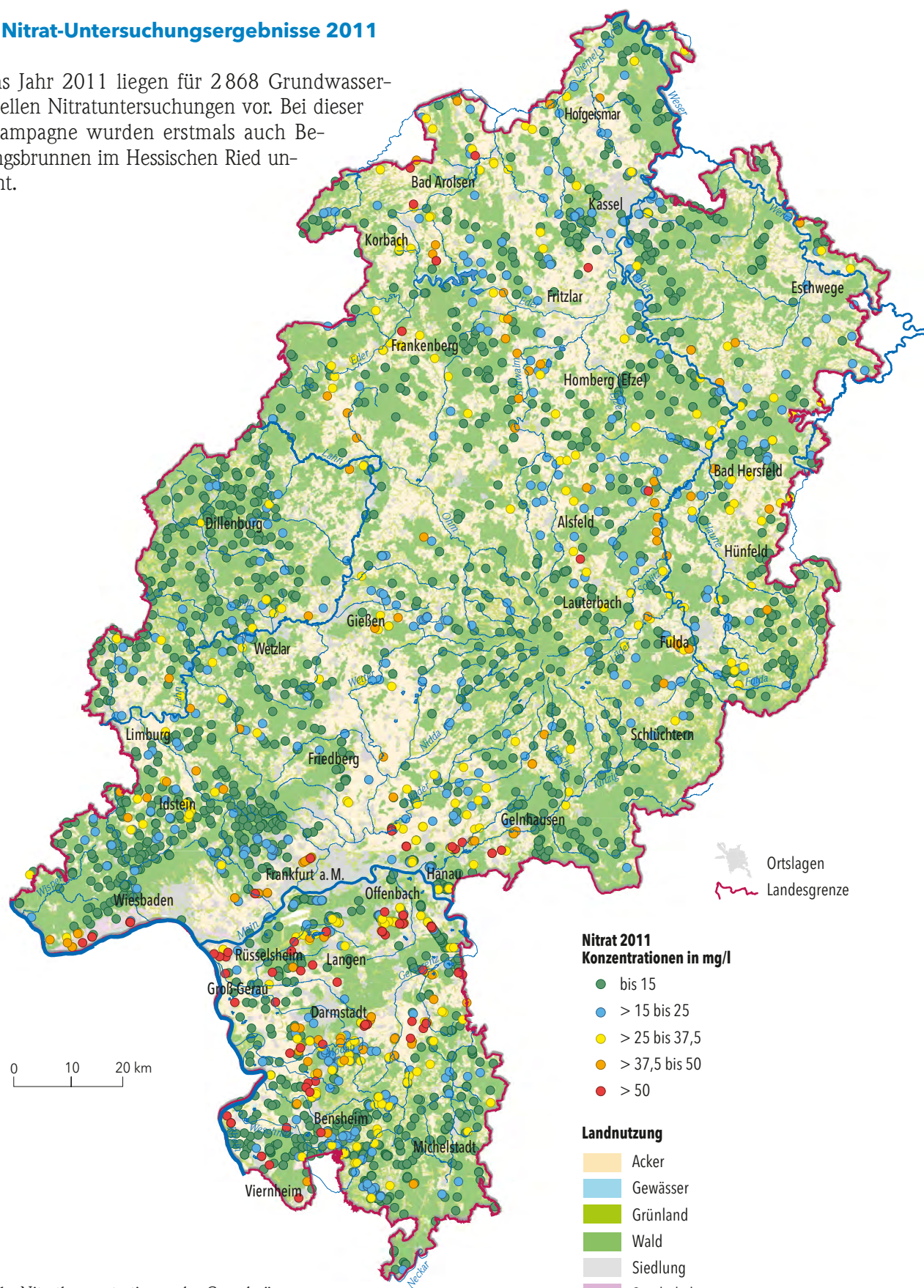


Abb. 16: Nitratkonzentrationen der Grundwässer an den untersuchten Messstellen 2011.

Statistische Kennzahlen

Die Klasseneinteilung der Nitratkonzentrationen bis 25 mg/l wurde entsprechend der Nitratklassen in Wasserschutzgebieten gewählt (Kap. 3.2). Danach sind ab 15 mg/l Maßnahmen umzusetzen, um einen weiteren Anstieg der Nitratkonzentrationen zu verhindern. Ab 25 mg/l liegen Klasse C-Gebiete vor.

Der Wert von 37,5 mg/l entspricht 75 % des Schwellenwertes für Nitrat nach der Grundwasserverordnung (GrwV), ab dem Maßnahmen zur Trendumkehr erforderlich sind. Dieser Wert wurde an 6,4 % der untersuchten Messstellen überschritten. Der Wert von 50 mg/l entspricht dem Schwellenwert der GrwV sowie dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) und wurde an 2,7 % der untersuchten Messstellen überschritten. Die Maximalwerte lagen bei über 200 mg/l. Der Mittelwert liegt bei 14,1 mg/l und der Median bei 9,3 mg/l.

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der Nitratkonzentrationen.

Klassen in [mg/l]	Anzahl	%	% kumuliert
bis 15	1 937	67,5	100,0
> 15 bis 25	474	16,5	32,5
> 25 bis 37,5	273	9,5	15,9
> 37,5 bis 50	107	3,7	6,4
> 50	77	2,7	2,7

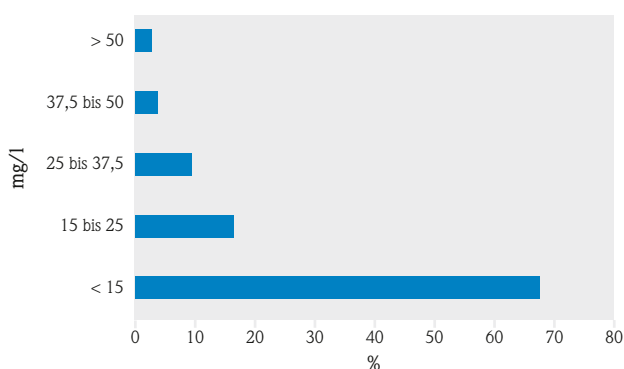


Abb. 17: Relative Häufigkeitsverteilung der Nitratkonzentrationen 2011.

Räumliche Verteilung der Nitratkonzentrationen

Die räumliche Verteilung der untersuchten Messstellen im Jahr 2011 zeigt die aus den Vorjahren bekannten Belastungsschwerpunkte. Eine wesent-

liche Veränderung ist nicht festzustellen. Hohe Nitratkonzentrationen sind überwiegend in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung anzutreffen. In den waldreichen Mittelgebirgslandschaften sind i.d.R. geringere Nitratkonzentrationen zu erwarten.

4.3.6 Untersuchung des Trends bei den Nitratkonzentrationen

Um langfristige und signifikante Trends bei den Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu untersuchen, wurden aus dem Datenpool gezielt entsprechende Grundwassermessstellen selektiert. Dabei wurden in einem ersten Schritt die Grundwassermessstellen ermittelt, die den folgenden statistischen Kriterien entsprachen:

- Anzahl (n) der Proben an einer Messstelle, $n > 20$
- Mittlerer, linearer Trend der Nitratkonzentrationsentwicklung pro Jahr, für steigende Konzentrationen $> 0 \text{ mg/(l} \cdot \text{a)}$, für fallende Konzentrationen $< 0 \text{ mg/(l} \cdot \text{a)}$
- das Bestimmtheitsmaß R^2 (Güte) für den Trend, mindestens $R^2 > 0,5$
- keine größeren Streuungen der Werte, Standardabweichung $S < 20$

Bei 5 608 Messstellen zeigten die Grundwässer aus 238 Messstellen einen signifikant steigenden bzw. aus 113 Messstellen einen signifikant fallenden Trend der Nitratkonzentrationen.

In Abb. 18 sind die ausgewählten Trend-Messstellen dargestellt. Ein steigendes oder fallendes Pfeilsymbol bedeutet nicht, dass dort eine Messstelle mit hohen bzw. niedrigen Nitratkonzentrationen vorhanden ist. Es besagt ausschließlich, dass diese Messstelle einen linearen signifikanten Trend im Grundwasser über einen bestimmten Beobachtungszeitraum aufweist. Der Trend kann z. B. über viele Jahre hinweg von niedrigen zu höheren Konzentrationen verlaufen, ohne dass dabei ein Grenz- oder Schwellenwert überschritten wird. Gleichfalls werden Grundwassermessstellen mit beständig hohen oder niedrigen Nitratkonzentrationen im Grundwasser bei dieser Auswertung nicht angezeigt, wenn sie keinen fallenden bzw. steigenden Trend aufweisen. Gleichfalls gilt es zu beachten, dass ein bestimmter Trend keinen Rückschluss auf die aktuelle Nitrat-Situation im Grundwasser zulässt.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, welche Landnutzung bzw. Anbaufrucht die Ursache für den Trend sein könnte. Dazu wurden die Flächenanteile der Landnutzungen in den abgeschätzten Grundwassereinzugsgebieten der Messstellen berechnet.

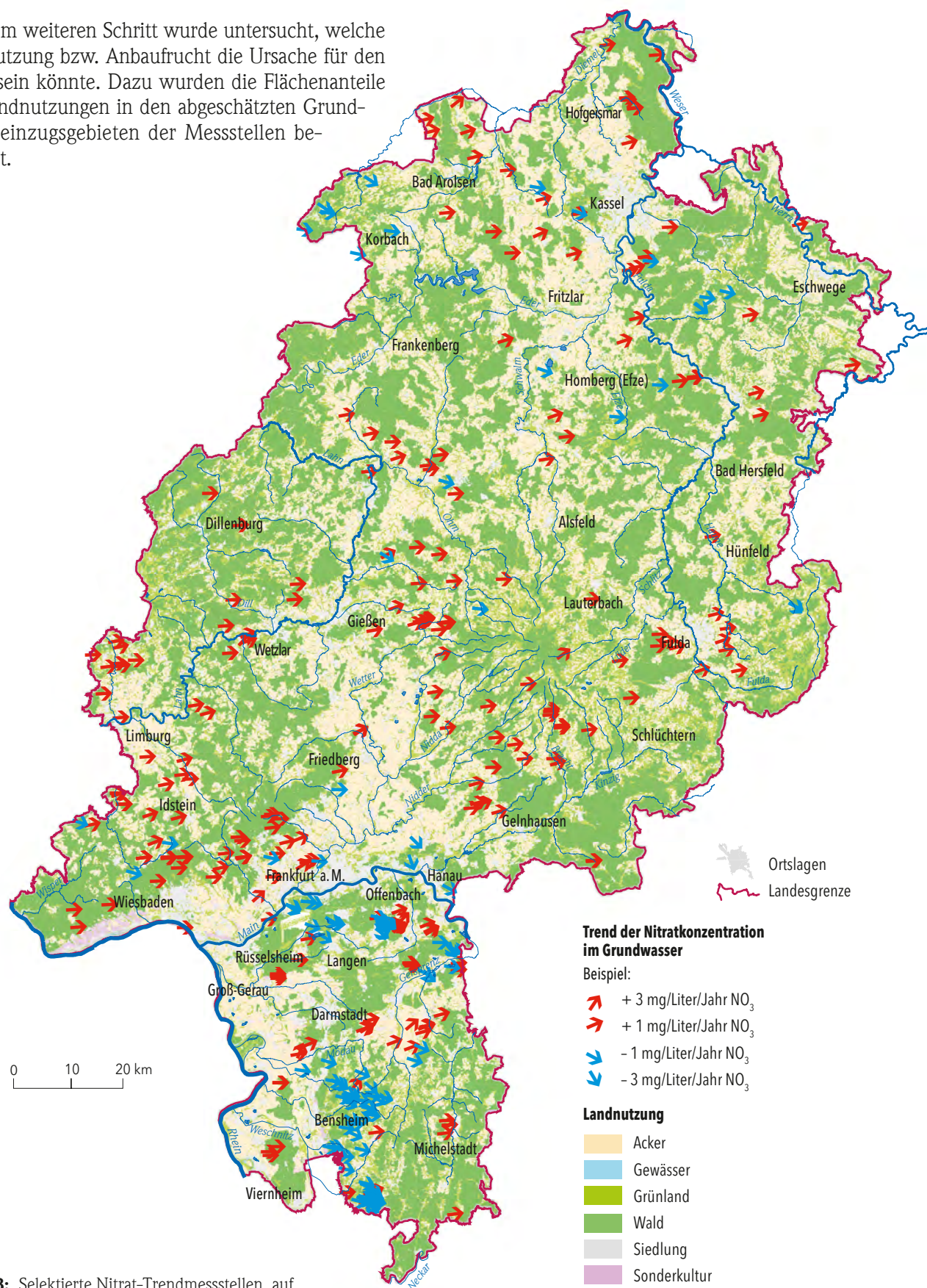


Abb. 18: Selektierte Nitrat-Trendmessstellen, auf Grundlage der beschriebenen statistischen Kriterien.

Als Ergebnis für die beiden Datenkollektive (fallender bzw. steigender Nitrat-Trend) ist zu beobachten, dass über alle Einzugsgebiete der beiden Trend-Messstellengruppen die Wald- und Siedlungsflächen annähernd gleich groß sind (Abb. 19a, 19b). Unterschiedlich ist jedoch der Flächenanteil von Dauergrünland und verschiedener Feldfrüchte (z. B. Winterweizen, Wintergerste, Winterraps). Für das Datenkollektiv mit steigendem Nitrat-Trend ergibt sich ein geringerer Anteil von Dauergrünland und damit ein höherer Anteil bei den angebauten Feldfrüchten. Diese Kombination im Einzugsgebiet der Messstellen scheint sich

ungünstig auf das Trendverhalten auszuwirken. Der positive Effekt von Dauergrünland auf die Nitratkonzentrationen im Grundwasser ist dadurch verringert, denn eine ganzjährig geschlossene Grasnarbe sorgt kontinuierlich für Stickstoffentzug. Der hier bestehende höhere Anteil an Feldfrüchten scheint das nicht in gleicher Weise zu leisten. Sollte in Zukunft der Anteil an „Rohstoffpflanzen“ (z. B. Mais) für z. B. Biogasanlagen zunehmen und dadurch der Anteil an Grünland abnehmen, wären negative Auswirkungen auf die Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu besorgen.

Abb. 19a: Mittlere berechnete Flächenanteile der Landnutzungen in den Einzugsgebieten der Messstellen mit fallendem Nitrat-Trend im Grundwasser.

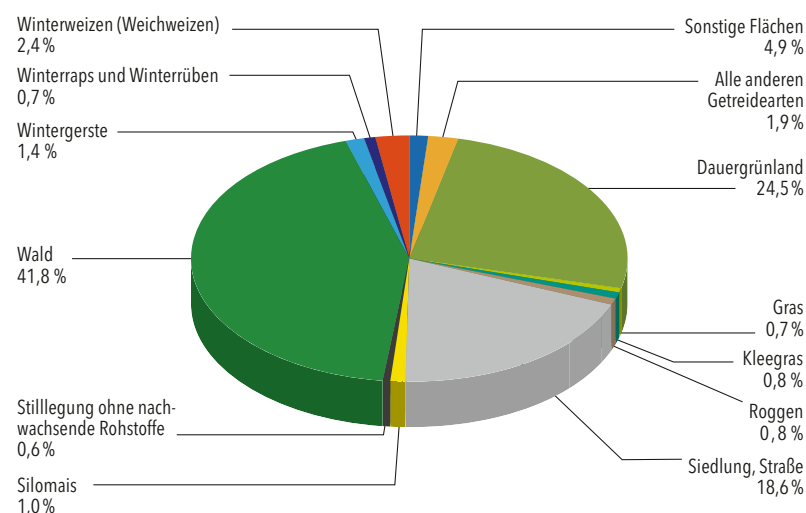
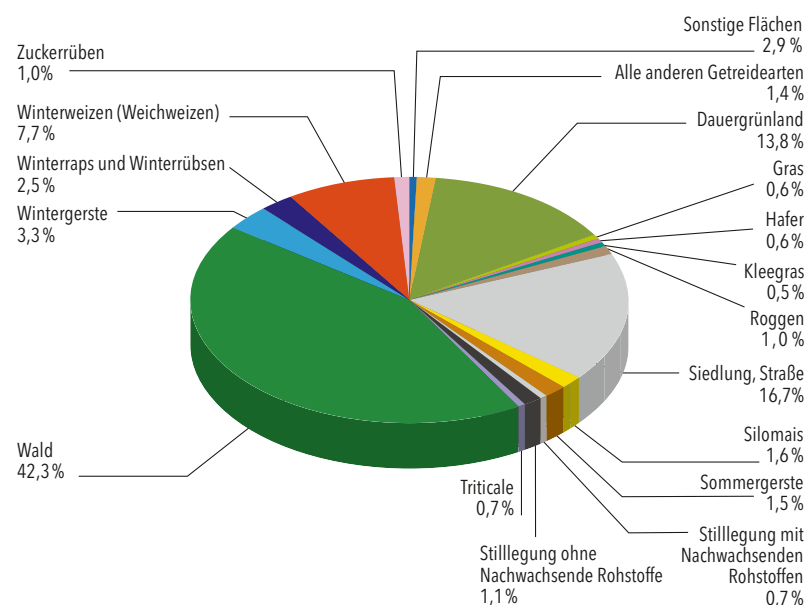


Abb. 19b: Mittlere berechnete Flächenanteile der Landnutzungen in den Einzugsgebieten der Messstellen mit steigendem Nitrat-Trend im Grundwasser.



4.4 Ammonium

Erhöhte Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser sind i. d. R. die Folge von Nitratreintrag und Denitrifikationsprozessen im Boden und im Grundwasser. Die Bewertung des Parameters Ammonium sollte deshalb immer auch im Hinblick auf die Parameter Nitrat und Sauerstoff erfolgen.

Wenn Ammonium aus dem Boden in einen Grundwasserleiter ausgewaschen wird, wird es entweder oxidiert oder adsorbiert, daher ist Ammonium in Grundwässern entweder nicht oder nur in ganz geringen Konzentrationen vorhanden.

Unter Denitrifikation wird die Reduktion oxidierten Stickstoffverbindungen wie Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) zu den gasförmigen Produkten Stickstoffmonoxid (NO), Distickstoffdioxid (N_2O) und elementarem Stickstoff (N_2) verstanden. Bei vollständig ablaufender Denitrifikation wird das Nitrat über mehrere Zwischenstufen wie Ammonium zu elementarem Stickstoff (N_2) abgebaut. Je nach Art der ablaufenden Denitrifikation entstehen als Reaktionsprodukte Sulfat (SO_4^{2-}), Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und/oder zweiwertiges Eisen (Fe^{2+}) bzw. Mangan, die im reduzierten Milieu in Lösung gehen. Diesen Reaktionsprodukten kommt ebenfalls eine Bedeutung zu, da sie zu einer unerwünschten Aufhärtung des Wassers führen. Werden diese Grundwässer gefördert, neigen sie bei Sauerstoffzutritt zur Ausfällung von Eisen- und Manganverbindungen.

Für die Beurteilung eines landwirtschaftlichen Einflusses auf das Grundwasser ist daher nicht nur die aktuelle Belastung mit Nitrat von Interesse, sondern auch die Frage, ob ein Stickstoffeintrag stattfindet und die vergleichsweise geringen Nitratkonzentrationen das Ergebnis einer ablaufenden Denitrifikation sind. Diese Frage ist auch deshalb von Bedeutung, da der Vorgang der Denitrifikation mit dem Abbau des Vorrats an oxidierbaren Stoffen im Grundwasserleiter verbunden und somit endlich ist. Ist das Denitrifikationspotenzial ausgeschöpft und ein Nitratreintrag findet weiterhin statt, kommt es zu einem Nitratdurchbruch und die Nitratkonzentrationen steigen.

Die Verhältnisse im Hessischen Ried sind ein herausragendes hessisches Beispiel für ein noch funktionierendes System aus hohen Nitratreinträgen, vornehm-

lich aus der landwirtschaftlichen Flächennutzung, und einer Denitrifikation.

Im Hessischen Ried liegen verbreitet reduzierende Grundwasserverhältnisse vor. Bei Nitratreinträgen und gleichzeitigem Vorhandensein von Pyrit (Eisen-Schwefel-Verbindung) kommt es zum Nitratabbau (Denitrifikation). Gleichzeitig geht dieser Nitratabbau mit steigenden Ammonium-, Eisen- und Sulfatkonzentrationen einher, dabei bleiben die Nitratkonzentrationen auf sehr niedrigem Niveau. Dies kann als Zeichen dafür gedeutet werden, dass ein Zusammenhang besteht zwischen den steigenden Sulfatkonzentrationen und den überwiegend durch die Landwirtschaft bedingten Nitratreinträgen. Gleichfalls kann der Einsatz von schwefelhaltigem Dünger zu erhöhten Sulfatkonzentrationen im Grundwasser führen. Auch die quartären Sande des Hessischen Rieds weisen dort erhöhte Sulfatkonzentrationen auf, wo sulfat- und pyrithaltige Sedimente anzutreffen sind (Abb. 21).

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es nicht möglich abzuschätzen, in welchem Ausmaß die Zehrung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserleitern des Hessischen Rieds bereits fortgeschritten ist und ob über den in der WRRL betrachteten Zeithorizont bereits mit vermindertem Nitratabbau im Grundwasserkörper gerechnet werden muss. Die Flächennutzung und die hydrogeologische Struktur des Hessischen Rieds lassen jedoch erwarten, dass die Zehrung des Nitratabbauvermögens regional unterschiedlich schnell voranschreitet. Aus diesen Gründen führt das HLUG derzeit umfangreiche Untersuchungen zu den nachfolgend aufgeführten Punkten durch, die sich auch auf die kleineren Gebiete in Hessen mit merklichen Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser übertragen lassen:

- Eine regional differenzierte Bestandsaufnahme des verfügbaren Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern des Hessischen Rieds,
- Lokalisierung von Risikogebieten im Hessischen Ried, in denen hohe Nitratreinträge aus der Flächennutzung einem niedrigen Nitratabbauvermögen im Boden und im Grundwasserleiter gegenüber stehen,
- Einschätzung des Zeitraums, wann sich die Maßnahmenprogramme der WRRL auf eine Verbesse-

ung der Nitratbelastungssituation im Grundwasser auswirken werden,

- Transfer und Etablierung der gewonnen Erkenntnisse in die gewässerschutzorientierte landwirtschaftliche Beratung.

Der Grenzwert für Ammonium beträgt nach der Trinkwasserverordnung und EG-Trinkwasserrichtlinie 0,5 mg/l. In der Abbildung 20 ist deutlich erkennbar, dass sich erhöhte Ammoniumkonzentrationen im Wesentlichen auf die Oberrheinebene, den Rheingau sowie die Mainebene konzentrieren. Kleinere Gebiete, in denen die Grundwässer merkliche Ammoniumkonzentrationen aufweisen, sind im Kassler Graben anzutreffen.

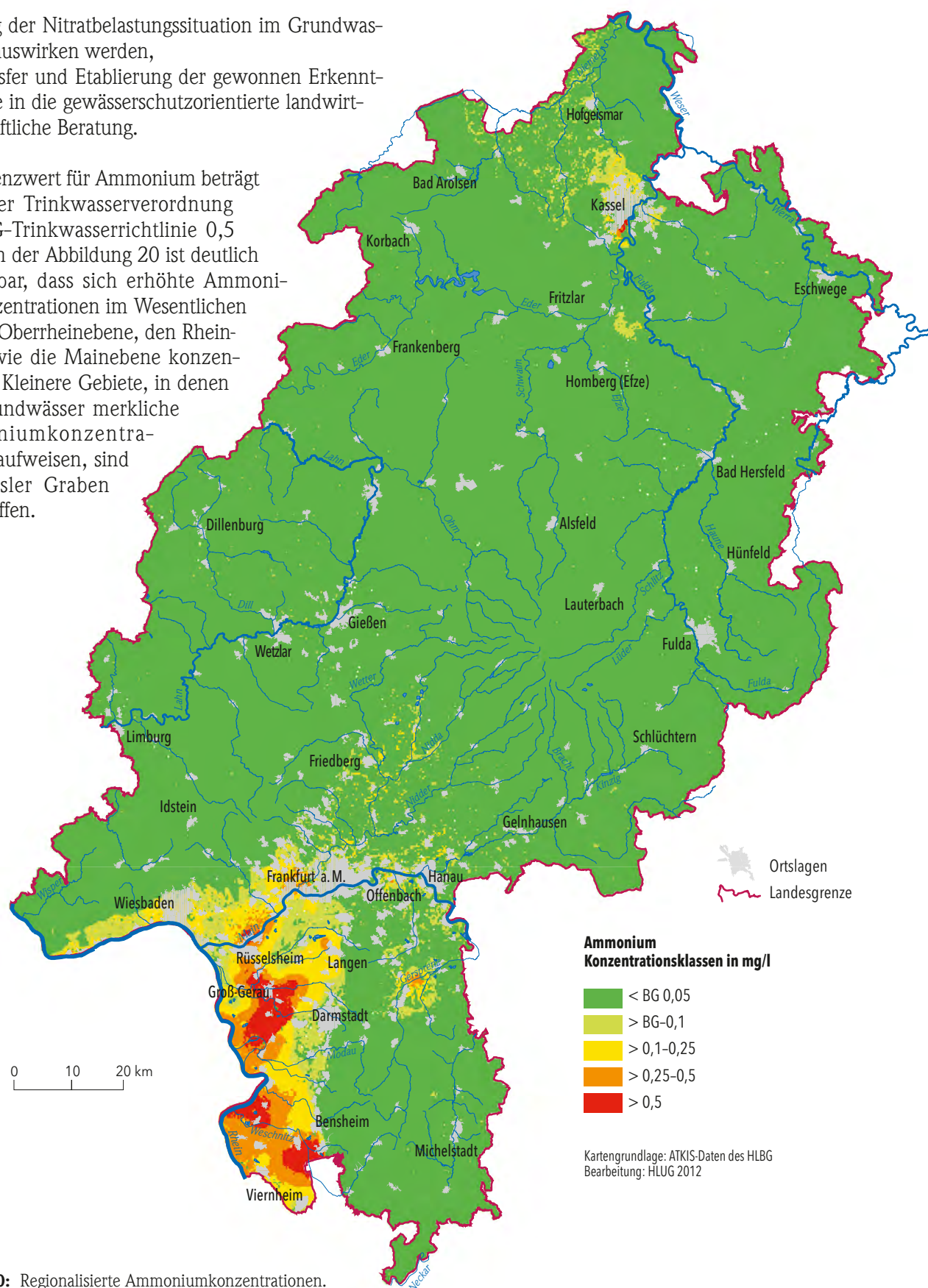


Abb. 20: Regionalisierte Ammoniumkonzentrationen.

Werden die Ammoniumkonzentrationen mit der Landnutzung in Verbindung gebracht, wird deutlich, dass die erhöhten Ammoniumkonzentrationen fast ausschließlich in ackerbaulich genutzten Regionen vorkommen und zwar hier besonders ausgeprägt in den Talauen. In den Talauen sind oft die Voraussetzungen für eine Denitrifikation (organische Substanz in den Sedimenten sowie geringe Sauerstoffgehalte in den Grundwässern) gegeben. Bei der Denitrifikation des Nitrats geht ein Anteil an Ammonium in Lösung. Generell ist festzustellen, dass in den Regionen mit erhöhten Ammoniumkonzentrationen die Nitratkonzentrationen der Grundwässer meist unter 5 mg/l liegen (Kapitel 4.3.3). Im Norden und

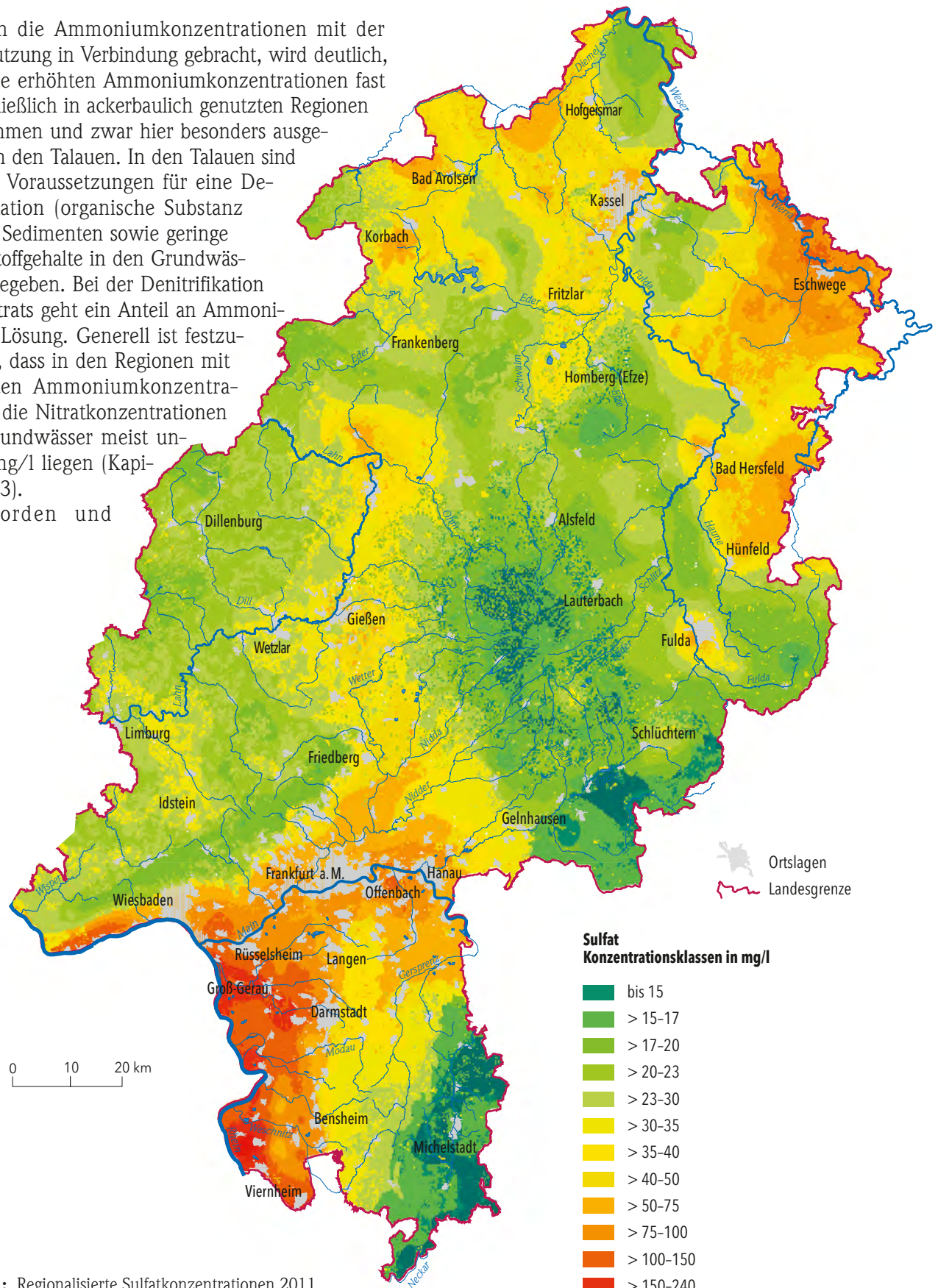


Abb. 21: Regionalisierte Sulfatkonzentrationen 2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUg 2012

Nordosten Hessens, so z. B. in der Borgentreicher Mulde, dem Kasseler Graben, der Thüringischen Senke und der Eiterfelder Mulde, sind die Grundwasserleiter des Keupers, des Muschelkalks und des Zechsteins weit verbreitet. Eine verhältnismäßig hohe geogene Schwefel-Verfügbarkeit dieser Gesteine

führt dort zu hohen Konzentrationen. Insbesondere durch die z. T. karbonatisch-sulfatischen Gesteine des Zechsteins können Sulfate in Lösung gehen und tragen somit dort zu den hohen Konzentrationen im Grundwasser bei (s. Abb. 21).

4.5 Ausgewählte anorganische Spurenstoffe

4.5.1 Einführung

In der Regel werden als Spurenstoffe solche anorganischen Wasserinhaltsstoffe bezeichnet, die Konzentrationen in Mikro- und Nanogramm pro Liter aufweisen.

Spurenstoffe haben z. T. für den menschlichen Organismus eine wichtige Funktion. Sie können jedoch auch ein erhöhtes Toxizitätspotenzial haben (EBER-MANN & ELMADFA 2008), das von Art und Konzentration sowie vom Zusammentreffen verschiedener Spurenstoffe abhängig sein kann.

Viele Spurenstoffe sind Metalle und kommen im Grundwasser geogen bedingt vor. Seit der Industrialisierung gelangen jedoch immer mehr Substanzen in die Umwelt. Die anthropogen bedingte Belastung des Grundwassers durch Metalle nimmt zu. Die moderne Analytik ermöglicht das Auffinden von Stoffen, die in geringen bis sehr geringen Konzentrationen im Grundwasser vorkommen. Daher hat auch die Diskussion über das Gefährdungspotenzial von Metallen zugenommen, die in Spuren im Grundwasser gelöst sind. Problematisch ist dies u. a. deshalb, weil Metalle persistent sind und langfristig im Boden angereichert werden. Die meisten Metalle gehen im Erdreich in die Oxidform über und binden sich dort reversibel an organischer Bodensubstanz oder Tonminerale. Auswaschungen ins Grundwasser sind jedoch möglich, insbesondere bei Bodenversauerung.

Die Schadwirkung der Metalle im Boden beruht in der Hauptsache auf ihrer Wirkung als Enzyminhibitoren. Mikroorganismen im Boden können geschädigt werden und dadurch Artenverschiebungen in Bodenfauna und Flora folgen. Pflanzen können mit Wachstumsschäden und Erkrankungen reagieren.

Ist auch das Trinkwasser metallbelastet, kann dies bei Mensch und Tier zu Stoffwechselerkrankungen führen. Die Metalle können sich über die Nahrungsketten in den Organen anreichern und Schäden verursachen.

Für toxische, persistente und bioakkumulierbare Spurenstoffe, wurden in Deutschland durch die Grundwasserverordnung – deren Grundlage die europäische Grundwasserrichtlinie ist – sogenannte Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) eingeführt. Dabei handelt es sich um Konzentrationen, bei deren Unterschreitung und Exposition über die Nahrungskette von keiner Gefährdung auszugehen ist. Für einige Stoffe sind Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) verfügbar, die zusätzlich zur Beurteilung herangezogen werden.

4.5.2 Anorganische Spurenstoffe

Die grundwasserleitenden Gesteine im Einzugsgebiet einer Wassergewinnungsanlage können einen großen Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit haben. So können in gabbroid-basaltischen Gesteinen die Elemente Cobalt, Chrom, Nickel und Vanadium, in granitischen Gesteinen die Elemente Barium, Lithium, Blei und Uran sowie in Schwarzschiefern die Elemente Kupfer, Blei, Uran und Zink beachtlich angereichert sein (FAUTH et al. 1985).

Desweiteren bestimmen lokal die Säurekapazität und die Gesamthärte der Grundwässer die Aufnahmefähigkeit für Protonen und damit die Löslichkeit von Metallen. Vereinzelt gibt es in Hessen Altlastenstandorte, die als Punktquellen zu erhöhten Schwermetallkonzentrationen im Grundwasser führen. Die bekannten relevanten Fälle befinden sich in Sanierungsprogrammen.

Schwermetallgehalte in mg/kg Trockensubstanz
als arithmetischer Mittelwert (Gesteine)

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
18	0,02	83	14		33	17	60
<3	0,12	399	56		249	6	108
4	0,03	18	4		8	11	11
2	0,07			0,08			
6	0,08	7	4		4	5	10

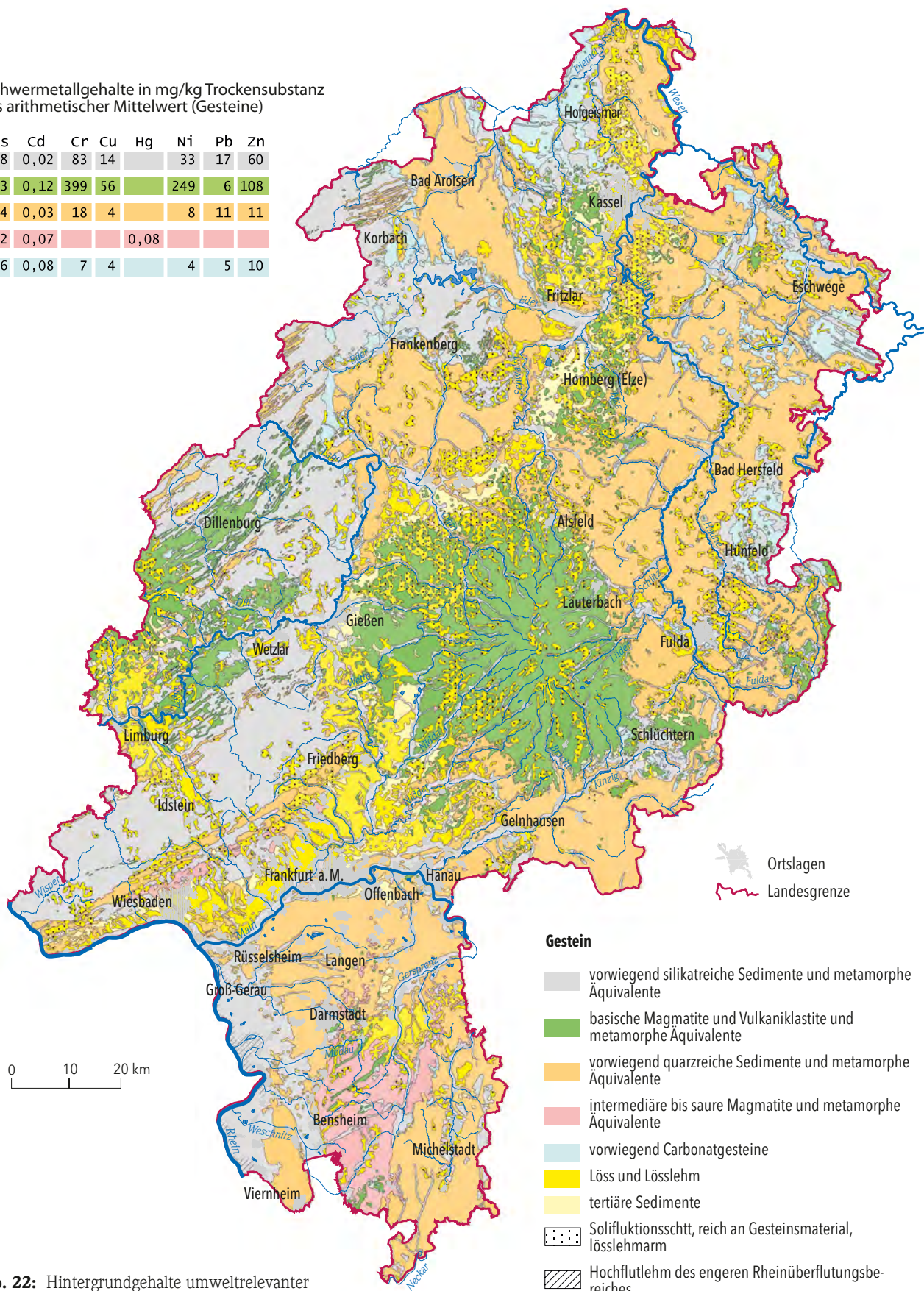


Abb. 22: Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und Böden.
Aus Umweltatlas Hessen – HLUg Homepage.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUg 2012

Aluminium

Aluminium kommt aufgrund seiner Reaktionsfreudigkeit fast nur als Verbindung vor. Im Boden ist Aluminium an Tonmineralen gebunden und zentraler Bestandteil des Puffersystems. Unter einem pH-Wert von 5 geht es in Lösung und kann unter diesen Bedingungen in höheren Konzentrationen in das Grundwasser gelangen. Die Aluminiumkonzentration im Grundwasser ist damit vom Säuregehalt abhängig (Abb. 24). Das z.B. durch den sauren Regen gelöste Al^{3+} -Ion gilt als pflanzentoxisch und wird als eine Ursache für das „Waldsterben“ angesehen.

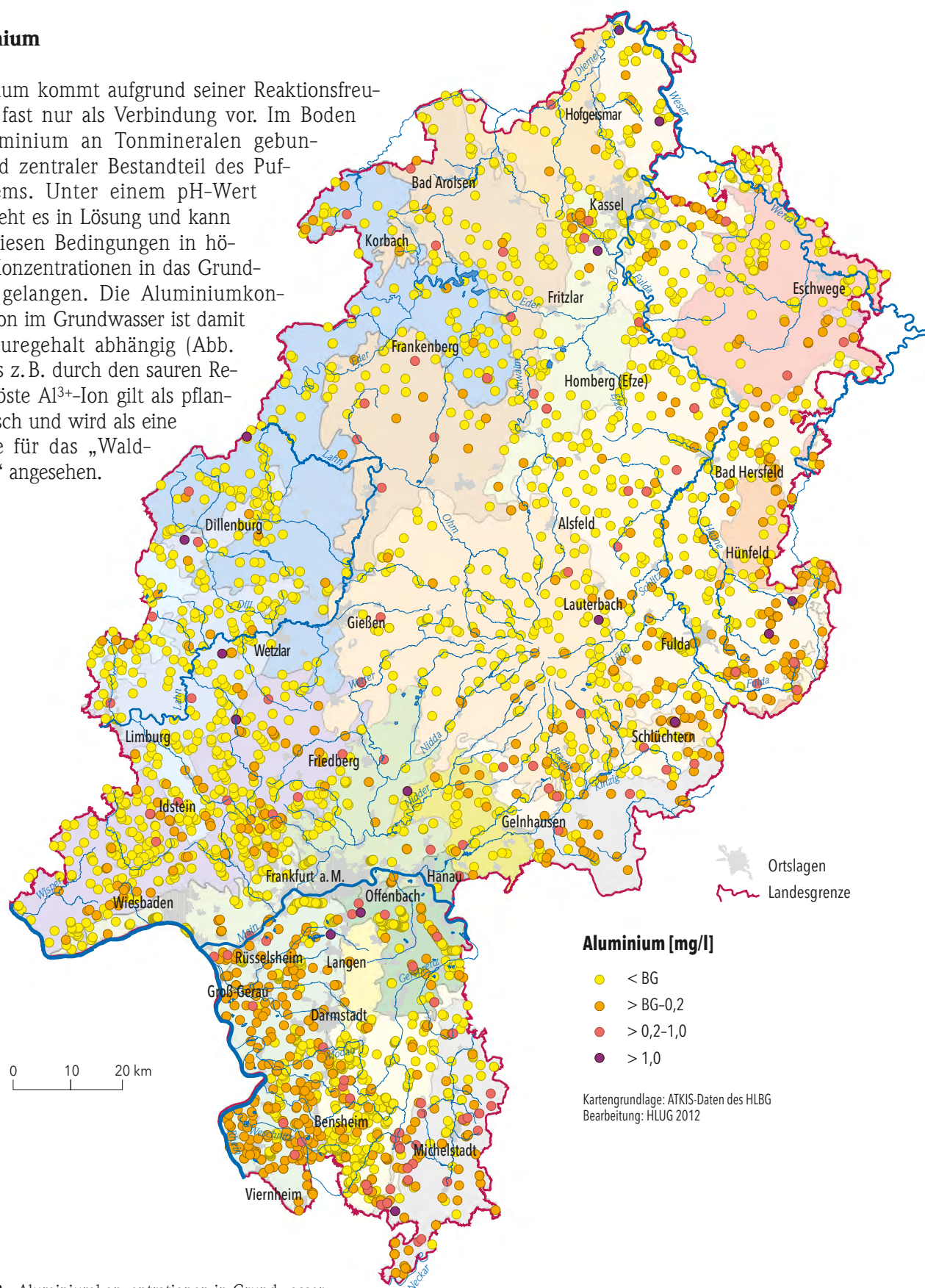


Abb. 23: Aluminiumkonzentrationen in Grundwasserproben der Jahre 2009–2011 (Darstellung des jeweils aktuellsten Messwertes einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze). Kartenhintergrundlegende der hydrogeologischen Teilräume für alle Karten in diesem Kapitel siehe Abb. 4 im Kapitel 2.4 Hydrogeologische Teilräume).

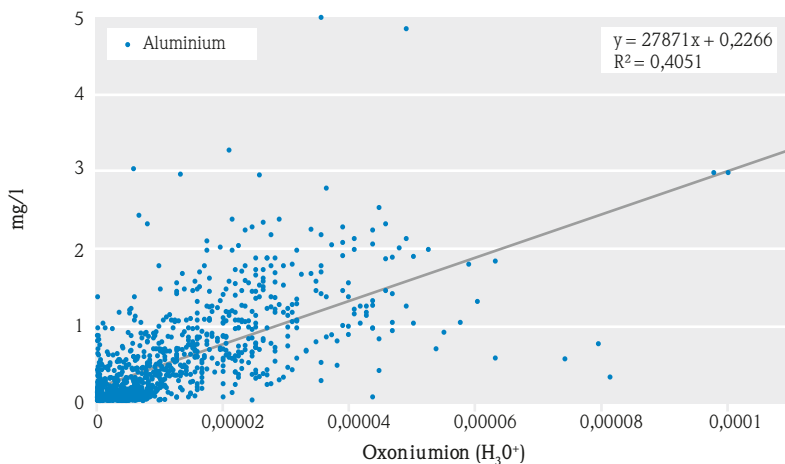


Abb. 24: Aluminiumkonzentrationen (2009–2011) im Grundwasser in Abhängigkeit vom pH-Wert. Zur grafischen Auswertung wurde der pH-Wert entlogarithmiert und ergibt den Oxoniumionenwert (H_3O^+).

Der Grenzwert nach der TrinkwV (2001) und der Wert als Indikatorparameter in der EG-Trinkwasser-richtlinie liegen bei 0,2 mg/l.

Die höchsten Aluminiumkonzentrationen in hessischen Grundwässern sind insbesondere in Buntsandsteingebieten in Verbindung mit niedrigen pH-Werten anzutreffen, z. B. im Buntsandstein des Odenwaldes.

Niedrige Aluminiumkonzentrationen überwiegen, wenn die geologische Verfügbarkeit gering ist und/oder die pH-Werte der Grundwässer im basischen Bereich liegen. Niedrige Konzentrationen finden sich deshalb z. B. im Gebiet mit Muschelkalkverbreitung sowie im vulkanischen Vogelsberg.

Arsen

Arsenverbindungen im Grundwasser kommen in vielen Ländern in höheren Konzentrationen durch Auswaschungen aus arsenhaltigen Erzen vor. Der Grenzwert für Arsen nach TrinkwV (2001) und der neuen EG-Trinkwasserrichtlinie beträgt 10 µg/l. Er entspricht dem aktuellen Geringfügigkeitsschwellenwert der LAWA.

In Hessen wurde nur in einer geringen Anzahl (rd. 3–4 %) von Grundwasserproben Arsen über 10 µg/l gefunden (Abb. 25).

Das Auftreten von Arsen steht überwiegend im Zusammenhang mit der geogenen Verfügbarkeit, dem

pH-Wert und den reduzierenden Bedingungen im Grundwasser. In wässriger Lösung liegt Arsen überwiegend in drei- und fünfwertigen Oxidationsstufen vor, wobei das reduzierte As^{3+} eine höhere Löslichkeit aufweist als As^{5+} (MATTHESS 1994, HIRNER et al. 2000).

Erhöhte Arsenkonzentrationen sind daher i. d. R. geogen bedingt und insbesondere im Kristallin des Vorpessarts, im Rotliegend der östlichen Wetterau, im Kristallin des Odenwalds und in der Buntsandsteinumrandung der Thüringischen Senke anzutreffen. Auch im Be-

reich von Bach- und Fluss-Sedimenten kann es zu erhöhten Arsenkonzentrationen kommen. Dadurch sind erhöhte Einzelfunde in den Grundwässern der ehemaligen Auen des Alt-Neckars und Mäandern des Rheins im Hessischen Ried möglich.

Barium

Barium zählt zu den Erdalkalimetallen und wird vor allem in den Mineralen Schwerspat (Baryt bzw. Bariumsulfat; wasserunlöslich) und Witherit (Bariumcarbonat; schwerlöslich im Wasser) gefunden. Fließt Grundwasser durch bariumhaltiges Gestein, kann sich das Metall in geringen Mengen daraus lösen.

Die wasserunlöslichen Bariumverbindungen sind für den Menschen ungiftig. Alle löslichen Bariumverbindungen sind dagegen für den Menschen und für Wasserorganismen giftig, kommen aber in natürlicher Form kaum vor (GERDES 2001, BENDER & HOMMEL 2005).

Zweiwertiges Barium wirkt toxisch, da es die physiologischen Wirkungen des Calciums simulieren kann und Signale weitergibt, die den Stoffwechsel negativ beeinflussen können (EBERMANN & ELMADFA 2008).

Bariumfunde sind i. d. R. geogen bedingt und damit natürlichen Ursprungs. Im Südwesten Hessens lassen sich die erhöhten Bariumkonzentrationen in den Proben einiger Grundwassermessstellen nicht durch das anstehende Gestein begründen. Sie sind vielmehr durch Auswaschungen aus biogenen Sedimenten

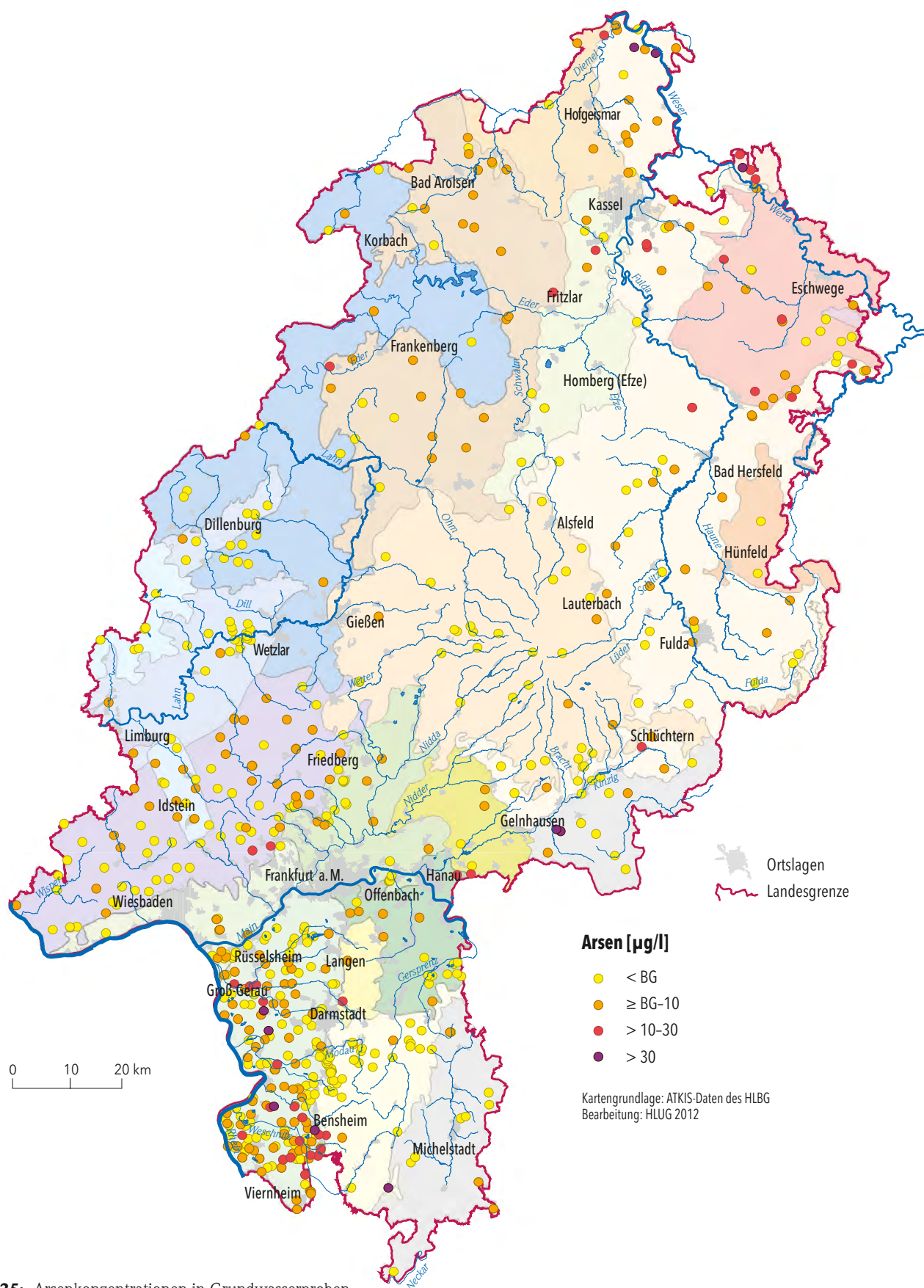


Abb. 25: Arsenkonzentrationen in Grundwasserproben der Jahre 2009–2011 (Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

von Niedermooren entlang der ehemaligen Flussläufe und Mäander des Rheines und des Neckars bedingt. Das Rheinwasser weist Bariumkonzentrationen zwischen 30–70 µg/l auf (KÖLLE 2010).

Der derzeit angewandte Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA für Barium im Grundwasser liegt bei 340 µg/l.

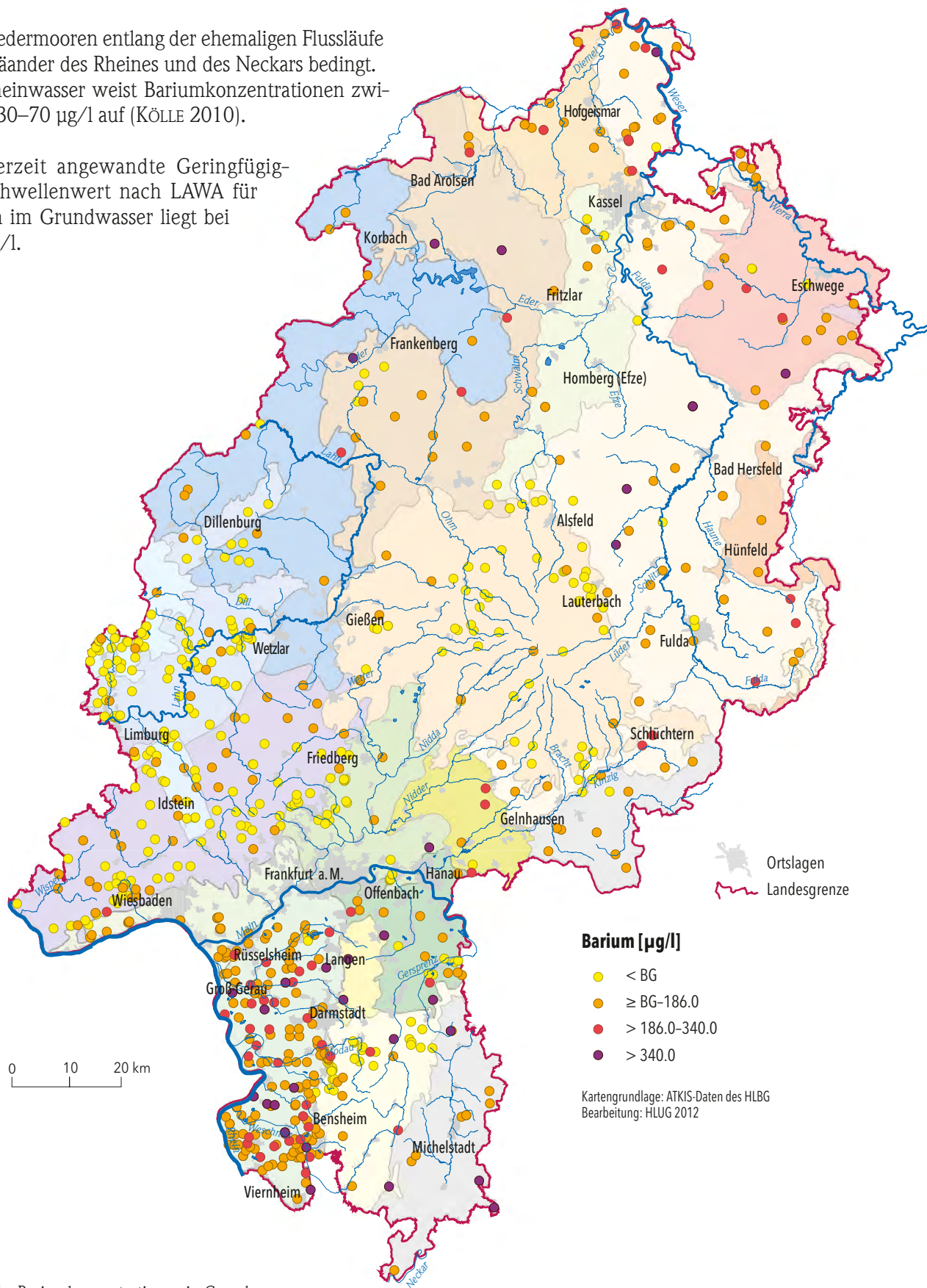


Abb. 26: Bariumkonzentrationen in Grundwasserproben der Jahre 2009–2011
(Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Chrom

Für Menschen und Säugetiere gilt Chrom in geringen Mengen als lebensnotwendiges Spurenelement. Dreiwertiges Chrom ist Bestandteil des Glucosestoffwechsels; ein Mangel kann zu Diabetes führen. Jedoch ist das vier- und sechswertige Chrom giftig (WISCHMEIER-BAYER, M. & BAYER E. 1995). Chrom tritt in relativ hohen Konzentrationen in Silikatmineralen auf. Eine Anreicherung kann außerdem in Lateriten als Fe-Cr-Oxid erfolgen (HEM J. D. 1985).

Der derzeit angewandte Geringfügigkeitsschwellenwert nach LAWA für Chrom im Grundwasser liegt bei $7 \mu\text{g/l}$.

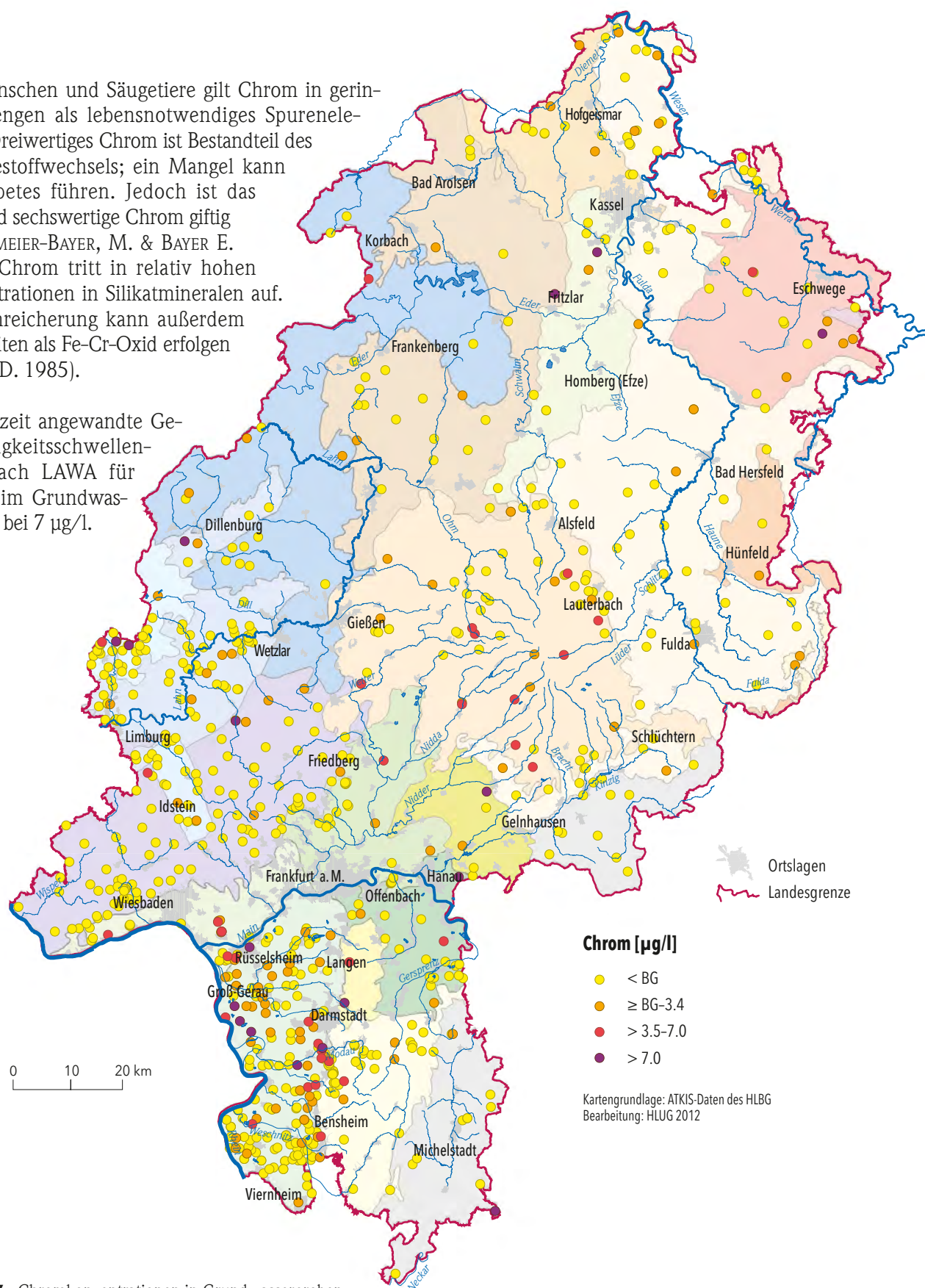


Abb. 27: Chromkonzentrationen in Grundwasserproben der Jahre 2009–2011 (Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Bei insgesamt 1 902 untersuchten Grundwasserproben liegen in 192 Proben die Chromkonzentrationen über dem Geringfügigkeitsschwellenwert. Dies entspricht einem Anteil von rd. 10%.

Erhöhte Chromkonzentrationen weisen Grundwässer aus tertiären basischen Vulkaniten auf; sie spiegeln die generell hohen Chromgehalte innerhalb basischer Magmatite wider.

Vanadium

Vanadium ist für einige Tierarten ein essentielles Element, das aber auch negative Einflüsse auf die Reproduktion und Mortalität der Nachkommenschaft haben kann.

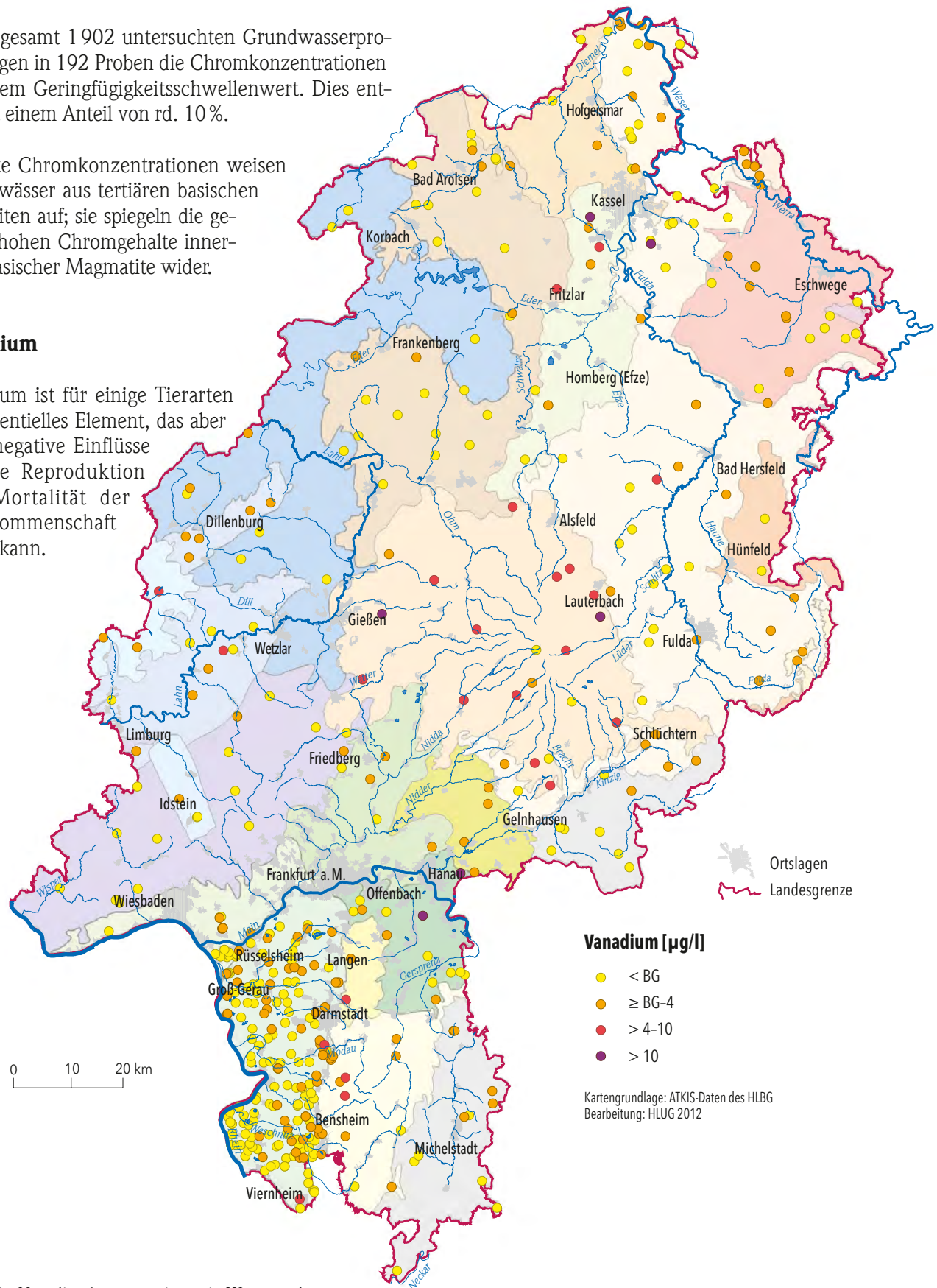


Abb. 28: Vanadiumkonzentrationen in Wasserproben der Jahre 2009–2011 (Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Wirkungen konnten außerdem hinsichtlich des Cholesterinspiegels beobachtet werden. Beim Menschen ist diese Wirkung nicht eindeutig nachgewiesen (EBERMANN R. & ELMADFA I. 2008).

Der Geringfügigkeitsschwellenwert für Vanadium liegt bei 4 µg/l.

Vanadium ist in der Lithosphäre weit verbreitet und zeigt eine mittlere Konzentration von 150 mg/kg (ALLOWAY B. 1999). Erhöhte Vanadiumkonzentrationen zeigen eine deutliche Korrelation zum geochemischen Inventar der Grundwasserleiter. Der größte Teil des Vanadiums findet sich in Spuren in Mineralen, dabei vor allem in mafischen Magmatiten wie Pyroxenen und Amphibolen (HEM J. D. 1985, MATTHESS G. 1994).

Chrom und Vanadium zeigen ähnliche räumliche Verteilungsmuster. Folgende hydrogeologischen Teilräume weisen erhöhte Konzentrationen auf (Abb. 28):

- Tertiäre Basalte des Westerwalds, der Langen Rhön, des Vogelsbergs, der Niederhessischen Senke,
- Rotliegend des Spremlinger Horsts, Rotliegend der östlichen Wetterau,
- Tertiäre sedimentäre Speichergesteine, insb. die Rheingraben-scholle.

Nickel

Nickel ist ein toxisches Schwermetall, das im Rahmen der WRRL als prioritär gefährlich eingestuft wird. Es gilt als kanzerogen und keimschädigend. Die EU-Grundwasserrichtlinie schreibt vor, dass die Mitgliedsstaaten Maßnahmen ergreifen müssen, um u. a. die Einleitung von Nickel in Grundgewässer zu verhindern. Nickel im Grundwasser kann eine schädliche Wirkung haben (UBA 2006/ Nr. 23).

Deutschland produziert kein Nickel, erzeugt es aber in großen Mengen über das Recycling von Edelstahl-schrott und dem Einsatz von nickelhaltigen Legierungen. In Deutschland ist eine Zunahme der eingesetzten Mengen zu verzeichnen, die wichtigsten Verwendungen sind die Stahlveredelung, Batterien und Pigmente (GEBHARDT & KNÖRNDEL 1977).

Erhöhte geogene Nickelkonzentrationen sind im oberflächennahen Grundwasser vornehmlich in Verbreitungsgebieten mit quarzreichen und karbonatarmen Böden und Gesteinen zu finden. Aufgrund der schwachen pH-Pufferkapazität des Untergrunds herrschen niedrige pH-Werte in diesen Grundwässern vor, die zu einer Desorption von Nickel führen können.

Der Geringfügigkeitsschwellenwert für Nickel im Grundwasser liegt bei 14 µg/l. Die TrinkwV legt 20 µg/l als Grenzwert fest.

Der Mittelwert aus 612 Analysen von hessischen Grundwässern liegt bei 3,2 µg/l.

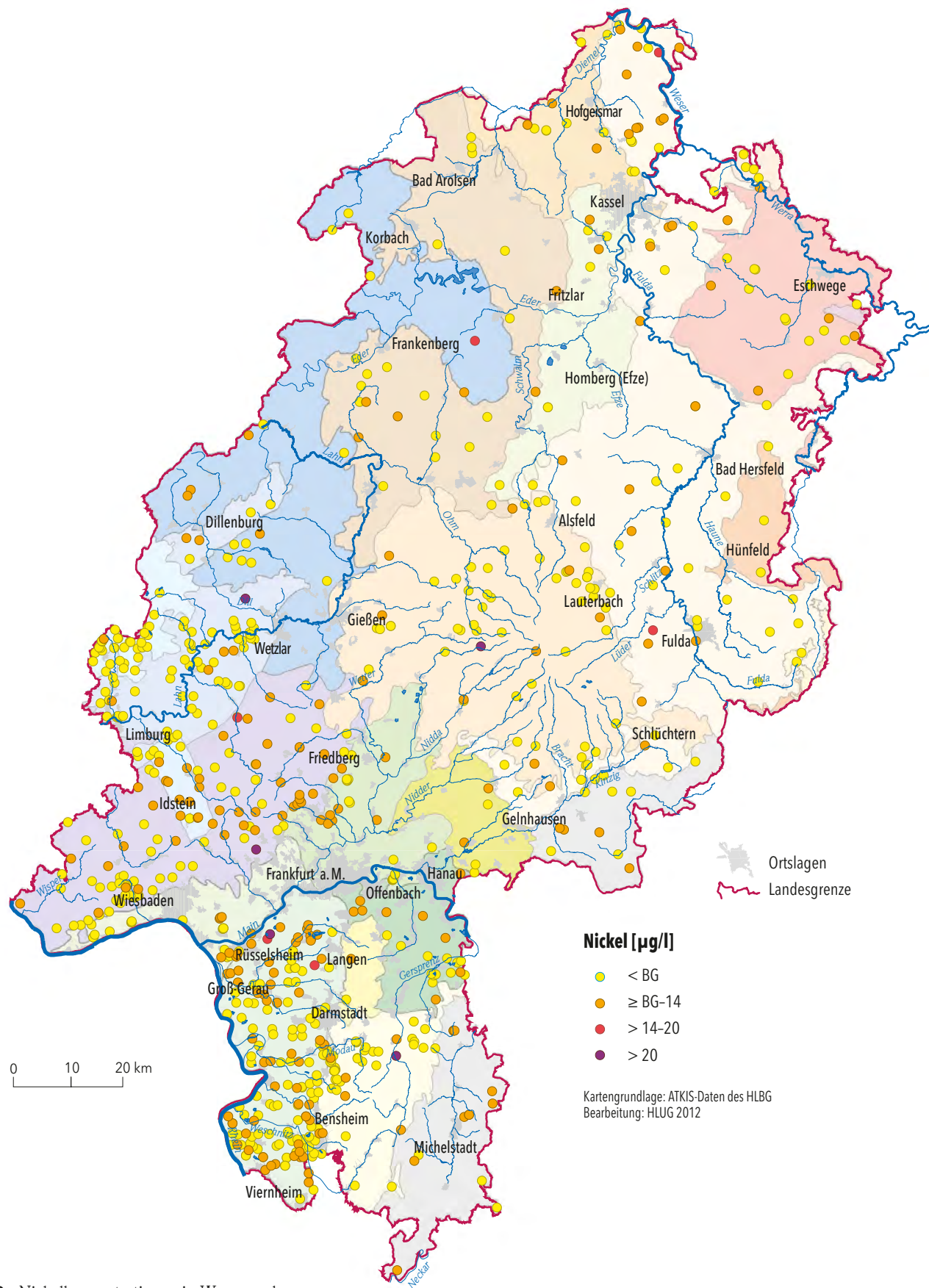


Abb. 29: Nickelkonzentrationen in Wasserproben
der Jahre 2009–2011
(Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Zink

Zink zählt zu den Übergangsmetallen und ist ein in der Erdkruste relativ häufig vorkommendes Element. Zink tritt nicht elementar, sondern als Sulfat, Sulfid, Carbonat, Silicat oder Oxid auf, häufig vergesellschaftet mit Blei oder Cadmium. Zink findet sich überwiegend in gebundenen Erzen; in Hessen gibt es keine bedeutenden Vorkommen. Böden enthalten im Mittel 10–300 ppm Zink, in der Nähe von Lagerstätten und Verhüttungsbetrieben können die Zinkkonzentrationen entsprechend erhöht sein. An Straßenrändern sammelt sich Zinkoxid aus dem Reifenabrieb. Außerdem wird Zink in vielen Metallprodukten, Farben und manchen Düngemitteln eingesetzt und kann darüber in die Umwelt gelangen.

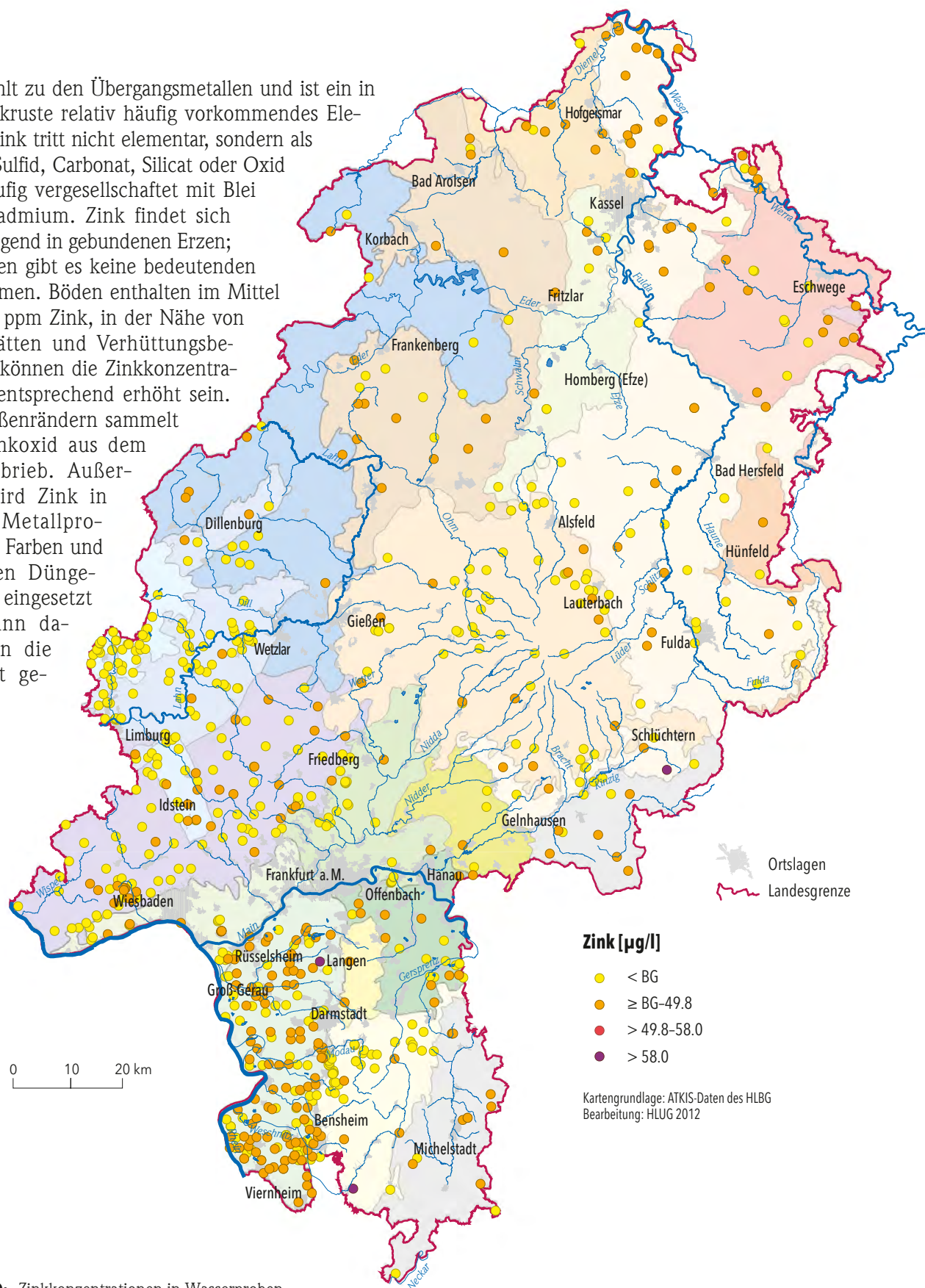


Abb. 30: Zinkkonzentrationen in Wasserproben der Jahre 2009–2011
(Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Die Zinkkonzentrationen in den hessischen Grundwässern sind überwiegend sehr gering und liegen in der Regel in der Nähe der Nachweisgrenze, größtenteils unterhalb des Geringfügigkeitsschwellenwerts von 58 µg/l.

Nickel und Zink zeigen ähnliche räumliche Verteilungsmuster und sind überwiegend in folgenden hydrogeologischen Teilräumen zu finden (Abb. 30):

- tertiäre Sedimente mit Salzwassereinfluss (insb. die Rheingraben-scholle),
- Rheinisches Schiefergebirge,
- Buntsandsteinumrandung der Thüringischen Senke.

Uran

LUDWIG (2010) untersuchte Urankonzentrationen in möglichst anthropogen unbeeinflussten Grundwässern in Hessen. Weiterhin wurden im Zeitraum 2009–2011 Grundwasserproben aus rd. 640 Messstellen des Landesgrundwasserdienstes genommen und auf Uran analysiert.

Bei rd. 2,8 % der untersuchten Grundwässer liegen die ermittelten Urankonzentrationen oberhalb des Trinkwassergrenzwertes von 10 µg/l. Konzentrationen > 10 µg/l treten überwiegend im Bereich des Oberrheingraben, im Spremlinger Horst und in der

südlichen Wetterau sowie in Nordhessen im Bereich Kassel-Eschwege auf (Abb. 32). Diese können häufig mit Gesteinen in Verbindung gebracht werden, die von Natur aus erhöhte Urankonzentrationen aufweisen. Nach ersten Erkenntnissen können aber auch quartäre Torfablagerungen in den Lockergesteinen der Oberrheingraben höhere Urankonzentrationen in den Grundwässern bedingen.

In Nordhessen stehen die gefundenen Urankonzentrationen offenbar im Zusammenhang mit Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins. Eine mögliche Ursache könnte der erhöhte Urangehalt eines Ton- und Tonsteinhorizontes der Oberen Hardeggen-Abfolge, dem obersten Abschnitt des Mittleren Buntsandsteins sein (LUDWIG 1961). Die Urankonzentrationen im Grundwasser werden im Wesentlichen durch Gesteinsauswaschungen in den Grundwasserleitern und den vorherrschenden Redox-Bedingungen bestimmt.

Weiterhin wurde untersucht, ob als Ursache für die erhöhten Urankonzentrationen im Grundwasser uranhaltige Phosphatdüngemittel in Betracht kommen. Dazu wurden an ausgewählten Messstellen Uranisotopenaktivitäten im Grundwasser bestimmt. Mit Hilfe der Isotopendaten wurde versucht, einen Einfluss von uranhaltigen Phosphatdüngemitteln auf die Urankonzentrationen im Grundwasser nachzuweisen. Die Isotopenuntersuchungen zeigten keinen signifikanten

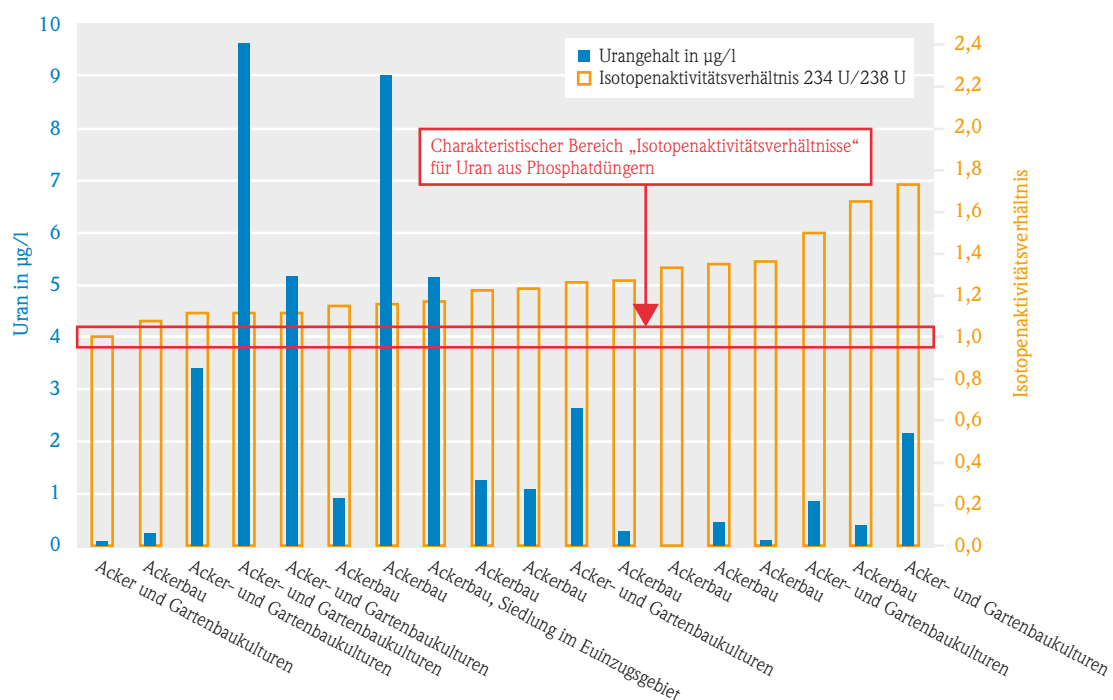


Abb. 31: Urankonzentration und Isotopenaktivitätsverhältnis 2009.

Zusammenhang. Das Isotopenaktivitätsverhältnis der untersuchten Grundwässer lag (bis auf eine Probe) über dem charakteristischen Bereich für Uran aus mineralischen Phosphatdüngern (Abb. 31).

Tab. 5: Häufigkeit der Urankonzentrationen 2009–2011.

Uran [µg/l]	Anzahl der Messstellen	Gesamtanteil
		%
< BG 0,5	862	61,3
≥ BG bis 2	323	22,9
> 2 bis 10	181	12,9
> 10	39	2,8

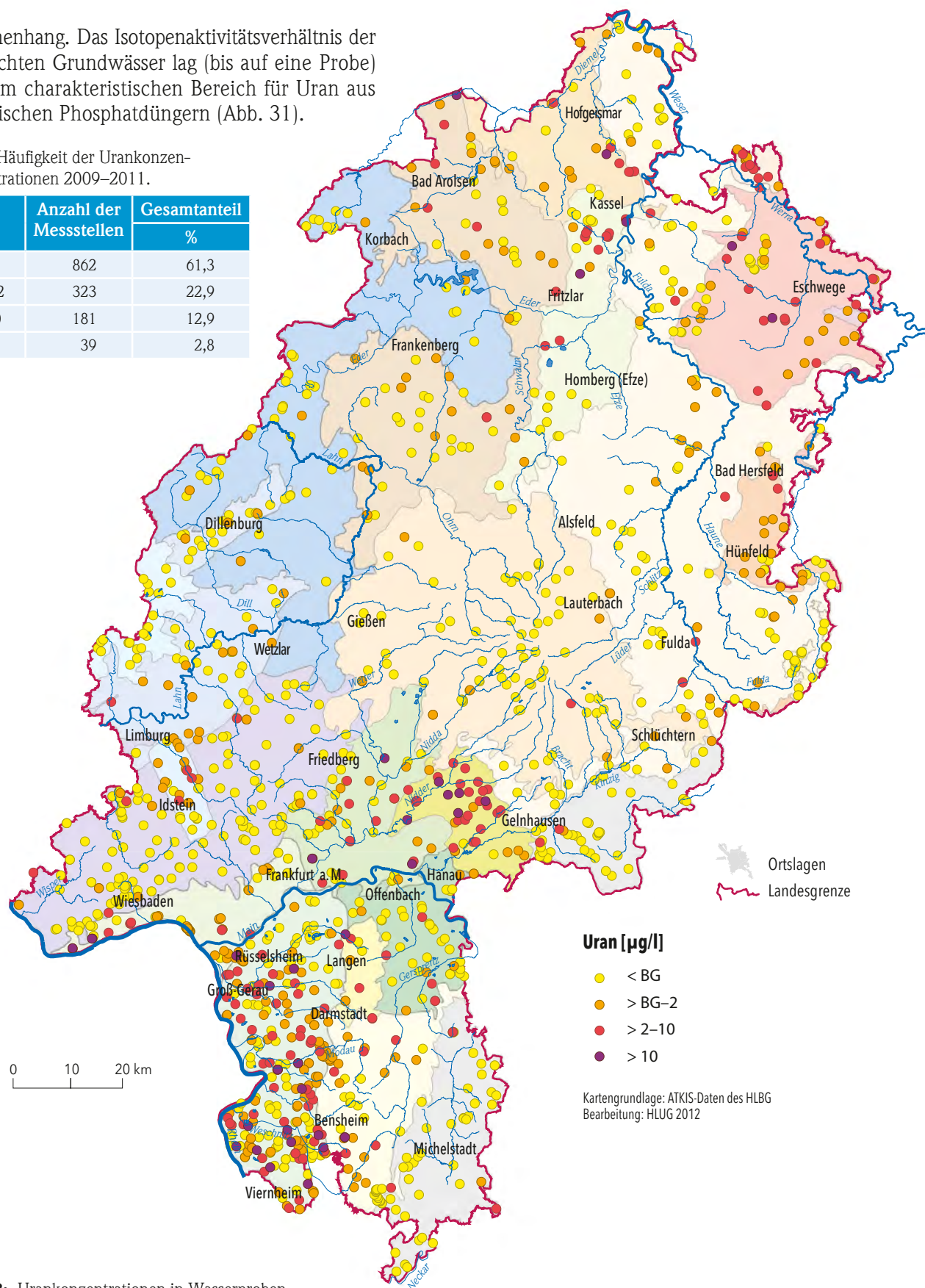


Abb. 32: Urankonzentrationen in Wasserproben der Jahre 2009–2011
(Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Bor

Nach Schätzungen stammen etwa zwei Drittel des in der Umwelt vorhandenen Bors aus anthropogenen Quellen (LFU 2001). Wegen seiner meist geringen geogenen Konzentration ist Bor ein geeigneter Indikator für anthropogene Beeinflussungen des Grundwassers. Bor kann über undichte Abwasser- und Abfallanlagen sowie durch Interaktionen von Grund- und Oberflächengewässer in das Grundwasser gelangen. Für die Wasserwirtschaft ist die Verwendung von Perboraten in Waschmitteln als Bleichmittel von Bedeutung. Diese gelangen als Borate in die Abwässer und dienen somit als nicht-fäkale Abwasserindikator. In den Klärschlämmen werden Borate angereichert.

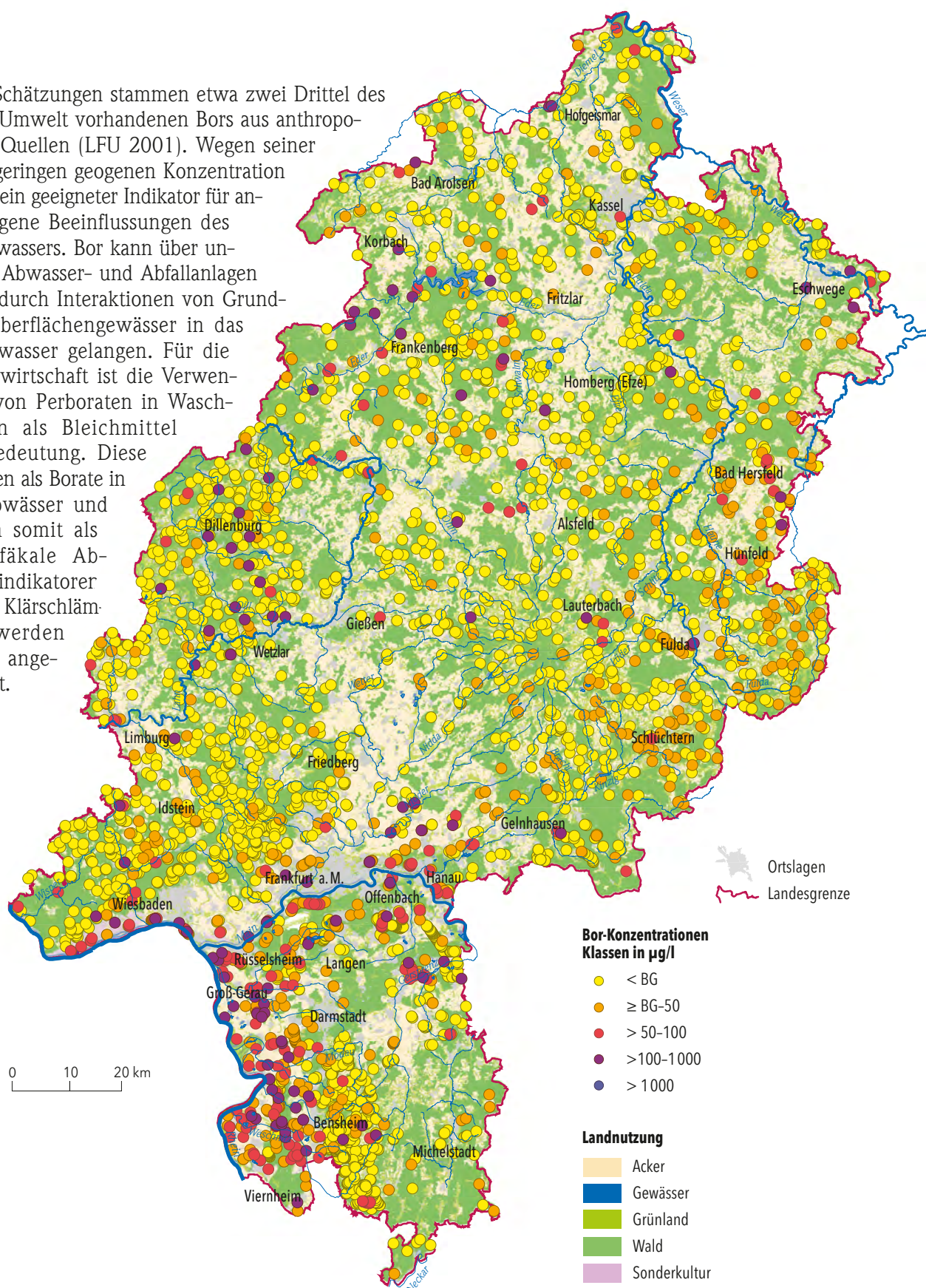


Abb. 33: Borkonzentrationen in Wasserproben der Jahre 2009–2011 (Darstellung der jeweils aktuellsten Messwerte einer Messstelle, BG = Bestimmungsgrenze).

Oft treten erhöhte Borkonzentrationen in Gebieten mit hoher Besiedlungs- und Industrialisierungsdichte auf. Da einige Düngemittel borhaltig sind, können auch unter landwirtschaftlich gedüngten Flächen erhöhte Borkonzentrationen auftreten. Der Grenzwert für Bor nach der Trinkwasserverordnung liegt bei 1 000 µg/l (= 1 mg/l). In Hessen zeigen sich Borgehalte über 100 µg/l im Grundwasser hauptsächlich im Hessischen Ried und im Rheingau (Abb. 33), da hier die Besiedlungsdichte und landwirtschaftliche Düngung relativ hoch ist. Gleichzeitig besteht im Hessischen Ried ein Bach-, Kanal- und Grabensystem, welches einen erhöhten Abwasseranteil aus Kläranlagen mit sich führt. Daraus kann Bor in das Grundwasser infiltriert werden und erklärt Borkonzentrationen über 100 µg/l. Borkonzentrationen über 40–50 µg/l sprechen für einen anthropogenen Einfluss (z. B. Abwasser).

74 % der im Zeitraum 2000–2011 gemessenen Borkonzentrationen in Grundwässern aus über 3 100 Grundwassermessstellen lagen unter der Bestimmungsgrenze (BG). Etwas über 16 % liegen im Bereich bis 50 µg/l. 6 % sind in der Klasse 50 bis 100 µg/l und rd. 3,4 % in der Klasse 100–1 000 µg/l zu finden. Nur bei zwei Grundwassermessstel-

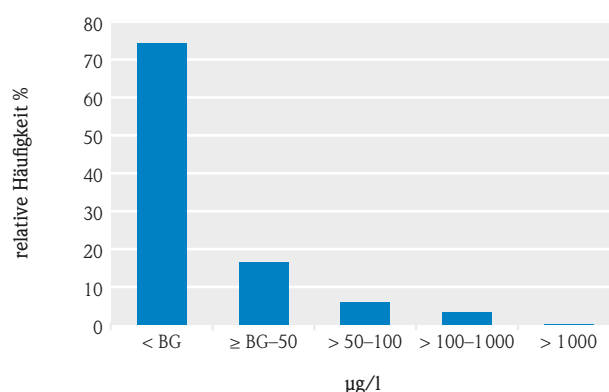


Abb. 34: Borkonzentrationen nach Klassen.

len wurde der Grenzwert nach der TrinkwV von 1 000 µg/l überschritten.

Weitere Spurenstoffe

Zudem wurden Grundwasseranalysen für die Schwermetalle Cadmium (Cd), Blei (Pb), Kupfer (Cu) und Quecksilber (Hg) ausgewertet. Aufgrund weniger Überschreitungen der Geringfügigkeitschwellenwerte (GFS) sowie der Grenzwerte nach Grundwasser- und Trinkwasserverordnung (GrundwV, TrinkwV) werden sie hier nur kurz tabellarisch dargestellt:

Tab. 6: Ergebnisse der Untersuchungen weiterer Schwermetalle 2009–2011.

	Cd	Pb	Cu	Hg
aktueller GFS	0,5 µg/l	10 µg/l	14 µg/l	0,2 µg/l
Grenzwert nach GrundwV	0,5 µg/l	10 µg/l	–	0,2 µg/l
Grenzwert nach TrinkwV	5 µg/l	10 µg/l	2 000 µg/l	10 µg/l
Bestimmungsgrenze	0,08 µg/l	0,5 µg/l	0,5 µg/l	0,05 µg/l
Anzahl ausgewertete Messungen	587	578	551	574
> GFS Anzahl / Prozent	12 / 2 %	5 / 0,9 %	34 / 6,2 %	2 / 0,35 %
< Bestimmungsgrenze	85 %	82 %	22 %	99,30 %
Mittelwert	0,137 µg/l	0,47 µg/l	5,1 µg/l	< BG
Maximaler Wert Einzelmessung	44,8 µg/l	33,7 µg/l	60 µg/l	3,9 µg/l

5 Organische Wasserinhaltsstoffe

5.1 Pflanzenschutzmittel

5.1.1 Einführung

Nach § 2 des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG) sind Pflanzenschutzmittel Stoffe, die dazu bestimmt sind,

- a) Pflanzen oder lebende Teile von Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen zu schützen,
- b) Pflanzen oder lebende Teile von Pflanzen und Pflanzenerzeugnisse vor Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen zu schützen, die nicht Schadorganismen sind,
- c) die Lebensvorgänge von Pflanzen zu beeinflussen, ohne ihrer Ernährung zu dienen (Wachstumsregler),
- d) das Keimen lebender Teile von Pflanzen und Pflanzenerzeugnissen zu hemmen, ausgenommen sind Wasser, Düngemittel im Sinne des Düngemittelgesetzes und Pflanzenstärkungsmittel; als Pflanzenschutzmittel gelten auch Stoffe, die dazu bestimmt sind, Pflanzen abzutöten oder das Wachstum von Pflanzen zu hemmen oder zu verhindern, ohne dass diese Stoffe unter Buchstabe a oder c fallen.

Für den Grundwasserschutz sind die Vermeidung von Schadstoffeinträgen, das Ergreifen von Maßnahmen zur Reduzierung bereits eingetretener Verunreinigungen und die Überwachung der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser bedeutsam. Wegen der ökotoxikologischen Bedeutung kommt den Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und deren Metaboliten (Abbauprodukte) im Grundwasserschutz eine besondere Bedeutung zu.

In Deutschland sind der Vertrieb und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) seit vielen Jahren reglementiert. Seit 1968 besteht eine Zulassungspflicht. Danach haben sich die rechtlichen Vorschriften ständig weiter entwickelt. 1991 folgte die europäische Richtlinie 91/414/EWG über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. Die Grundlage für eine einheitliche Prüfung und Bewertung

wurde geschaffen. Die Richtlinie wurde in Deutschland mit einer Novelle in das Pflanzenschutzgesetz umgesetzt. Auf dieser Grundlage werden Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln in einem gemeinschaftlichen Verfahren auf europäischer Ebene geprüft. Im Jahr 2011 wurde die Richtlinie durch die Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 abgelöst.

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) in Braunschweig ist in Deutschland für die nationale Zulassung von Pflanzenschutzmitteln (Handelsprodukten) zuständig. In den Handelsprodukten dürfen nur die von der EU zugelassenen Wirkstoffe enthalten sein (LAWA 2010).

Am 22.12.2000 ist die WRRL in Kraft getreten. Einer der Grundsätze dieser Richtlinie ist es, dass Grundwässer einen „guten chemischen Zustand“ aufweisen oder in einen solchen gebracht werden müssen. Um den Zustand der Grundwasserkörper zu beurteilen, gibt die Grundwasserrichtlinie (2006/118/EG) eine Qualitätsnorm für Konzentrationen der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser von 0,1 µg/l für den Einzelwirkstoff oder relevante Metabolite bzw. von 0,5 µg/l für die Summe aller PSM-Wirkstoffe oder relevanter Metabolite vor.

In Hessen wird das Grundwasser regelmäßig im Rahmen der Rohwasseruntersuchungsverordnung (RUV) auf die in Tab. 7 aufgeführten PSM-Wirkstoffe untersucht. Darüber hinaus kann das Grundwasser jeweils anlassbezogen auf weitere im Grundwasser auftretende PSM-Wirkstoffe (z. B. Metabolite) untersucht werden.

Die Tab. 8 gibt den Inlandsabsatz an Wirkstoffen für die Jahre 2001–2010 wieder. Hier ist jedoch zu beachten, dass der Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht direkt mit der Ausbringungsmenge in Jahresfrist gleichzusetzen ist, da einige Pflanzenschutzmittel auf Vorrat gekauft werden bzw. der Einsatz der Präparate im Ankaufsjahr von der Witterung und den Anbauverhältnissen bestimmt wird (LAWA 2010).

Tab. 7: RUV-Liste der untersuchten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe.

Atrazin	Desisopropylatrazin	MCPA	Parathionethyl
Bentazon	Dichlorprop	Mecoprop	Propazin
Bromacil	Diuron	Metazachlor	Sebuthylazin
Carbofuran	Gamma-HCH (Lindan)	Methabenzthiazuron	Simazin
Chlortoluron	Hexazinon	Metobromuron	Terbuthylazin
Desethylatrazin	Isoproturon	Monuron	

Tab. 8: Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (in Tonnen) seit 2001.

Pflanzenschutzmittelwirkstoffe	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Herbizide	14 942	14 328	15 350	15 923	14 698	17 015	17 147	18 626	14 619	16 675
Fungizide	8 246	10 129	10 033	8 176	10 184	10 251	10 942	11 505	10 922	10 431
Insektizide und Akarizide	6 518	5 889	6 370	7 328	6 809	7 780	9 153	9 665	9 625	10 360
ohne inerte Gase	740	742	779	1 082	827	813	1 092	909	1 030	941
inerte Gase	5 778	5 147	5 591	6 246	5 982	6 967	8 061	8 756	8 595	9 419
Sonstige	3 957	4 332	4 002	3 704	3 803	3 740	3 502	3 624	3 591	3 378
Summe	33 663	34 678	35 755	35 131	35 494	38 786	40 744	43 420	38 757	40 844
Summe ohne inerte Gase	27 885	29 531	30 164	28 885	29 512	31 819	32 683	34 664	30 162	31 425

Quelle: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland; Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Braunschweig (BVL 2010)

5.1.2 Eintragspfade von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in die Gewässer

Pflanzenschutzmittelwirkstoffe können auf verschiedenen Wegen ins Grundwasser gelangen. Grundsätzlich können Punktquellen und diffuse Eintragsquellen unterschieden werden. Ein direkter Eintrag der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in das Grundwasser kann durch Versickerung, z. B. von Acker-, Garten- und Grünflächen geschehen.

Als Punktquellen können genannt werden:

- Hofabläufe aus landwirtschaftlichen Betrieben,
- PSM-Herstellung und Lagerung.

Als diffuse Quellen können genannt werden:

- Run off (Oberflächenabfluss, Abschwemmung und Erosion),
- Drainagen,
- Ackerflächen, Spraydrift,
- Gärten oder öffentliche Grünflächen.

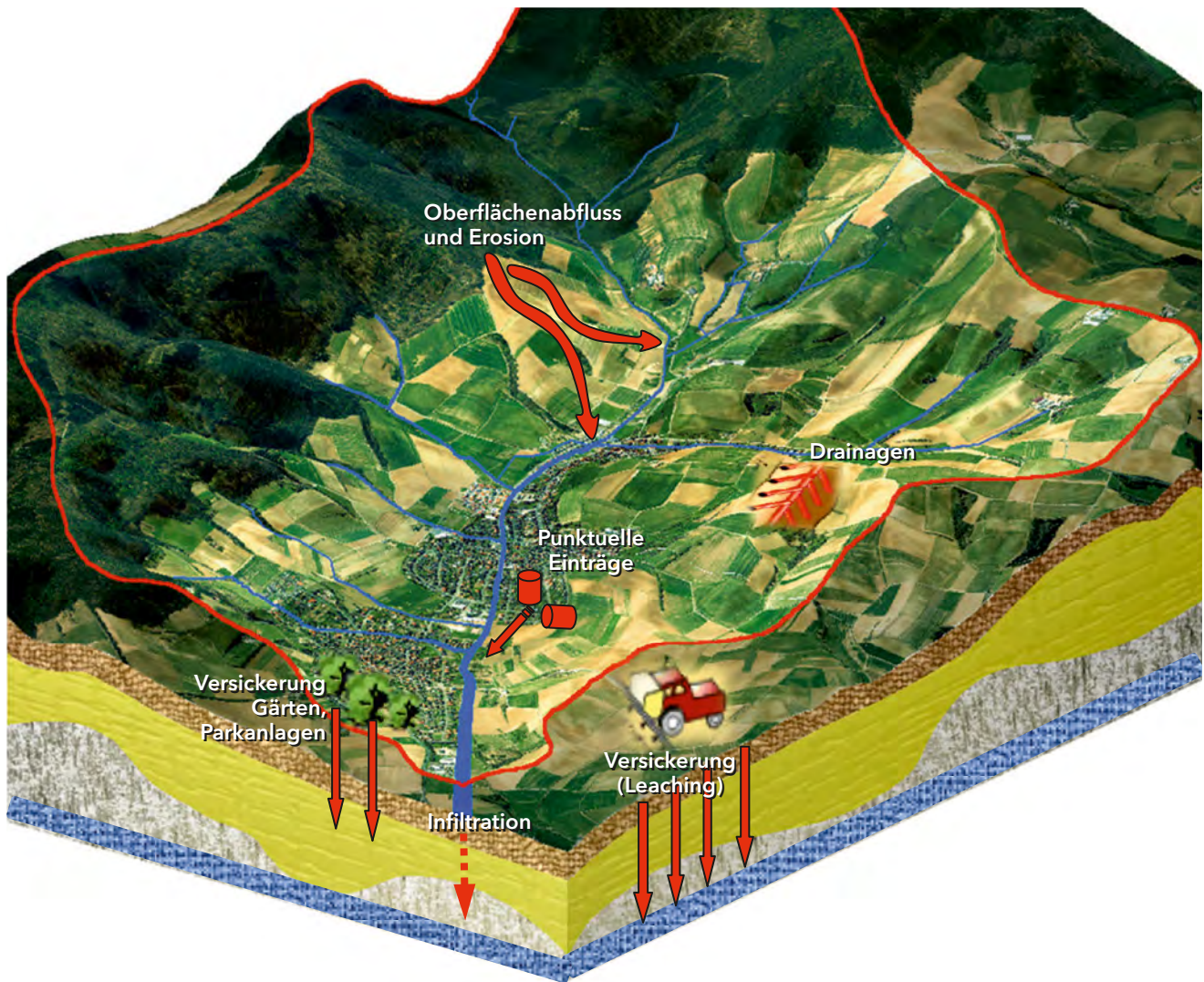


Abb. 35: Eintragspfade von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in Oberflächengewässer und Grundwässer. Mit der roten Linie ist das oberirdische Einzugsgebiet des dargestellten Gewässerabschnittes abgegrenzt.

5.1.3 Pflanzenschutzmittelbefunde für das Jahr 2011

Unter den untersuchten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (rd. 130) wird am häufigsten Desethylatrazin mit 79 positiven Befunden (5,3%) gefunden (Untersuchungsumfang: 1 504 Messstellen). Bentazon ist der zweithäufigste detektierte Wirkstoff mit 28 positiven Befunden (1,9%, Untersuchungsumfang 1 477 Messstellen). Hierbei liegen zwei Messwerte über 1 µg/l. Für Atrazin besteht seit 1992 ein Anwendungsverbot in Deutschland. Atrazin findet sich dennoch in 21 von 1 516 Messstellen (1,4%). In der Tabelle 9 sind die am häufigsten gefundenen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser dargestellt.

An 6 (rd. 0,3%) von 1861 untersuchten Messstellen wurde im Grundwasser der Summengrenzwert der PSM-Einzelwirkstoffe von 0,5 µg/l überschritten (Tabelle 10). Meist sind erhöhte Konzentrationen in den Grundwässern Südhessens, aufgrund der dort intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen, zu finden. Gleichzeitig weisen die überwiegend sandig und kiesig aufgebauten Grundwasserleiter gerade im Hessischen Ried und in der Hanau-Seligenstädter Senke eine gute bis sehr gute hydraulische Durchlässigkeit auf, die zu einer Ausbreitung von in das Grundwasser eingetragenen Stoffen beiträgt (Abb. 36).

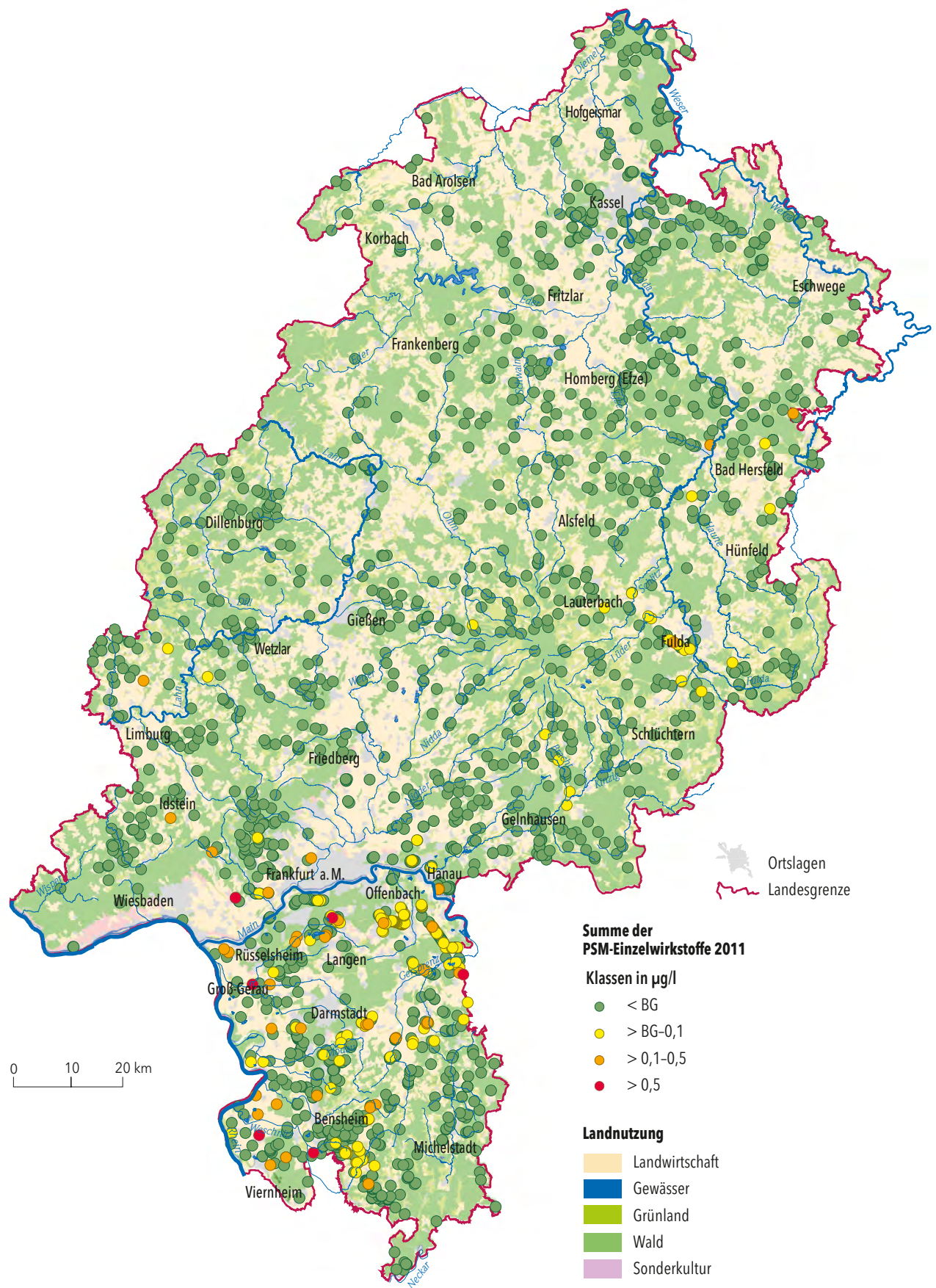


Abb. 36: Räumliche Verteilung der Summenkonzentration der PSM-Einzelwirkstoffe (RUV-Liste) in hessischen Grundwässern 2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

Tab. 9: Häufigkeit der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser 2011 (Auszug).

Pflanzenschutzmittelwirkstoffe	Anzahl der Messstellen				
	insgesamt untersucht	nicht nachgewiesen	nachgewiesen		
			bis 0,1 µg/l	> 0,1 bis 1,0 µg/l	> 1,0 µg/l
Desethylatrazin	1 504	1 425	69	10	0
Bentazon	1 477	1 449	14	12	2
Atrazin	1 516	1 495	19	2	0
Bromacil	1 499	1 483	6	10	0
Hexazinon	1 507	1 496	7	4	0
Mecoprop	1 477	1 468	1	8	0
Diuron	1 477	1 471	4	2	0
Desisopropylatrazin	1 495	1 490	4	1	0
Simazin	1 507	1 502	4	1	0
Propazin	1 506	1 503	3	0	0
2,6-Dichlorbenzamid	385	383	0	2	0
Desethylterbuthylazin	708	706	2	0	0
Dichlorprop	1 476	1 474	0	2	0
Isoproturon	1 477	1 475	1	1	0
MCPA	1 477	1 475	0	2	0
Monuron	1 476	1 474	0	2	0
Terbuthylazin	1 507	1 505	2	0	0

Tab. 10: Häufigkeit der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser 2011 von 1861 untersuchten Messstellen.

Summenkonzentration der PSM-Einzelwirkstoffe in µg/l	Anzahl	%
< Bestimmungsgrenze (BG)	1 650	88,7
≥ BG-01	165	8,9
> 0,1-0,5	40	2,1
> 0,5	6	0,3

5.1.4 Zugelassene Pflanzenschutzmittelwirkstoffe

Von den derzeit zugelassenen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen wurden Bentazon und Mecoprop für eine weitergehend Betrachtung ausgewählt, da sie zu den häufigsten gefundenen Wirkstoffen im Grundwasser gehören.

Bentazon

Bentazon wird als Herbizid für Winter- und Sommergetreide, aber auch im Mais-, Soja- und Gemüseanbau angewendet. Bentazon gehört zu den häufig eingesetzten und weit verbreiteten PSM-Wirkstoffen.

Bentazon rangiert mittlerweile auf Platz zwei der am häufigsten gefundenen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser (s. Kap 5.1.3, Tab. 9).

Für Bentazon zeigt sich bis zum Jahr 2006 ein Rückgang der positiven Befunde. Bentazon wurde nur noch im Grundwasser von 0,4 % der untersuchten Grundwassermessstellen nachgewiesen. Seitdem nehmen die positiven Befunde wieder kontinuierlich zu. So konnten für das Jahr 2011 bei rd. 1 % der untersuchten Grundwässer erhöhte Konzentrationen von über 0,1 µg/l festgestellt werden. Auch der Anteil der nachweisbaren Befunde bis 0,1 µg/l hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht.

Mecoprop

In Deutschland sind mehrere mecoprophaltige Pflanzenschutzmittel – zum Teil in Kombination mit anderen Wirkstoffen – zur Bekämpfung von unerwünschten Kräutern in Sommer- und Wintergetreide, Kernobst, Wiesen und Weiden, Rasen im Haus- und Kleingartenbereich sowie im Weinbau als Herbizid zugelassen.

Im ersten Beobachtungsjahr 1991 waren rund 2 % der Befunde positiv. Danach ist im gesamten Beobachtungszeitraum kein eindeutiger Trend festzustellen. Der relative Anteil der positiven Befunde liegt bei einem Anteil unter 1 %.

5.1.5 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, bei denen ein Anwendungsverbot besteht

Atrazin

Seit 1992 besteht in Deutschland ein Anwendungsverbot für Atrazin. Auch in der EU ist Atrazin nicht mehr als Wirkstoff zugelassen. Der Wirkstoff wurde zur Unkrautbekämpfung hauptsächlich im Mais-, Spargel- und Kartoffelanbau eingesetzt. Verbliebene Restmengen von Atrazin im Boden können aufgrund der Persistenzeigenschaften ins Grundwasser gelangen. Bei neuen Einträgen in Gewässer können illegalen Anwendungen nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Atrazin wird über die Wurzeln und die Blätter aufgenommen und stört die Photosynthese und andere fermentative Prozesse in der Pflanze. Die Metabolite von Atrazin sind bedeutend weniger toxisch. Atrazin wird als Substanz mit potentieller Wirkung auf das Hormonsystem des Menschen und der Tiere eingestuft (EU-KOMMISSION 2001).

Atrazin ist ein Herbizid, das im Rahmen der Umsetzung der WRRL als prioritärer Stoff eingestuft wurde.

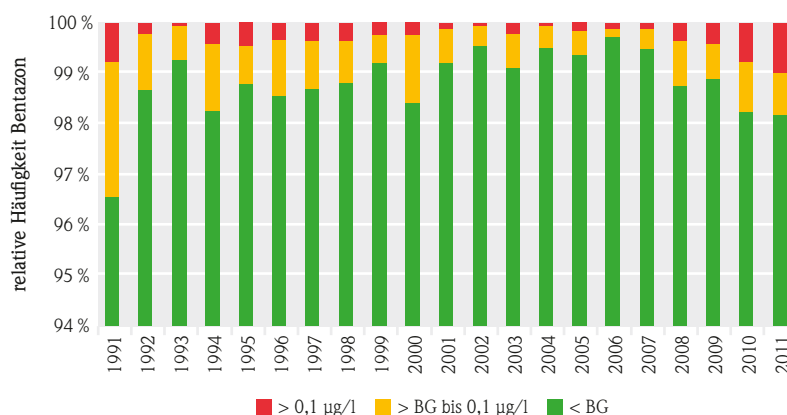


Abb. 37: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Bentazon.

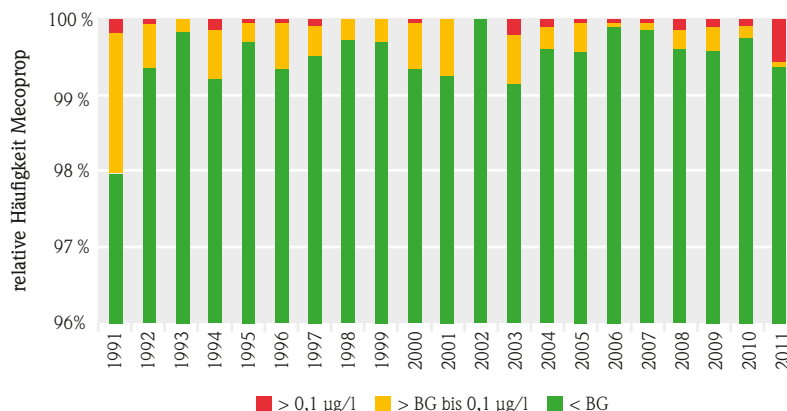


Abb. 38: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Mecoprop.

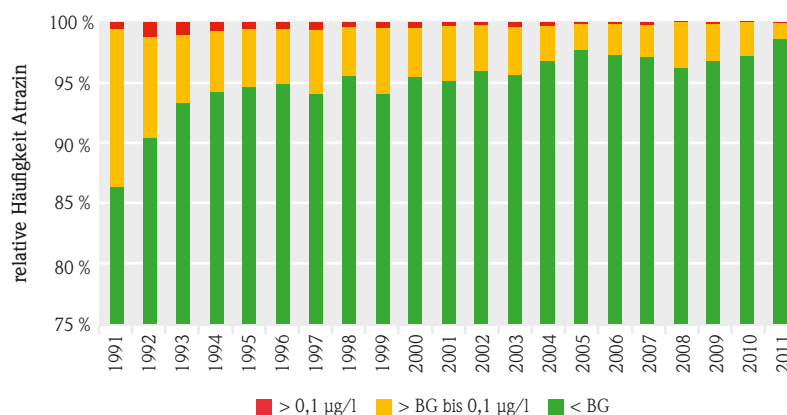


Abb. 39: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Atrazin.

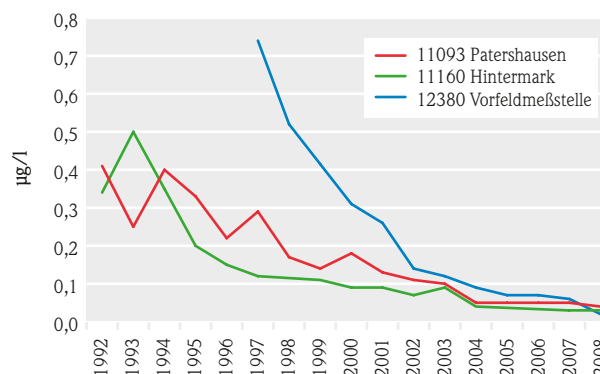


Abb. 40: Beispielhafte Entwicklung der Atrazinkonzentrationen im Grundwasser.

Ein prioritärer Stoff gilt auf EU-Ebene im Sinne des Gewässerschutzes als höchst bedenklich (EU-KOMMISSION 2001). Trotz des lange zurückliegenden Verbotes wurde die Zielvorgabe der LAWA für das Schutzgut Grundwasser von 0,1 µg/l an einigen Messstellen in der jüngeren Vergangenheit nicht eingehalten.

Trotz des Anwendungsverbots seit 1992 ist immer noch in knapp 2 % der Grundwasserproben Atrazin zu finden (Abb. 39). Einige wenige Grundwässer liegen noch über dem Grenzwert von 0,1 µg/l der Trinkwasserverordnung. Allerdings ist insgesamt eine deutlich fallende Tendenz zu beobachten (RÜCKERT 2006).

In der Einzelauswertung (Abb. 40) zeigt sich für einige Messstellen eine erhebliche Verbesserung der Atrazin-Konzentrationen. Heute zeigen diese Messstellen keine Positivbefunde mehr.

Desethylatrazin

Desethylatrazin ist ein Abbauprodukt (Metabolit) von Atrazin. Wie Abb. 41 zeigt, ist Desethylatrazin auch heute noch in rd. 6 % aller Grundwasserproben zu finden. Zwar ist die Tendenz auch hier abnehmend, da es sich aber um ein Abbauprodukt handelt, ist es insgesamt immer noch häufiger im Grundwasser zu finden als der Ausgangsstoff Atrazin selbst.

Diuron

Für Diuron gilt seit 1997 ein Anwendungsverbot entlang von Gleisanlagen, seit 2003 auch im Haus- und Kleingartenbereich. Die Zulassung beschränkte sich bis zum Juni 2007 auf Nichtkulturland und Flächen im Obst- und Weinbau. Am 31.12.2007 wurde die Zulassung für diuronhaltige PSM mit einer einjährigen Aufbrauchfrist vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit widerrufen (LAWA 2010).

Die Wirkungsweise des Stoffes findet vor allem über die Wurzeln der behandelten „Unkraut“-Pflanzen statt und hemmt die Photosynthese. Diuron ist ein Herbizid, das im Rahmen der WRRL als prioritärer Stoff eingestuft wurde und als gesundheitsschädlicher, ökotoxischer und persistenter Pflanzenschutzmittelwirkstoff gilt. Der Verbrauch wurde für 2005 mit 25–100 Tonnen in Deutschland abgeschätzt. Da Diuron viele Jahre lang u. a. von der Deutschen Bahn AG zur Gleisentkrautung eingesetzt wurde, sind Diuron-Einträge in das Grundwasser in Hessen hauptsächlich an Gleisanlagen zu finden (RÜCKERT 2006).

Da Diuron auch in gewerblichen und häuslichen Bereichen Verwendung fand, können diese Eintragspfade ebenfalls an den Einträgen in das Grundwasser beteiligt sein.

Diuron wurde in den letzten Jahren nur noch bei einem sehr geringen Teil (< 1 %) der Grundwässer nachgewiesen. Die Tendenz der positiven Befunde ist hier seit den 1990er Jahren abnehmend (Abb. 42).

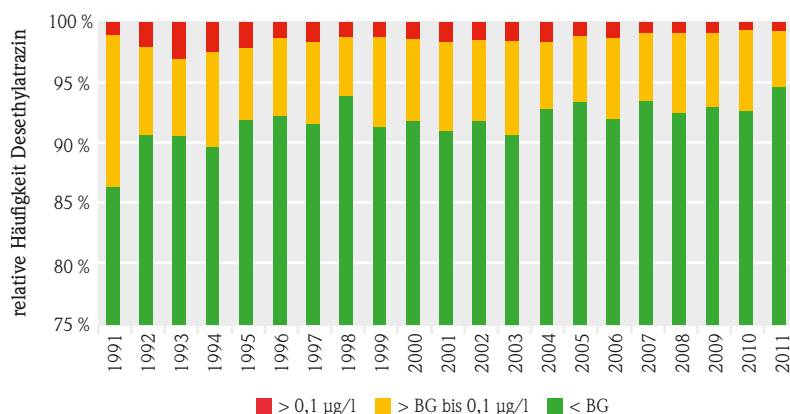


Abb. 41: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Desethylatrazin.

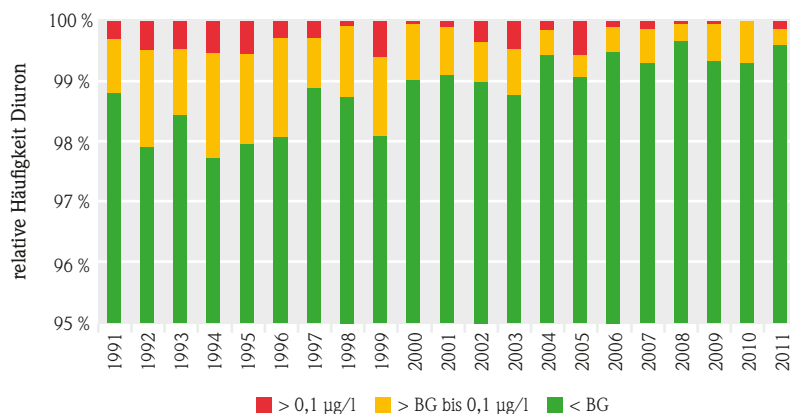


Abb. 42: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Diuron.

Bromacil

Das Herbizid Bromacil ist seit 1992 nicht mehr zugelassen. In der Wirkungsweise ist es ein Photosynthesehemmer. Bromacil wurde zur „Unkraut“-Bekämpfung auf Nichtkulturland und zur selektiven Bekämpfung von „Unkräutern“ z. B. im Obst- und Weinbau eingesetzt. Auch die Deutsche Bahn AG setzte es entlang von Gleisanlagen ein.

Die Häufigkeit der positiven Befunde im Grundwasser ist seit dem Verbot rückläufig. Allerdings ist der Anteil der Grundwässer, in denen die Konzentrationen über 0,1 µg/l liegen, im Vergleich zu anderen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen, relativ hoch. Dies kann auf eine hohe Persistenz und Sorption des Wirkstoffes im Boden hindeuten (COPENHAVER & WILKINSON 1979).

Simazin

Simazin ist ein Herbizid, das seit dem Jahr 2000 in Deutschland nicht mehr zugelassen ist. Es wurde

häufig im Maisanbau verwendet und hemmt in seiner Wirkungsweise die Photosynthese der „Unkräuter“.

Anfang der 1990er Jahre zeigten über 5 % der untersuchten Grundwässer positive Befunde. Im weiteren zeitlichen Verlauf nahmen die positiven Befunde ab. Nach Rücknahme der Zulassung war noch einmal ein Rückgang zu erkennen, der sich aber nicht fortgesetzt hat. Der Wirkstoff gilt als sehr persistent (KNORR & SCHELL 1997) und ist bis heute in 1–1,5 % der Grundwasserproben zu finden.

Fazit:

Die Belastungen der hier untersuchten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Grundwasser haben sich im Beobachtungszeitraum der letzten 20 Jahre verringert. Der relative Anteil der positiven Befunde nahm von rd. 6 auf 1,2 % ab. Insbesondere die anfänglich hohe Fundhäufigkeit von Atrazin, Desethylatrazin, Diuron, Bromacil und Simazin, bei denen seit vielen Jahren ein Anwendungsverbot besteht, sind deutlich zurückgegangen. Dennoch sind diese

Wirkstoffe bis heute im Grundwasser nachzuweisen. Selbst biologisch gut abbaubare Verbindungen, die unter Laborbedingungen eine Halbwertszeit von wenigen Tagen aufweisen, können durch Sorption an die Bodenmatrix noch Jahre nach der letzten Anwendung im Boden nachweisbar sein (KNORR & SCHELL 1997).

Bei einigen der zugelassenen Wirkstoffe (z. B. Bentazon) ist die Fundhäufigkeit in den letzten Jahren gestiegen, so dass dieser Entwicklung besondere Aufmerksamkeit gilt. Hierzu werden die positiven Befunde durch das Umweltbundesamt bundesweit erfasst. Bei der Fundaufklärung sollen die Ursachen für die Anwesenheit des Wirkstoffes im Grundwasser untersucht und interpretiert werden. Hieraus kann ein Handlungsbedarf für die Anwender, ein Modifizieren des Zulassungsverfahrens, eine Anwendungsbeschränkung oder ein Widerruf der Zulassung des Pflanzenschutzmittelwirkstoffes abgeleitet werden. Um

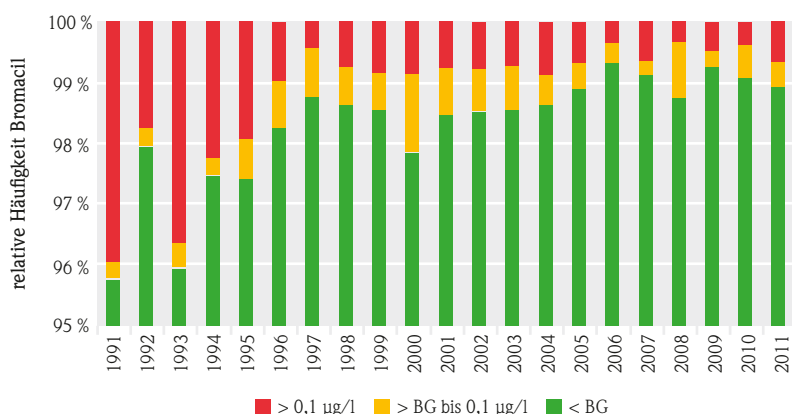


Abb. 43: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Bromacil.

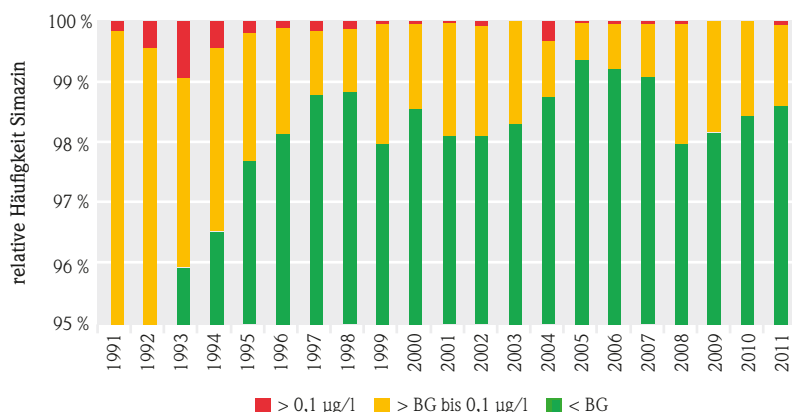


Abb. 44: Prozentualer Anteil von Konzentrationsklassen für Simazin.

langfristig die Belastungen des Grundwassers mit PSM-Wirkstoffen zu verringern, ist die Fundaufklärung ein wichtiges Instrument und muss systematisch fortgesetzt werden (RÜCKERT 2011).

5.1.6 Nicht relevante Metabolite von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen

Unter „nicht relevante Metaboliten“ (nrM) von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen werden im Sinne des Pflanzenschutzrechts Abbauprodukte verstanden, die nach heutigem Kenntnisstand nicht bedenklich hinsichtlich ihrer human- und ökotoxikologischen Eigenschaften sind und keine pestizide Wirkung mehr aufweisen. Dem Begriff „nicht relevant“ ist nicht zu entnehmen, dass diese Stoffe für das Grundwasser ohne Bedeutung sind.

Aufgrund von Routineuntersuchungen im Labor der Landeswasserversorgung Baden-Württemberg im Jahr 2006 wurden zwei neue, bis dahin unbekannte Substanzen im Grundwasser gefunden. Diese hatten teils erhebliche Konzentrationen und konnten als Metaboliten des Rübenherbizids Chloridazon identifiziert werden. Auch wurde vom Technologiezentrum Wasser/Karlsruhe (TZW) erkannt, dass aus dem Fungizid Tolyfluanid das bis dato nicht bekannte Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS) gebildet wird. Die Problematik bei DMS besteht darin, dass bei der Trinkwasseraufbereitung durch Ozonung DMS-haltiger Wässer das cancerogene N-Nitrosodimethylamin entstehen kann. Daraufhin wurden in einigen Bundesländern weitere Untersuchungen zu den nicht relevanten Metaboliten durchgeführt. Aufgrund der DMS-Funde im Grundwasser wurde zunächst das Ruhen der Zulassung für die Anwendung tolyfluanidhaltiger Produkte im Freiland durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) angeordnet. Ende 2008 wurde deren Zulassung ganz widerrufen. Die Anwendung in Gewächshäusern ist weiterhin zulässig.

Das Umweltbundesamt (UBA) hat ein Verfahren zur Ableitung von gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW) für nicht relevante Metabolite von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln für das Trink-

wasser empfohlen (UBA 2008). Hierbei wird bei Vorliegen aussagekräftiger Studien für nicht relevante Metabolite ein trinkwasserhygienisch bis auf weiteres hinnehmbarer GOW genannt. Nicht relevante Metaboliten besitzen weder eine definierte pestizide Restaktivität, noch ein pflanzenschutzrechtlich relevantes humantoxisches oder ökotoxisches Potenzial. Es wurde der aktuelle Bewertungsstand der GOW vom 31.01.2012 in Tab. 12 herangezogen. Dieser ist unter folgendem Link einzusehen: www.umwelt-daten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/tabelle_gow_nrm.pdf (UBA, BFR 2012)

Die GOW entspringen dem allgemeinen trinkwasserhygienischen Vorsorgegedanken und sind rechtlich nicht bindend.

Messprogramm und Ergebnisse in Hessen

Die Untersuchungen von nicht relevanten Metaboliten (nrM) wurden in Hessen an Grundwässern aus Messstellen des Landesgrundwasserdienstes (LGD) durchgeführt. Die Lage der Messstellen des LGD wurde bei der allgemeinen Konzeption überwiegend so gewählt, dass sie „anthropogen unbeeinflusste“ Grundwässer repräsentieren sollen. Das bedeutet, dass die potentielle Fundhäufigkeit in einigen Gebieten höher liegen kann, als dies durch das Messnetz dargestellt wird.

Im Jahr 2011 wurden sieben nrM im Grundwasser untersucht (Tab. 11 und 12).

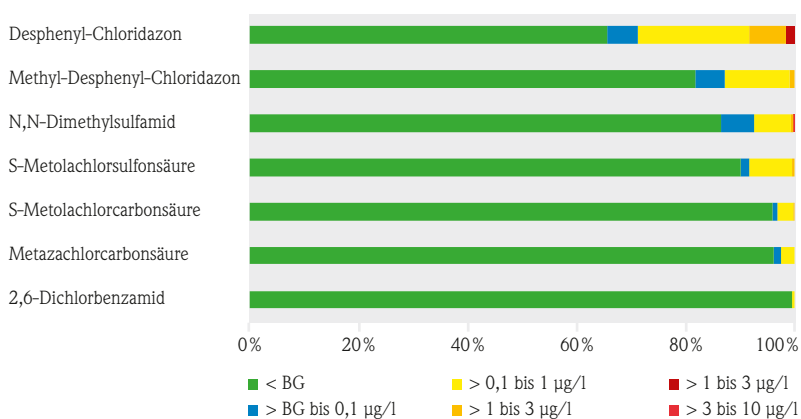
Der meist gefundene nrM ist Desphenyl-Chloridazon, der ein Metabolit des Rübenherbizids Chloridazon ist. Desphenyl-Chloridazon wurde in 122 von 355 Grundwasserproben (34,4 %) gefunden. Ein weiterer nrM des Chloridazon ist das Methyl-Desphenyl-Chloridazon, welches nicht ganz so häufig und in geringeren Konzentrationen gefunden wurde. Hier sind 61 positiv Befunde bei 335 Grundwasserproben (18,2 %) zu verzeichnen. Der Metabolit S-Metolachlorsulfonsäure des Mais-Herbizids Metolachlor wurde in 31 von 312 Grundwasserproben gefunden (9,9 %).

Tab. 11: Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und deren untersuchte nicht relevante Metabolite (nrM).

Wirkstoff	Wirkbereich	Anwendung/Kulturen	nicht relevante Metabolite
Chloridazon	Herbizid	Rüben	Desphenyl-Chloridazon Methyl-Desphenyl-Chloridazon
Tolyfluanid	Fungizid	Reben, Obst, Hopfen	N,N-Dimethylsulfamid
S-Metolachlor	Herbizid	Mais	S-Metolachlorsulfonsäure S-Metolachlorcarbonsäure
Metazachlor	Herbizid	Raps, Gemüse, Zierpflanzen	Metazachlorcarbonsäure
Dichlobenil	Herbizid	Reben, Obst, Zierpflanzen	2,6-Dichlorbenzamid

Tab. 12: Untersuchte nicht relevante Metabolite von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen im Jahr 2011.

Nicht relevante Metabolite	GOW in µg/l	% Messst. > GOW	Anzahl der Messstellen						
			Insg. untersucht	< BG 0,05	nachgewiesen [µg/l]				
					bis 0,1	>0,1 bis 1	>1 bis 3	>3 bis 10	>10
Desphenyl-Chloridazon	3,0	1,7	355	233	20	72	24	6	0
Methyl-Desphenyl-Chloridazon	3,0	0,0	335	274	18	40	3	0	0
N,N-Dimethylsulfamid	1,0	0,9	346	299	21	23	2	0	1
S-Metolachlorsulfonsäure	3,0	0,0	312	281	5	24	2	0	0
S-Metolachlorcarbonsäure	3,0	0,0	312	299	3	9	1	0	0
Metazachlorcarbonsäure	1,0	0,0	312	300	4	8	0	0	0
2,6-Dichlorbenzamid	3,0	0,0	385	383	0	2	0	0	0

**Abb. 45:** Relative Fundhäufigkeit der nicht relevanten Metaboliten 2011.

N,N-Dimethylsulfamid (DMS) ist ein Metabolit des Pflanzenschutzmittelwirkstoffs Tolyfluanid und ist in 13,6 % der untersuchten Grundwässer gefunden worden. 2,6-Dichlorbenzamid stellt den wichtigsten im Boden gebildeten Metaboliten des vor über 40 Jahren entwickelten Nitril-Herbizids Dichlobenil dar. 2,6-Dichlorbenzamid wurde in zwei der untersuchten Grundwässer detektiert (Tab. 12).

Die Ausgangsstoffe der Metaboliten Chloridazon, Tolyfluanid, S-Metolachlor, Metazachlor und Dichlobenil konnten bei den Untersuchungen im Grundwasser nicht nachgewiesen werden. Das deutet darauf hin, dass diese Stoffe bereits abgebaut bzw. metabolisiert worden sind. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die Positivbefunde auf Grundwässer unter landwirtschaftlich beeinflussten Gebieten konzentrieren.

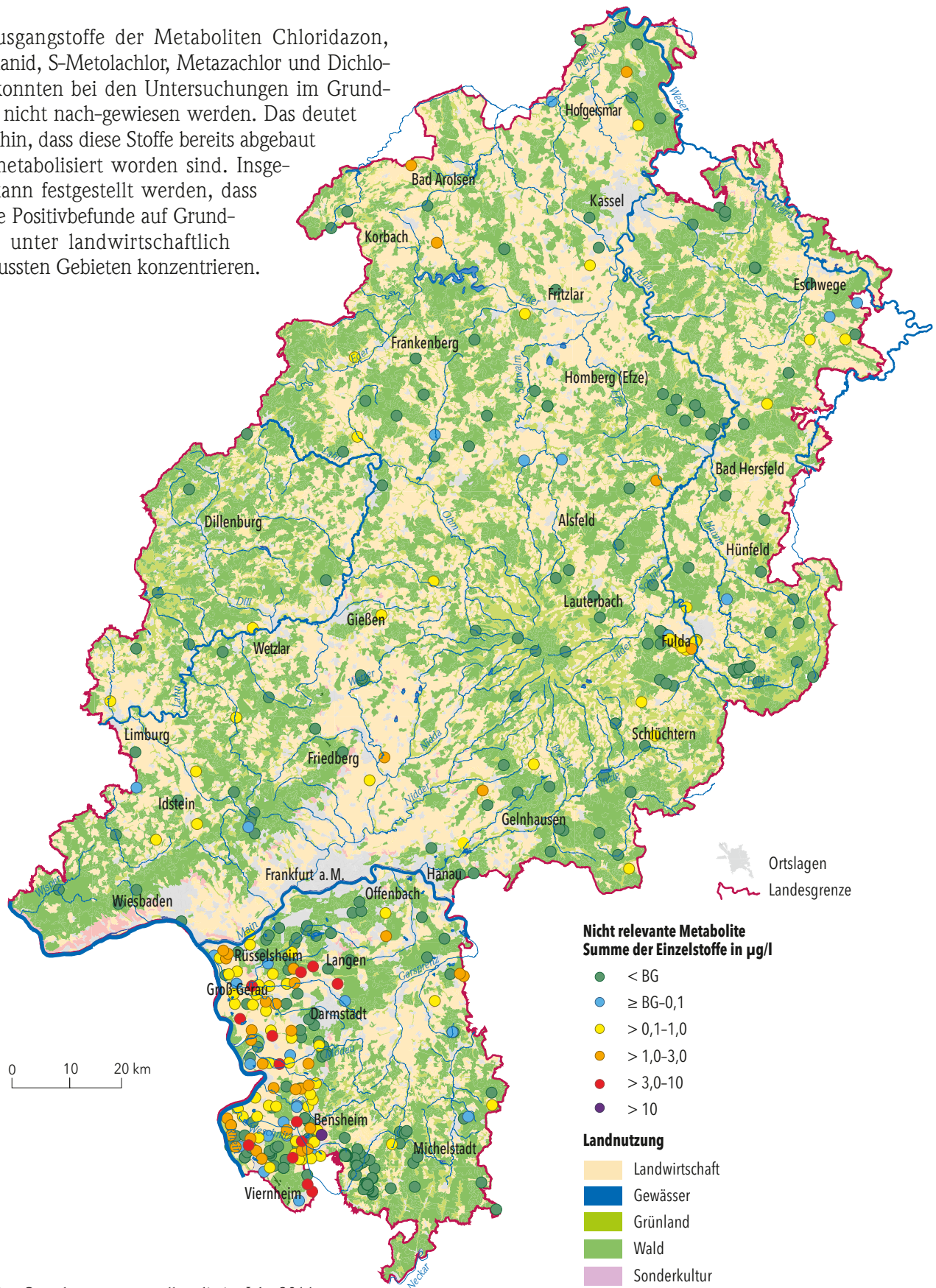


Abb. 46: Grundwassermessstellen die im Jahr 2011 auf Desphenyl-Chloridazon, Methyl-Desphenyl-Chloridazon, N,N-Dimethylsulfamid (DMS), S-Metolachlorsulfonsäure, Metazachlorcarbonsäure, S-Metolachlorcarbonsäure, 2,6-Dichlorbenzamid untersucht wurden.

5.2 Arzneimittelrückstände

5.2.1 Einführung

In den Fertigarzneimitteln der Roten Liste (Rote Liste® Service GmbH, ROTE LISTE® Buch 1996 bis 2004) sind ca. 2 900 verschiedene arzneilich wirksame Substanzen verarbeitet. Das Verhältnis zwischen rezeptpflichtigen und „nur“ apothekenpflichtigen Arzneimitteln beträgt etwa 1:1. In der Tiermedizin sind ca. 600 Wirkstoffe erfasst (ROBAKOWSKI 2000), wobei bestimmte Stoffe sowohl in Human- als auch Veterinärarzneimitteln verwendet werden. Die angewandten Tierarzneimittel sind z. T. auch beim Menschen wirksam, auf jeden Fall sind sie in ihren Umweltwirkungen mit den Human-Pharmaka vergleichbar (SCHRAMM 1998). Die Stoffe gelangen über das Abwasser in die Oberflächengewässer und können von dort ins Grundwasser gelangen.

Wirkungen von Arzneimitteln

Obleich Arzneimittel zu den toxikologisch am besten untersuchten und charakterisierten Stoffen gehören, sind die Konsequenzen einer geringen, jedoch permanenten Exposition von Arzneimittelwirkstoffen und deren Rückstände im Grund- und Trinkwasser humantoxikologisch und ökotoxikologisch weitgehend unerforscht (UBA 2012).

Zudem sind zahlreiche so genannte „Alt-Arzneimittel“ auf dem Markt, die nicht auf ihre Umweltwirkung hin überprüft wurden. Für einzelne Wirkstoffe (z. B. Sexualhormone) sind schädliche Auswirkungen auf Lebewesen in Oberflächengewässern bereits experimentell bestätigt worden (GROMMELT & SCHÖNAUER 2001). Die Konzentrationen liegen jedoch in der Regel weit unterhalb der humantherapeutisch begründeten Wirkungsschwellen und der maximal zulässigen Rückstandsmengen in Nahrungsmitteln für den menschlichen Gebrauch. Der Eintrag sowohl von Human- als auch von Veterinärpharmaka in den ökologischen Kreislauf vor den Hintergründen steigender Verordnungsmengen, einer nur teilweisen Resorption der Wirkstoffe im Organismus (z. T. werden mehr als 50 % ungenutzt wieder ausgeschieden) sowie der unvollständigen Abbaubarkeit in kommunalen Kläranlagen wird zukünftig noch an Bedeutung zunehmen (BERGMANN et al. 2011).

Eintragungspfade in die aquatischen Systeme

Der Eintrag von Human- und Tierarzneimitteln (unverändert oder in Form von Metaboliten) in die Umweltmedien (Wasser, Boden etc.) ist bereits mehrfach beschrieben worden, so z. B. bei HIRSCH (1998). Die Humanarzneimittelwirkstoffe gelangen mit den kommunalen Abwässern in die Kläranlagen. In den Kläranlagen können die meist polaren organischen Substanzen zum Teil nur unzureichend aus dem Abwasser entfernt werden (UBA 2011) und gelangen von dort aus in die Oberflächengewässer und können so auch ins Grundwasser gelangen. Mengenmäßig ist dies nach dem heutigen Wissensstand der bedeutendste Eintrittspfad (STUMPF et al. 1996).

Ein weiterer Eintragungspfad sind Hausmüll und Deponien, sowie undichte Abwasserrohre, die gerade in urbanen Räumen einen Einfluss auf die Beschaffenheit des Grundwassers haben können (BEIER 2008). Rd. 17 % der öffentlichen Kanalisation sind bundesweit laut DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftig (BERGER & FALK 2009).

Die Ausbringung von Klärschlamm zur Düngung kann zudem zu einem flächenhaften Eintrag von Arzneimittelrückständen führen und stellt ein zunehmendes Problem da (WISCHER et al. 2012).

Tierarzneimittel und Futtermittelzusatzstoffe sowie deren Metabolite gelangen durch Stallmist und Gülle als Dünger in den Boden und können nach Regenereignissen durch Oberflächenabfluss in ein oberirdisches Gewässer oder nach Bodenpassage in das Grundwasser gelangen (HIRSCH 1998). Die Pharmaka-Einsätze bei der Fischzucht (Aquakulturen) sind besonders problematisch. Laut Literaturstudie des Umweltbundesamtes von 1996 werden die Mittel in erheblichen Mengen und mit langer Dauer oft auf Verdacht eingesetzt. Außerdem ist eine gewisse Unkenntnis über therapeutische Wirkungen vorhanden (RÖMBKE et al. 1996). Antibiotika werden hier extensiv verwendet. Die hauptsächlich zum Einsatz kommenden Mittel sind Tetracycline, Sulfonamide und Chloramphenicol. Sie werden dem Futter zugemischt oder einfach ins Wasser gegeben (HIRSCH et al. 1999).

5.2.2 Untersuchungen in Hessen

Ab Mai 1995 wurden bereits im Rahmen eines BMBF Forschungsvorhabens umfangreiche Untersuchungen zur Belastung von Abwässern, Fließgewässern und Grundwässern mit Arzneimittelrückständen durchgeführt. Bei der Fachtagung „Arzneimittel in Gewässern“ in Wiesbaden im Juni 1998 unter Federführung des Hessischen Umweltministeriums wurde das Thema dargestellt und die Ergebnisse des obigen Messprogramms vorgestellt. Dabei wurden in den untersuchten Grundwässern vor allem Rückstände von Lipidsenkern/Antirheumatika sowie Reste von Analgetikawirkstoffen nachgewiesen. In der zwischen 1996 und 2000 durchgeführten Studie zur „Untersuchung der Beeinflussung von oberflächennahem Grundwasser durch stark belastete kleinere Fließgewässer in Südhessen“, konnten Rückstände von Arzneimitteln sowohl im Oberflächenwasser als auch im Grundwasser nachgewiesen werden (GREB 2005).

Insgesamt konnten von 55 analysierten Arzneimittelwirkstoffen (einschließlich iodierter Röntgenkontrastmittel) 36 in kommunalen Kläranlagenabläufen nachgewiesen werden. Zusätzlich wurden von 9 untersuchten Metaboliten 5 gefunden.

Tab. 13: Arzneimittelfunde im Grundwasser nach Indikationsgruppen (GREB 2005). BG=Bestimmungsgrenze

Indikationsgruppe	Anzahl	< BG	> BG	% > BG
Analgetika	190	135	55	28,9
Betablocker	717	688	29	4,2
Bronchospasmolytika	377	370	7	1,9
Antirheumatika	2268	2210	58	2,5
Lipidsenker	1 192	1 023	169	14,2
Antiepileptika	95	61	34	35,8
Hämorrhheologika	75	75	0	0
Zytostatika	194	194	0	0
Psychopharmaka	41	40	1	2,4
Antibiotika	337	337	0	0
Röntgenkontrastmittel	315	264	51	16,2

In den untersuchten Grundwässern wurden deutlich weniger Arzneimittelwirkstoffe und diese in geringeren Konzentrationen gefunden. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Ausnahme der Gruppen der Antibiotika,

Zytostatika und Hämorrhheologika alle untersuchten Indikationsgruppen nachgewiesen werden konnten. Im Grundwasser fallen insbesondere die Lipidsenker, die Analgetika und die Antiepileptika sowie die Röntgenkontrastmittel mit den höchsten Anteilen an positiven Befunden auf. Diese vier Indikationsgruppen ergeben zusammen rd. 70 % aller positiven Befunde im Grundwasser.

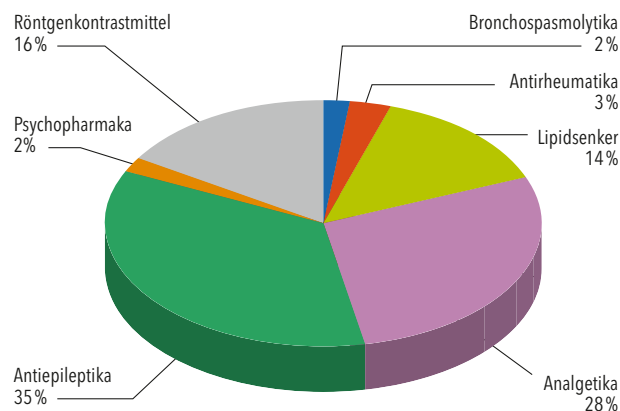


Abb. 47: Prozentuale Verteilung von Arzneimittelrückständen im Grundwasser (GREB 2005).

Bei der Betrachtung der untersuchten Einzelsubstanzen entfallen die höchsten prozentualen Anteile der Funde im Grundwasser auf das Antiepileptikum Carbamazepin, das Analgetikum Phenazon und den Lipidsenker Clofibrinsäure sowie die Röntgenkontrastmittel Iopamidol, Iopromid und Diatrizoat (GREB 2005).

Leitparameter für Arzneimittelwirkstoffe

Erste Hinweise auf anthropogen durch Abwasser beeinflusstes Grundwasser geben erhöhte Borkonzentrationen. Borkonzentrationen > 40–50 µg/l lassen auf eine anthropogene Beeinflussung schließen. Ab diesen Konzentrationen sind auch Arzneimittelrückstände zu erwarten.

Leitparameter sind Wirkstoffe, die ein chemisch ähnliches Verhalten aufweisen wie andere Untersuchungsparameter ihrer Substanzklasse, z. B. bezüglich ihrer Stabilität und Polarität. Sie werden in der Analytik als Indikatoren für andere Substanzen verwendet. Hierdurch lässt sich der analytische Aufwand verringern.

Haupteintragspfade für Arzneimittelrückstände in das Grundwasser sind abwasserführende Vorfluter. Vor allem bei einer Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser besteht die Gefahr eines Eintrags in das Grundwasser.

Folgende Leitparameter können aus dem Arzneimitteluntersuchungsprogramm Südhessen abgeleitet werden:

Tab. 14: Arzneimittelfunde im Grundwasser nach Indikationsgruppen (GREB 2005).

Indikationsgruppen	Leitparameter für Grundwasser
Analgetika	Phenazon
Antiepileptika	Carbamazepin
Antirheumatika	Diclofenac
Betablocker	Metoprolol
Desinfiziens	Biphenylol, Chlorofen
Lipidsenker	Clofibrinsäure, Bezafibrat
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Diatrizat

Vor allem die Clofibrinsäure eignet sich wegen der geringen Sorptionsneigung, der guten Wasserlöslichkeit und der ubiquitären Verbreitung als Indikator für

Arzneimittelrückstände. Darüber hinaus gibt es für jede Indikationsgruppe charakteristische Substanzen, welche sich als Indikatoren zur Bestimmung von Arzneimittelverunreinigungen eignen.

5.2.3 Aktuelles Arzneimittelmessprogramm

Obgleich es zur Zeit noch keine gesetzlichen Vorschriften zur routinemäßigen Überwachung von Arzneimittelrückständen in Grundwässern gibt, hat das HLUG die Parameter Clofibrinsäure, Clofibrat, Diclofenac und Carbamazepin ab 2006 in das landeseigene Messprogramm zur Grundwasserbeschaffenheit aufgenommen.

Nachweise von Arzneimittelrückständen im Grundwasser treten am häufigsten im Hessischen Ried auf. Dies liegt an der Einleitung von dem nach aktuellem Stand der Technik entsprechend geklärten Abwässern in die Vorfluter und der Interaktion von Oberflächengewässern mit dem Grundwasser. Weiterhin weisen die überwiegend sandig und kiesig aufgebauten Grundwasserleiter im Hessischen Ried eine gute bis sehr gute hydraulische Durchlässigkeit auf, die zu einer Ausbreitung von in das Grundwasser eingetragenen Stoffen beiträgt.

Tab. 15: Arzneimittelmessprogramm, Zeitraum 2009 bis 2011, BG = Bestimmungsgrenze.

Arzneimittel	Anzahl der Untersuchungen	< BG	% > BG	Maximalkonzentration [µg/l]	Mittelwert [µg/l]
Carbamazepin	831	797	4,1	0,95	0,007
Clofibrat	169	164	3	0,7	0,008
Clofibrinsäure	1 311	1 276	2,7	7,3	0,022
Diclofenac	935	906	3,1	1,23	0,008

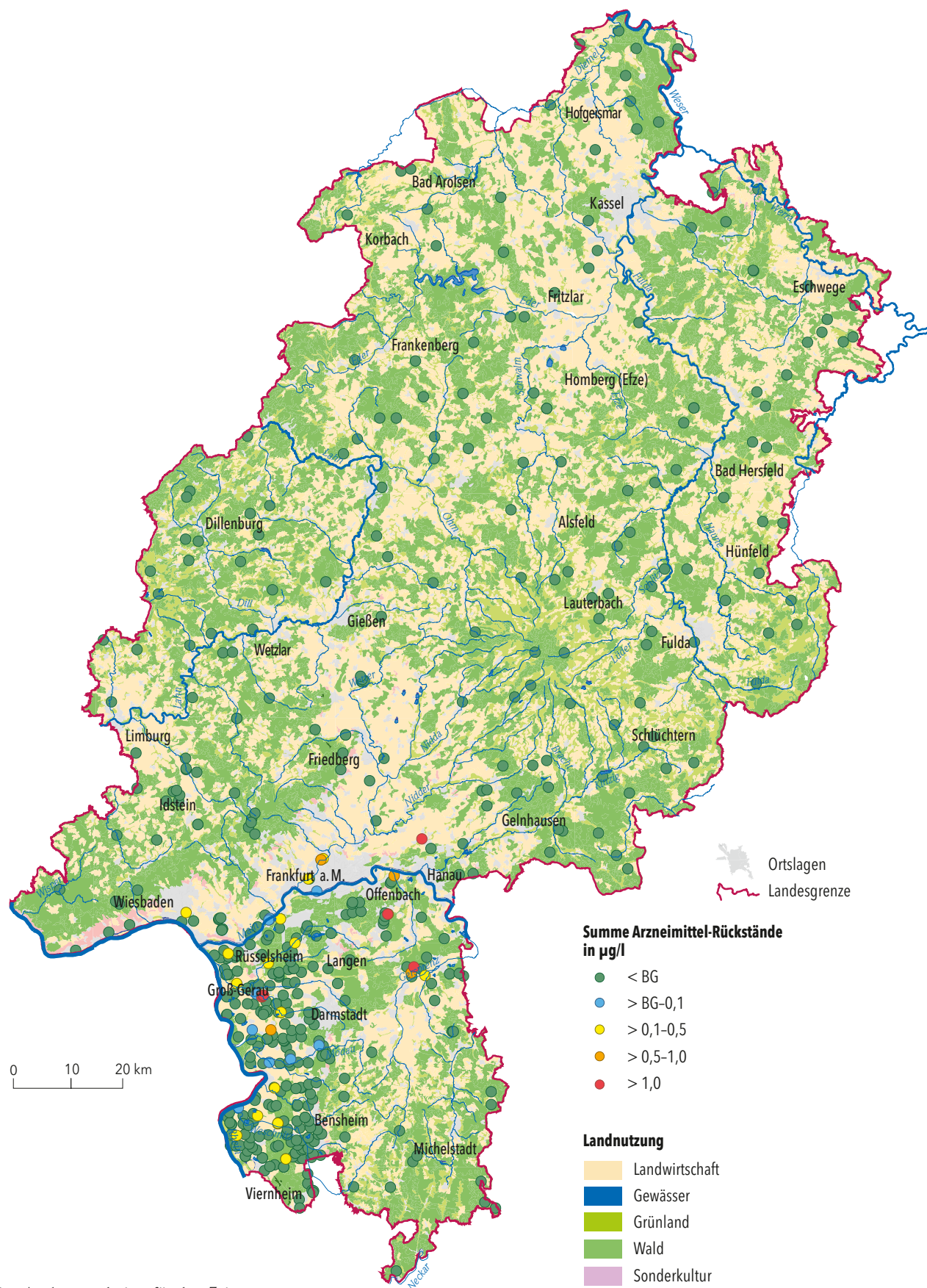


Abb. 48: Analyseergebnisse für den Zeitraum 2009–2011, Summenbildung Clofibrinsäure, Clofibrat, Diclofenac und Carbamazepin.

5.3 Süßstoffe im Grundwasser

Süßstoffe werden weltweit in großen Mengen als Zuckerersatzstoff in Lebensmitteln inkl. Getränken verarbeitet. Die vielseitige Anwendung von Süßstoffen und die weitgehend fehlende Metabolisierung im menschlichen Organismus führen dazu, dass Süßstoffe über häusliche Abwässer in die Vorfluter gelangen, auch deshalb, weil sie in Kläranlagen nur unvollständig entfernt werden. In Regionen, die eine Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwässern aufweisen, können Süßstoffe so in das Grundwasser gelangen. Süßstoffe finden nicht nur eine breite Anwendung in der Lebensmittelindustrie, sondern auch in der Pharma- und Agrarindustrie (MAWHINNEY et al. 2011, BUERGE et al. 2011).

Grenz- oder Richtwerte für Süßstoffe in Grund- und Oberflächenwässern gibt es aktuell weder in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie noch in der deutschen Gesetzgebung.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit (SLOPIANKA 2012), die vom Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) und vom HLUG konzipiert und betreut wurde, wurden neue Bestimmungsmethoden für Süßstoffe etabliert und erste Untersuchungen an hessischen Grundwässern durchgeführt.

Für die Untersuchungen wurden Grundwassermessstellen ausgewählt, deren Grundwässer eine mögliche Beeinflussung durch Interaktion mit einem Vorfluter vermuten ließen (KULLIG 2005).

Die ausgewählten Grundwassermessstellen befinden sich in unterschiedlichen Entfernungen zum Vorfluter (Abb. 49). Es handelt sich ausschließlich um oberflächennahe Grundwasservorkommen, wobei die Filtertiefen der Grundwassermessstellen zwischen 5–20 m variieren. Insgesamt wurden 22 Grundwässer auf Süßstoffe untersucht.

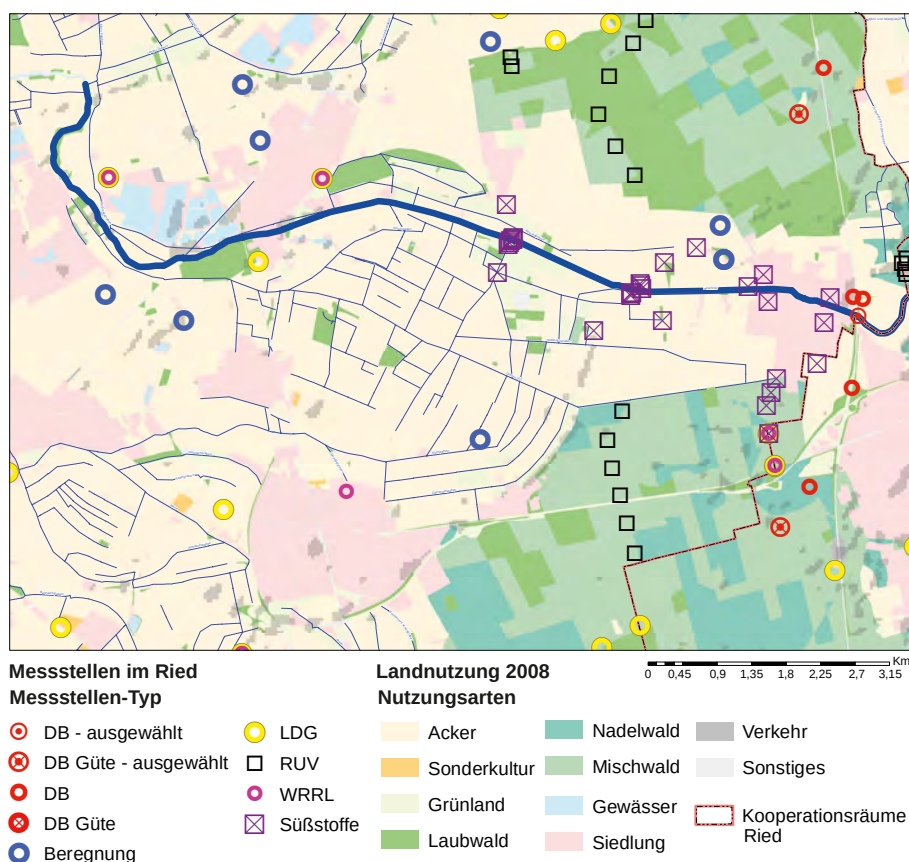


Abb. 49: Grundwassermessnetz Süßstoffe (violett) im Hessischen Ried.

Bei 19 der 22 analysierten Grundwasserproben wurden Süßstoffe in den Grundwässern gefunden.

Ein Teil der untersuchten Grundwässer wies meist mehrere Süßstoffe auf. Vor allem der Süßstoff Acesulfam wird in annähernd allen untersuchten Grundwässern nachgewiesen, durchweg mit den höchsten Konzentrationen.

Die Konzentrationen variieren zwischen nahezu „süßstofffrei“ bis zu Konzentrationen über 40 µg/l für die Summe der Süßstoffe. In mehr als der Hälfte der untersuchten Grundwässer wurden Süßstoff-Konzentrationen > 10 µg/l gemessen.

Aus der räumlichen Untersuchung wird deutlich, dass sich Süßstoffe durchaus in Grundwässern von Grundwassermessstellen, die mehrere 100 m vom Vorfluter entfernt liegen, detektiert lassen. Dies deutet auf einen Transport dieser Substanzen im oberflächennahen Grundwasserleiter hin. Gleichfalls wird hierdurch deutlich, dass diese Verbindungen nur einer geringen Sorption und einem geringen Abbau im Grundwasserleiter unterliegen.

Der Süßstoff Acesulfam ist weitgehend stabil gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen

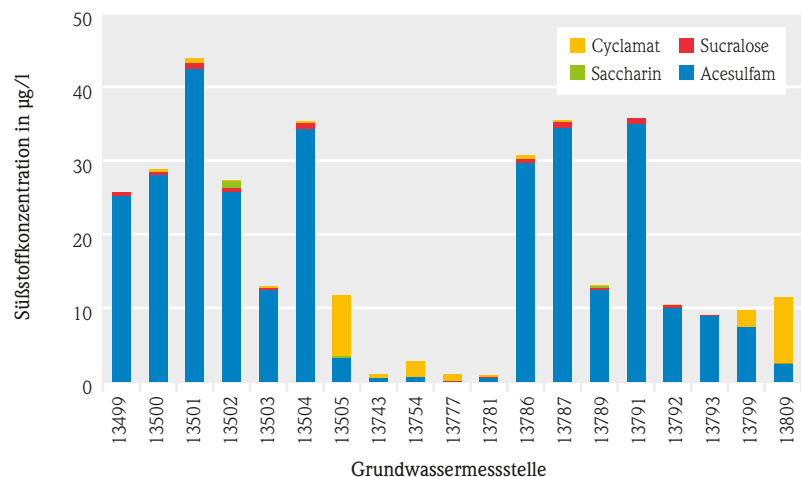


Abb. 50: Süßstoff-Konzentrationen in Grundwassermessstellen im Hessischen Ried 2012.

Prozessen und erfüllt damit ein wichtiges Kriterium, um als Indikator für häusliches Abwasser im Grundwasser zu dienen. Bei einer Bestimmungsgrenze von 0,03 µg/l können bereits geringe Spuren von Acesulfam nachgewiesen und als Hinweis auf einen Einfluss von häuslichem Abwasser auf das Grundwasser gedeutet werden.

Weitere Studien müssen zeigen, ob mit Hilfe der gefundenen Süßstoff-Konzentrationen im Grundwasser im Vergleich zu den Ausgangskonzentrationen im Vorfluter, auch eine quantitative Aussage über den Anteil an infiltrierten Oberflächenwasser getroffen werden kann.

6 Mikrobiologische Parameter

6.1 Einführung

Nach der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) dürfen im Trinkwasser keine Krankheitserreger, die durch Wasser übertragen werden können, in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit verursachen können.

Dies gilt als erfüllt, wenn in 100 ml Trinkwasser keine mikrobiologischen Parameter (Tab. 16) nachweisbar sind. Im Rahmen der Trinkwasseruntersu-

chungen müssen weiterhin Indikatorparameter (Tab. 16) untersucht werden, wobei *Clostridium perfringens* nur im Rohwasser, das aus Oberflächenwasser gewonnen oder das von Oberflächenwasser beeinflusst wird, untersucht werden muss.

Die zur Trinkwasserüberwachung oben genannten mikrobiologischen Parameter und Indikatorparameter ermöglichen Rückschlüsse auf eine mögliche Be-

Tab. 16: Übersicht über die mikrobiologischen Parameter und die Indikatorparameter (TRINKWV 2001, SCHINDLER 2003).

Parametergruppe	Parameter	Grenzwert/ Anforderung (Verfahren)	Quelle der Verunreinigung
Mikrobiologische Parameter	Escherichia coli (E. coli) *	0/100 ml	Hinweis auf frische fäkale Verunreinigung durch Warmblüter
	Enterokokken	0/100 ml	Bestätigung und Hinweis auf fäkale Verunreinigung, die länger zurückliegt (vermehrtes Auftreten bei Tieren, aber auch Wachstum in organischem Material, keine Vermehrung im Wasser)
Indikatorparameter	Coliforme Bakterien *	0/100 ml	Hinweis auf ältere fäkale Verunreinigung, allgemeiner Hinweis auf Anfälligkeit gegenüber Verunreinigungen
	Koloniezahl bei 22 °C *	100/ml **	Hinweis auf Beeinflussung durch Oberflächenwasser oder durch die obere Bodenschicht, Stagnationswasser, usw.
	Koloniezahl bei 36 °C *		
	Clostridium perfringens	0/100 ml (nach TrinkwV (2001) Anlage 5 Teil I Buchstabe e)	Hinweis auf möglicherweise länger zurückliegende fäkale Verunreinigung oder Belastung mit Parasiten

* Für RUV (1991) relevante Parameter

** (nach TrinkwV (2001) Anlage 5 Teil I Buchstabe d Doppelbuchstabe bb)

lastung durch weitere Mikroorganismen. Sind E. coli und Enterokokken in 100 ml Wasser nicht nachweisbar, können Erkrankungen auslösende Konzentrationen von potentiell gefährlichen Mikroorganismen ausgeschlossen werden (UBA 2012).

Die Ausweisung von Wasserschutzgebieten dient als Vorsorgemaßnahme dem Schutz des Grundwassers. Insbesondere soll die Zone II (engere Schutzzone) den Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier) gewährleisten, die bei geringer Fließdauer und -strecke zu den Wassergewinnungsanlagen gefährlich sind. Diese Zone wird in der Regel so abgegrenzt, dass die Fließzeit des Grundwassers vom äußeren Rand der Schutzzone bis zur Fassung mind. 50 Tage beträgt. Der 50-Tage-Linie liegt die Annahme zugrunde, dass die Keime innerhalb dieser Fließzeit – also vor Erreichen der Gewinnungsanlage – absterben. In Wasserschutzgebieten können in der Schutzgebietsverordnung Nutzungseinschränkungen ausgesprochen werden, so sind in Zone II i. d. R. das Ausbringen von Wirtschaftsfäkalien (z. B. Gülle, Stallmist) und Sekundärdünger (z. B. Klärschlamm) sowie die Weidehaltung verboten (DVGW 2006).

Trotz dieser Vorsorgemaßnahmen können Keime im geförderten Grundwasser auftreten, wenn verunrei-

nigtes Oberflächenwasser mit kurzer Fließzeit einer Gewinnungsanlage zufließt. Treten Belastungen mit Keimen auf, müssen entsprechende Aufbereitungsmaßnahmen ergriffen werden (z. B. UV-Bestrahlung, Ozonierung, Chlorierung, Ultrafiltration oder andere geeignete Maßnahmen) oder die Anlage (vorübergehend) außer Betrieb genommen werden. Bei einer Verkeimung sollte der Ursache nachgegangen werden. Nachfolgend sind einige Ursachen für Kontaminationen aufgelistet:

- verstärkter Oberflächenwasserzutritt nach langen Regenperioden, Starkniederschlagsereignisse, Überschwemmungen oder nach der Schneeschmelze,
- Ausbringen von Wirtschafts- oder Sekundärdünger zu wasserwirtschaftlich ungünstigen Zeitpunkten,
- Kluftgrundwasserleiter mit fehlenden bzw. geringmächtigen schützenden Deckschichten (schlecht geschützte Quellen; Gefährdung flacher Brunnen, die oberflächennahes Wasser nutzen),
- Karstgrundwasserleiter,
- Verletzung von Deckschichten (z. B. durch forstwirtschaftliche/landwirtschaftliche Nutzung, Sturmschäden, Wohn-/Grabbauten von Tieren),
- Ausbildung präferentieller Fließwege durch Trockenrisse, Pflanzenwurzeln usw.,
- schlecht ausgebaute oder beschädigte Brunnen (undichte Ringraumsperre, undichte Schachtabdeckungen, undichte Brunnenkopfverschlüsse usw.).

6.2 Ergebnisse

Wie aus Tab. 17 hervorgeht waren 98 % der beprobten Brunnen bezüglich E. coli unauffällig, bei 89 % der genommenen Wasserproben konnten zum Untersuchungszeitpunkt keine coliformen Bakterien nachgewiesen werden. Koloniezahlen bei 22 °C waren zum Untersuchungszeitpunkt bei 72 % unauffällig und bei 74 % waren die Koloniezahlen bei 36 °C ebenfalls unauffällig. Da Quellen empfindlicher sind (fehlende bzw. geringmächtige schützende Deckschichten), wurden dort erwartungsgemäß häufiger Bakterien nachgewiesen, insbesondere waren in nur 38 % der Quellwässer keine Koloniezahlen bei 22 °C und in 48 % der Quellwässer keine Koloniezahlen bei 36 °C nachweisbar. Wird für die Koloniezahlen der nach TrinkwV (2001) Anlage 5 Teil I geltende Grenzwert von 100 Keimen in 1 ml Probe zugrundegelegt (Tab. 18), wird der Grenzwert für Koloniezahlen bei 22 °C sowie bei 36 °C bei nur 1 % der Brunnenwässer überschritten. Bei Quellwässern wird der Grenzwert für Koloniezahlen bei 22 °C von 6 % und für Koloniezahlen bei 36 °C von 3 % der Quellwässer überschritten.

Da die Parameter Enterokokken und Clostridium perfringens nicht im Mindestuntersuchungsumfang der RUV enthalten sind, werden Analyseergebnisse zu diesen Parametern nicht flächendeckend erfasst, daher ist eine repräsentative Auswertung zum Auftreten dieser Parameter in den Grundwässern Hessens nicht möglich.

Die Karten (Abb. 51–54) auf den folgenden Seiten geben einen Überblick über das regionale Auftreten der oben beschriebenen Keime in Grundwässern hessischer Wassergewinnungsanlagen. Datengrundlage sind die jeweils neusten Analyseergebnisse im Zeitraum 2009–2011. Das Auftreten von Verkeimungen ist überwiegend an die Mittelgebirgsregionen Hessens gebunden, besonders anfällig für Verkeimungen sind Quellwässer und Grundwässer aus flachen Brunnen im Kristallinen Odenwald, im Taunus und im nördlichen rheinischen Schiefergebirge. Hier fehlt die Filterwirkung schützender Deckschichten.

Tab. 17: Nachweise von mikrobiologischen Parametern, differenziert dargestellt nach Brunnenwässern und Quellen-/Stollenwässern. In die Auswertung ist das jeweils neueste Analyseergebnis einzelner Messstellen des Zeitraumes 2009–2011 eingegangen (BG = Bestimmungsgrenze).

Mikrobiologischer Parameter	Art der Anlage	Gesamtanzahl der Proben	Anzahl	Anzahl	% unauffällig
			< BG	> BG	
E-coli	Quellen/Stollen	979	816	163	83
	Brunnen	1 798	1 754	44	98
coliforme Bakterien	Quellen/Stollen	1 052	609	443	58
	Brunnen	1 878	1 675	203	89
Koloniezahl bei 22 °C	Quellen/Stollen	1 108	426	682	38
	Brunnen	2 016	1 444	572	72
Koloniezahl bei 36 °C	Quellen/Stollen	705	340	365	48
	Brunnen	1 179	874	305	74

Tab. 18: Nachweise Koloniezahlen bei 22 °C sowie 36 °C, differenziert dargestellt nach Brunnenwässern und Quellen-/Stollenwässern. In die Auswertung ist das jeweils neueste Analyseergebnis einzelner Messstellen des Zeitraumes 2009–2011 eingegangen (GW = Grenzwert).

Mikrobiologischer Parameter	Art der Anlage	Gesamtanzahl der Proben	Grenzwert*	Anzahl	Anzahl	%
				< GW	> GW	< GW
Koloniezahl bei 22 °C	Quellen/Stollen	1 108	100/ml	1 041	67	94
	Brunnen	2 016	100/ml	1 987	29	99
Koloniezahl bei 36 °C	Quellen/Stollen	705	100/ml	682	23	97
	Brunnen	1 179	100/ml	1 167	12	99

*gültig bis 28.11.2011 (TrinkwV 2001)

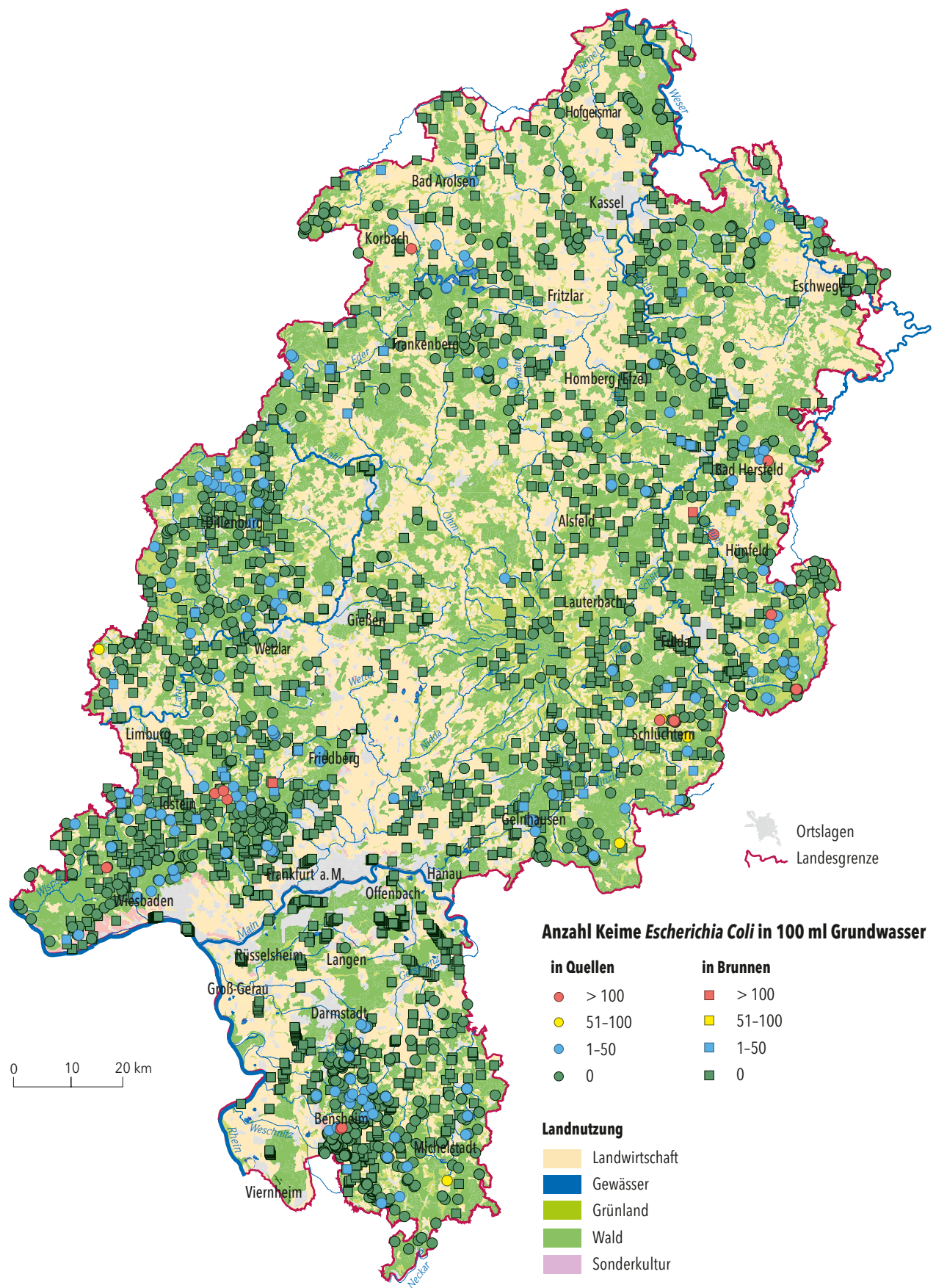


Abb. 51: *Escherichia Coli* im Grundwasser 2009–2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HBUG 2012

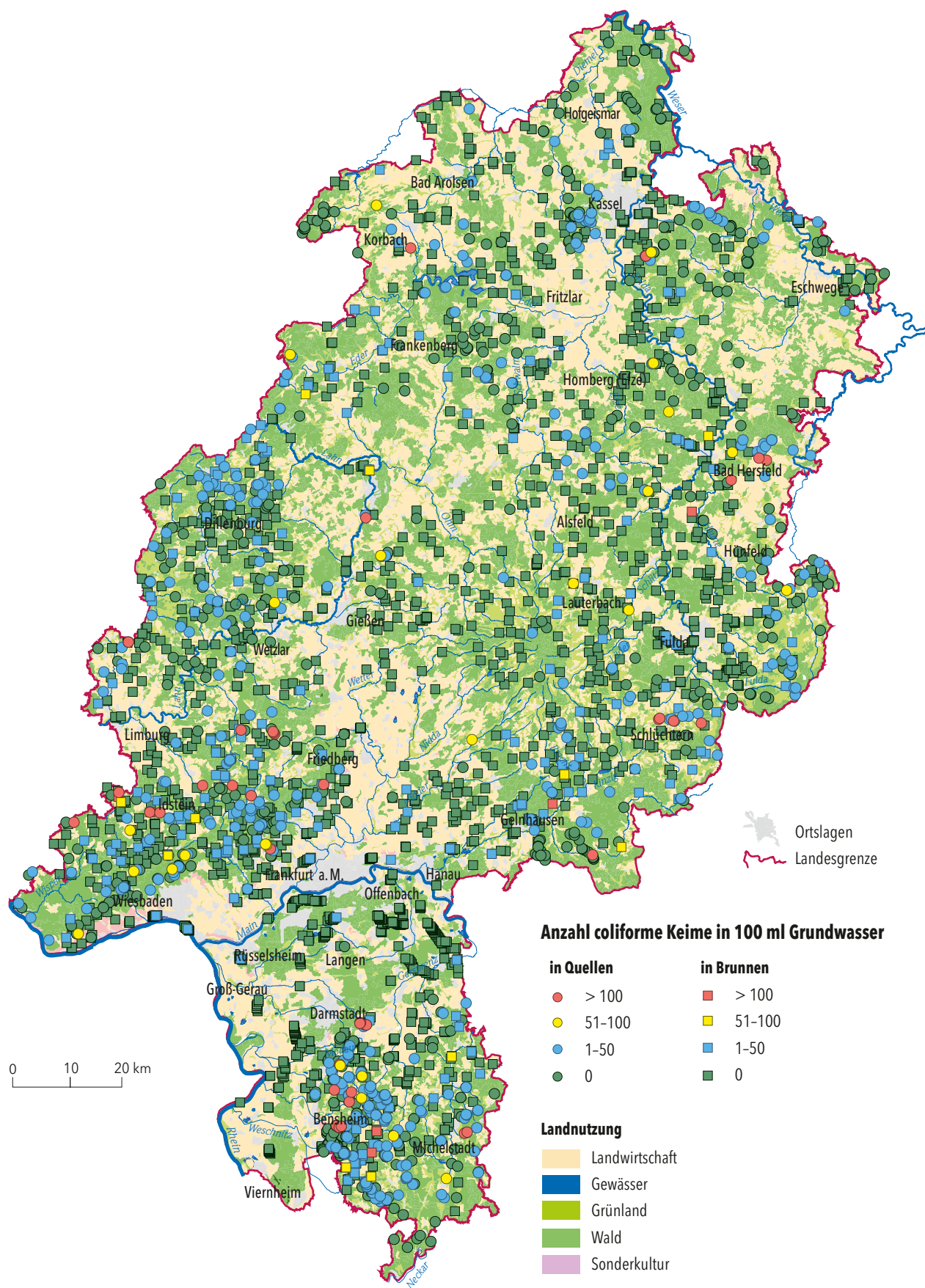


Abb. 52: Coliforme Keime im Grundwasser 2009–2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLOG 2012

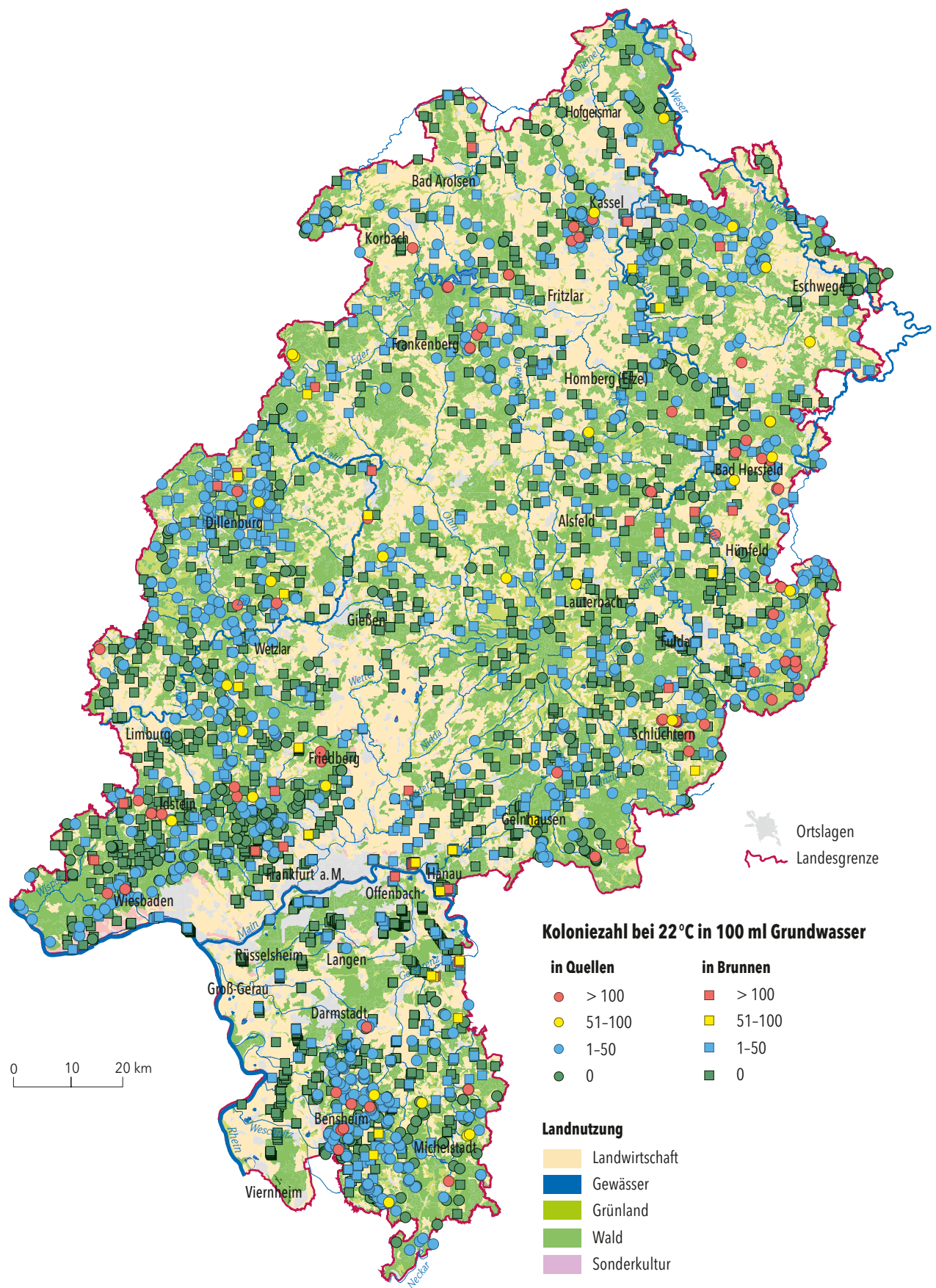


Abb. 53: Koloniezahl bei 22°C in 100 ml Grundwasser 2009–2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

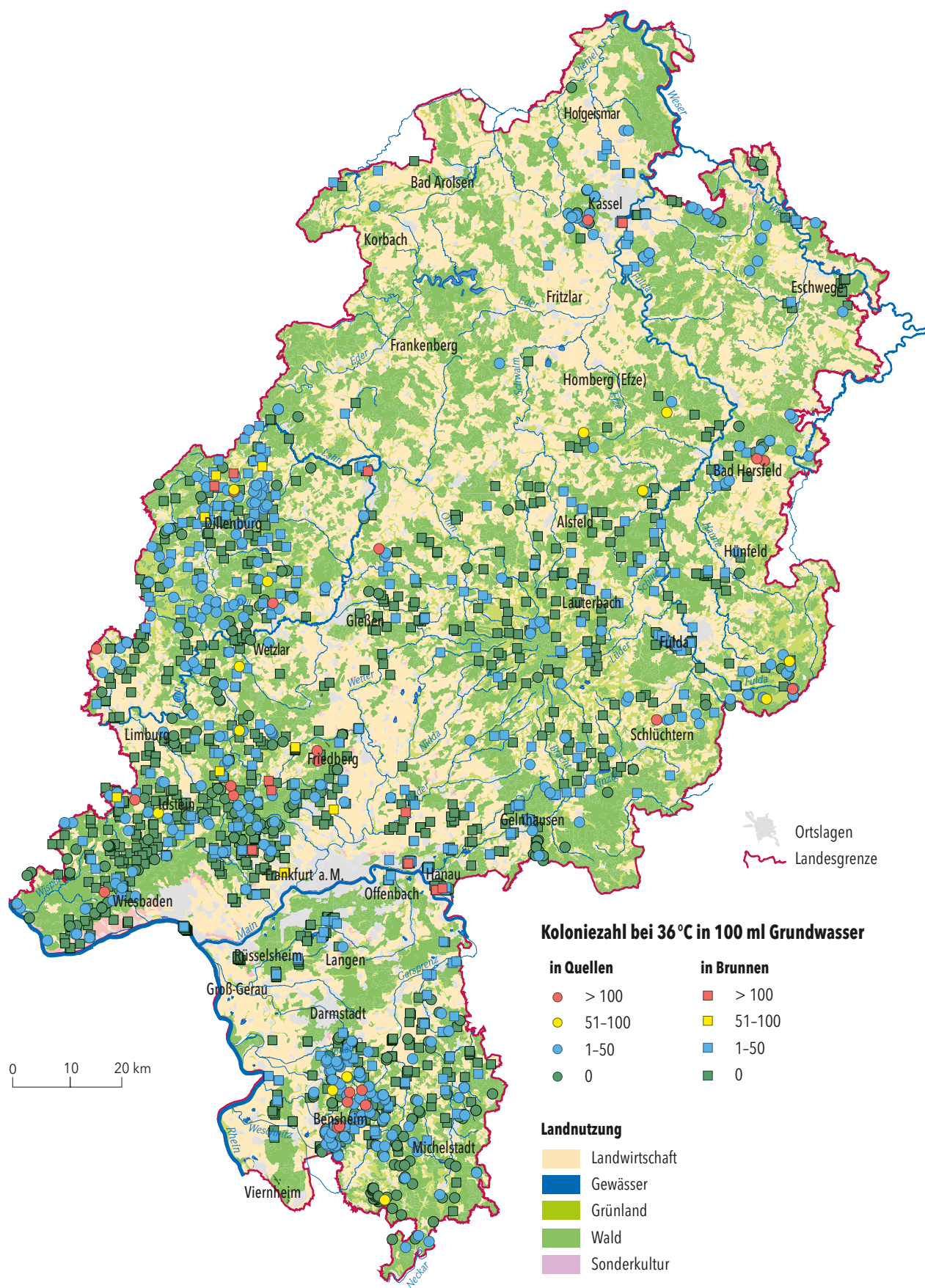


Abb. 54: Koloniezahl bei 36 °C in 100 ml Grundwasser 2009–2011.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
Bearbeitung: HLUG 2012

7 Grundwasserbeschaffenheit und WRRL

Die WRRL (Richtlinie 2000/60/EG) trat am 22.12.2000 in Kraft. Sie hat eine neue Dimension in der europäischen Gewässerschutzpolitik eröffnet. Über Staats- und Ländergrenzen hinweg sollen zukünftig die Gewässer durch ein koordiniertes Vorgehen innerhalb der Flusseinzugsgebiete bewirtschaftet werden.

Zentraler und langfristiger Ansatz der WRRL ist es, Wasser nur unter Beachtung von Nachhaltigkeitsgrundsätzen zu nutzen, wodurch die Ressource Wasser langfristig geschützt wird. Dies steht auch im Einklang mit § 1a des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG 2009), nach dem „die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushaltes, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut“ zu sichern sind.

Der integrative Ansatz der WRRL wird in folgenden Aspekten deutlich:

- 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 wird in die Planungen einbezogen.

Für das Grundwasser gilt es, einen guten mengenmäßigen Zustand und einen guten chemischen Zustand einzuhalten oder zu erreichen. Die Anforderungen an den guten Zustand des Grundwassers wurden in einer gesonderten Grundwasserrichtlinie spezifiziert (Richtlinie 2006/118/EG). Die Umsetzung der WRRL erfolgt in einzelnen, aufeinander aufbauenden Schritten:

Erster Schritt

Charakterisierung und Beschreibung des Grundwassersystems und Abgrenzung von Grundwasserkörpern

In Nord- und Mittelhessen überwiegen Kluftgrundwasserleitersysteme (z.B. Rheinisches Schiefergebirge, Vogelsberg). In Südhessen sind neben Kluftgrundwasserleitersystemen wie Odenwald, Spessart und Taunus auch großflächige Porengrundwasserleitersysteme vorhanden (z.B. Hessisches Ried, Untermainebene). Verkarstete Grundwassersysteme sind in Hessen in Bezug auf ihren Flächenanteil nur von untergeordneter Bedeutung.

In Hessen wurden die Grundwasserkörper nach hydrogeologischen und hydrologischen Kriterien abgegrenzt. Dabei wurden die Grenzen der hydrogeologischen Teilräume mit den Grenzen von hydrologischen Einzugsgebieten verschnitten. Insgesamt ergeben sich hieraus 128 Grundwasserkörper mit einer mittleren Fläche von rd. 170 km².

Zweiter Schritt

Messnetze für die Berichterstattung

Nach den Vorgaben der WRRL mussten bis zum Dezember 2006 von den Mitgliedstaaten Messnetze zur Überwachung des chemischen und mengenmäßigen Zustands des Grundwassers eingerichtet werden. Der chemische Zustand des Grundwassers wird an operativen Messstellen und Überblicksmessstellen ermittelt. Überblicksmessstellen werden vorwiegend in unbelasteten Grundwasserkörpern eingerichtet, wohingegen operative Grundwassermessstellen in Grundwasserkörpern errichtet werden, die im schlechten Zustand sind.

Dritter Schritt

Chemischer Zustand des Grundwassers

Auf Grundlage der Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG) wurden Qualitätsanforderungen, sogenannte Qualitätsnormen und Schwellenwerte für eine Reihe von Stoffen festgelegt. Diese sind durch die Grundwasserverordnung (GrwVO) bundeseinheitlich in nationales Recht umgesetzt worden.

Werden in einem Grundwasserkörper diese Werte eingehalten, ist der Grundwasserkörper in einem guten chemischen Zustand. Wird mindestens einer der Werte überschritten, sind Art und Ausmaß der Überschreitung zu prüfen. So gelten zum Beispiel europaeinheitliche, verbindliche Qualitätsnormen für

- Nitrat: 50 mg/l,
- Pestizide (= Pflanzenschutzmittelwirkstoffe [PSM] und Biozide): Einzelgrenzwert 0,1 µg/l, Summengrenzwert 0,5 µg/l.

Von den insgesamt 128 Grundwasserkörpern in Hessen sind zwei Grundwasserkörper ausschließlich aufgrund der PSM-Belastung und 17 weitere Grundwasserkörper aufgrund der Nitratbelastung (teilweise zusätzlich auch PSM) in den schlechten chemischen Zustand eingestuft worden. Aufgrund der Salzabwässerversenkung sind im Werra-Kali-Gebiet fünf Grundwasserkörper im schlechten chemischen Zustand (Abb. 55).

Um den guten chemischen Zustand flächendeckend zu erreichen und um einer Verschlechterung der Grundwasserkörper, die bereits in einem guten chemischen Zustand sind, vorzubeugen, sind Maßnahmen erforderlich. Da die diffusen Belastungen des Grundwassers mit Nitrat und PSM überwiegend durch Schadstoffeinträge aus der Landwirtschaft resultiert, sind Maßnahmenprogramme erforderlich, die sich auf eine gewässerschutzorientierte Landwirtschaft konzentrieren. Hierzu wurde ein gesondertes Maßnahmenprogramm erstellt.

Vierter Schritt

Maßnahmenprogramm

Ist der gute chemische Zustand des Grundwassers nicht erreicht, muss dieser mit entsprechenden Maßnahmen hergestellt werden. Gleichfalls gilt es, das Grundwasser vor schädlichen Veränderungen zu schützen (Verschlechterungsverbot). Dies entspricht dem Gedanken des flächendeckenden Grundwasserschutzes.

Das Maßnahmenprogramm wurde Ende 2009 aufgestellt und kann unter www2.hmuelv.hessen.de/umwelt/wasser/wrrl/umsetzung/ eingesehen werden.

Der gute chemische Zustand soll nach dem Zeitplan

der WRRL bis Ende 2015 erreicht werden. Von diesem Ziel kann zwar grundsätzlich durch eine Verlängerung der Fristen oder durch das Setzen weniger strenger Ziele abgewichen werden, dies ist aber nur unter engen Voraussetzungen zulässig.

Das Maßnahmenprogramm ist als zentrales Instrument wasserwirtschaftlichen Handelns zu verstehen und dient darüber hinaus als Teil des Bewirtschaftungsplans der Berichterstattung gegenüber der Europäischen Kommission.

Um den guten chemischen Grundwasserzustand flächendeckend zu erreichen, wird in Hessen eine grundwasserschutzorientierte landwirtschaftliche Beratung umgesetzt, die konzeptionell einem integrativen und stoffbezogenen Ansatz entspricht. Beratungsschwerpunkt ist der Stickstoffeinsatz und damit die Reduktion der Grundwasserbelastung durch Nitrat.

Das Beratungskonzept wird in der nachfolgenden Abb. 56 dargestellt. Die Maßnahmenpriorität leitet sich direkt aus dem Bewertungsindex ab und steuert die Intensität der Beratung, von einer allgemeinen grundwasserschonenden Grundberatung bis hin zu einer einzelbetrieblichen Intensivberatung. Zudem werden die notwendigen konkreten Bewirtschaftungsmaßnahmen als Agrarumweltmaßnahmen durch das Land Hessen gefördert. Hierzu wurden aufgrund der Belastung des Grundwassers bzw. des Belastungspotenzials, das u. a. aufgrund der Bodenbeschaffenheit und der Art der Landwirtschaft abgeleitet wurde, Maßnahmenräume auf Gemarkungsebene abgegrenzt.

In Hessen gibt es aktuell (Stand März 2013) mehr als 40 WRRL-Maßnahmenräume (Abb. 57), in denen die grundwasserschutzorientierte landwirtschaftliche Beratung umgesetzt wird. Für die Beratung stehen den Landwirten und Winzern neben der Grundberatung, die vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) umgesetzt wird, weitere rd. 40 Landwirtschaftsberater zur Verfügung. Mit Hilfe von Demonstrationsversuchen (z. B. Zwischenfruchtanbau, um die Nährstoffe über das Winterhalbjahr im Boden vor der Auswaschung in das Grundwasser zu schützen), einzelbetriebliche Düngerberatung, durch Arbeitskreise und der gemeinsamen Auswertung von Bodenuntersuchungen erfolgt ein intensiver Austausch bzw. eine

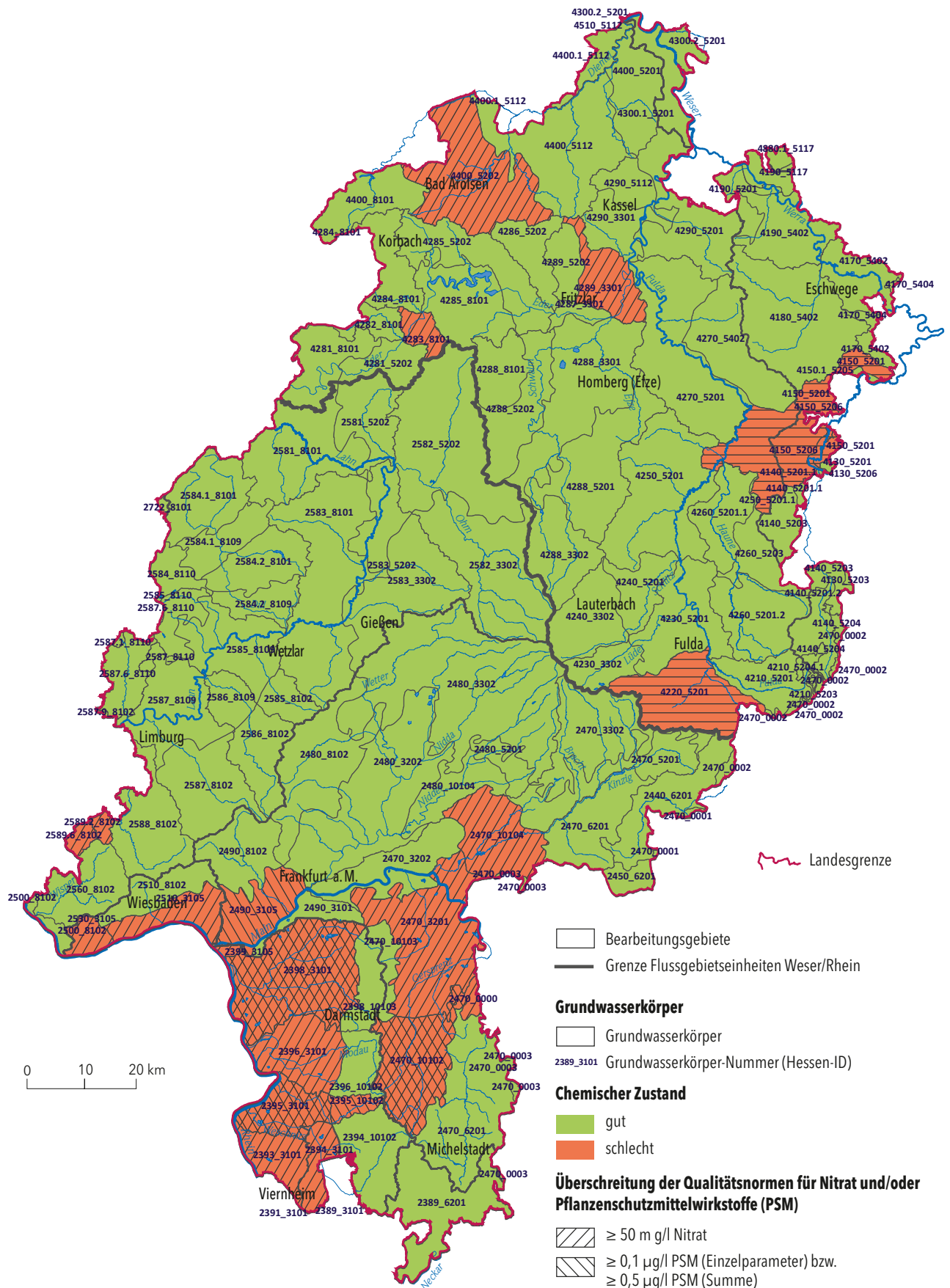


Abb. 55: Chemischer Zustand der hessischen Grundwasserkörper (2009).

Beratungskonzept

Maßnahmenpriorität leitet sich aus dem Bewertungsindex ab

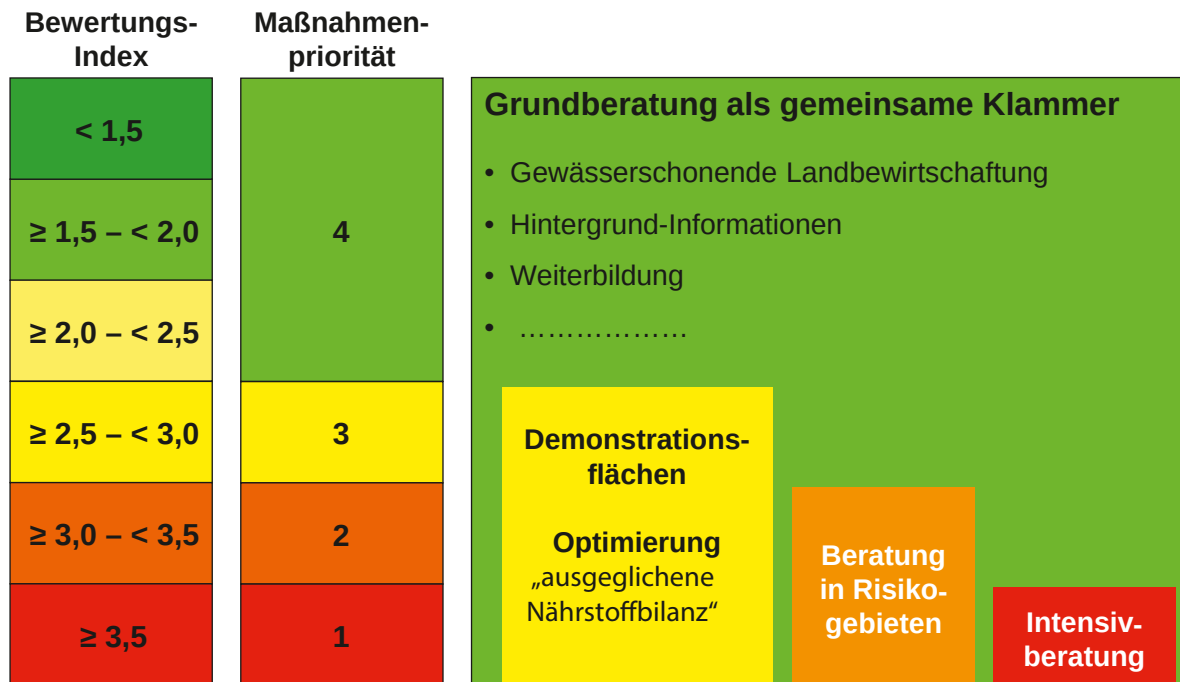


Abb. 56: Schaubild zum Beratungskonzept zur Reduzierung diffuser Stoffeinträge.

intensive Zusammenarbeit von Landwirten und Beratern.

Die WRRL-Maßnahmenräume überdecken fast vollständig alle Gebiete mit einer hohen Belastung bzw. einem hohen Belastungspotenzial. Von der rd. 781 000 ha großen landwirtschaftlichen Nutzfläche in Hessen haben rd. 322 000 ha eine hohe Belastung bzw. eine hohes Belastungspotential. Rd. 80 % dieser Flächen befinden sich innerhalb der Maßnahmen-

räume, in denen eine intensive Beratung der Landwirte hinsichtlich einer grundwasserschonenden Bewirtschaftungsweise erfolgt. Mittlerweile arbeiten in vielen Maßnahmenräumen WRRL-Berater und Landwirte zum Nutzen der Landwirte und des Grundwassers eng zusammen. Die Zusammenarbeit beruht auf dem Prinzip der Freiwilligkeit. Derzeit sind rd. zwei Drittel der hessischen Landwirte in den betroffenen Flächen beteiligt.

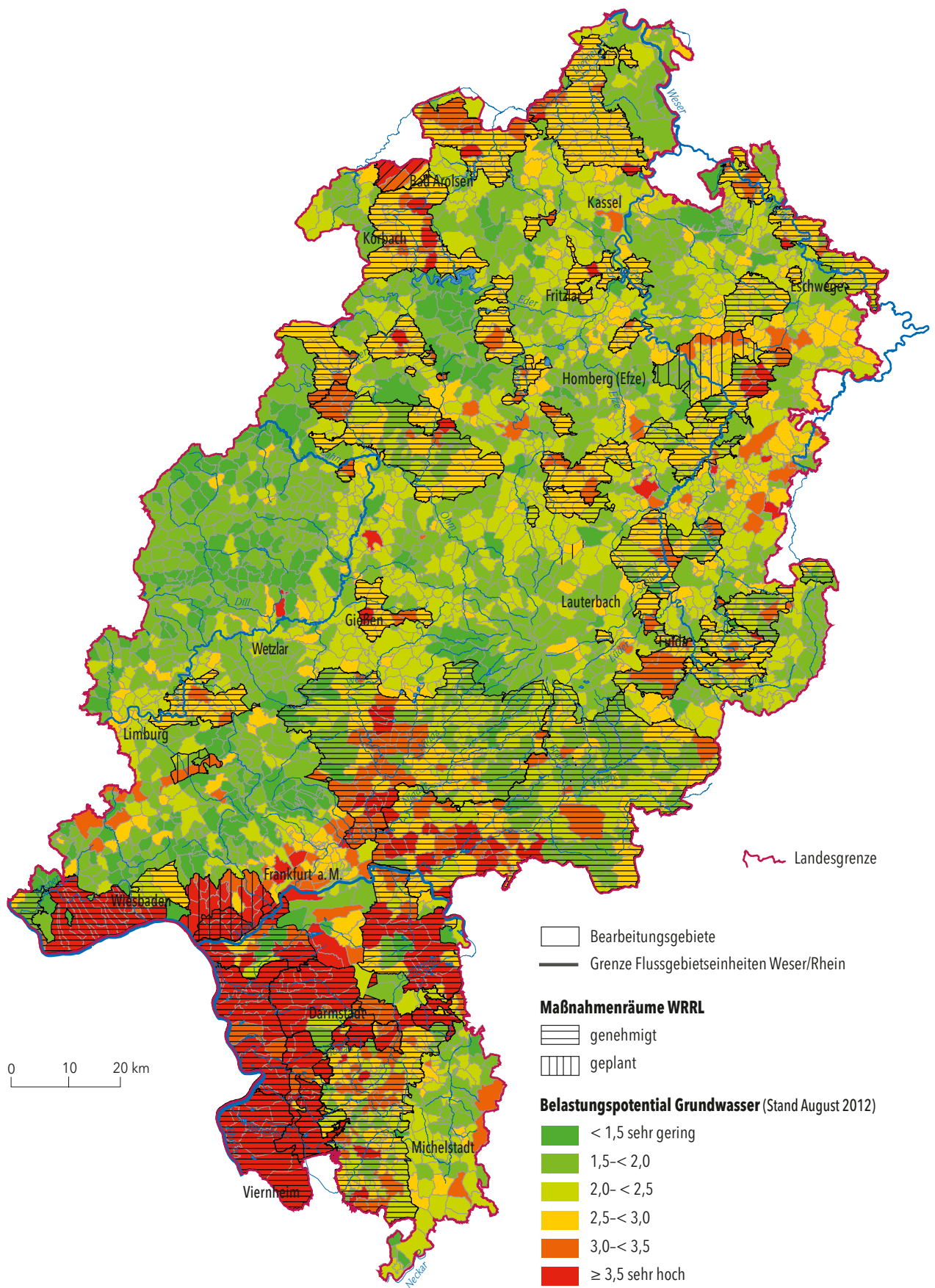


Abb. 57: Maßnahmenräume WRRL und „Belastungspotential für diffuse Stoffeinträge“ in Hessen.

Kartengrundlage: ATKIS-Daten des HLBG
 Bearbeitung: HLUg 2012

8 Zusammenfassung und Ausblick

Nitrat stellt nach wie vor die Hauptbelastung des Grundwassers in der Fläche dar. Insgesamt ist im Vergleich der letzten Jahre im landesweiten Überblick keine Reduzierung der Konzentrationen festzustellen. Die Nitratkonzentrationen stagnieren insbesondere unter landwirtschaftlich genutzten Flächen auf hohem Niveau. Diese hessenspezifischen Ergebnisse entsprechen den Aussagen des nationalen LAWA-Nitratberichts (KOM[2010]47, 2010).

Im walddreichen Hessen zeigen rd. zwei Drittel aller Grundwässer keine größere Belastung mit Nitrat. Rund ein Drittel der Grundwässer zeigen allerdings eine deutliche Überprägung in Form erhöhter Nitratkonzentrationen, die vornehmlich auf die landwirtschaftliche Flächennutzung zurückzuführen ist. Bei Nitratkonzentrationen > 15 mg/l kann eine anthropogene Beeinflussung der Grundwässer angenommen werden.

Mehr als 6 % der untersuchten Grundwässer überschreiten den 75 %-Wert des Schwellenwertes der Grundwasserverordnung (GrwV) von 37,5 mg/l. Bei 2,7 % der Grundwässer sind die Konzentrationen höher als der Schwellenwert (GrwV) von 50 mg/l.

Da die diffuse Belastung des Grundwassers mit Nitrat überwiegend durch die Stickstoffeinträge aus der Landbewirtschaftung resultiert, sind Maßnahmenprogramme erforderlich, die sich auf eine grundwasserschutzorientierte Landbewirtschaftung konzentrieren. Aufgrund der im Rahmen der EG-WRRL ergriffenen Maßnahmen gibt es in Hessen sogenannte „WRRL-Maßnahmenräume“, in denen die grundwasserschutzorientierte landwirtschaftliche Beratung im Vordergrund steht. Hiermit soll u. a. eine Reduzierung der Stickstoffeinträge in Boden und Grundwasser erreicht werden.

Betrachtet man die zeitliche Entwicklung der Nitratkonzentrationen ist festzustellen, dass die Hintergrundkonzentration an Nitrat in Grundwässern aus Waldgebieten von rund 5 mg/l (BERTHOLD & TOUSSAINT 1998) in der Zwischenzeit auf etwa 10 mg/l Nitrat gestiegen ist. Dieser Anstieg, der vornehmlich den atmosphärischen Stickoxideinträgen geschuldet ist, betrifft vornehmlich die hessischen Waldgebiete.

In der einschlägigen Literatur werden Nitratkonzentrationen zwischen 10 und 15 mg/l Nitrat als „natürlicher Hintergrundgehalt“ gewertet (MUNLV 2000). Eine weitere Reduktion von Stickoxideinträgen über den Luftpfad ist daher für den Grundwasserschutz erforderlich.

Die Belastung mit **Pflanzenschutzmittelwirkstoffen** und deren Abbauprodukten ist in den letzten zwei Jahrzehnten insgesamt zurückgegangen. Die bereits über Jahre bestehenden Anwendungsverbote für einige Wirkstoffe wie z. B. Atrazin haben im besonderen Maße hierzu beigetragen. Ein Überschreiten des Schwellenwerts der Grundwasserverordnung (GrwV) von 0,1 µg/l ist u. a. hauptsächlich bei den Wirkstoffen Bentazon, Desethylatrazin, Bromacil und Mecoprop zu beobachten. Insbesondere der Wirkstoff Bentazon zeigt seit dem Jahr 2006 eine Zunahme an Nachweisen im Grundwasser.

Die sogenannten „**nicht relevanten Metaboliten**“ (nrM) sind in über einem Drittel der Grundwässer aus Messstellen des Landesgrundwassermessnetzes zu finden. In Grundwässern aus 9 Messstellen wurde der Gesundheitliche Orientierungswert von 3 µg/l für Desphenyl-Chloridazon und 1 µg/l für N,N-Dimethylsulfamid überschritten. Das Untersuchungsprogramm soll in den nächsten Jahren fortgesetzt werden, um eine zeitliche Bewertung durchführen zu können.

Spurenstoffe im Grundwasser sind überwiegend geogener Herkunft. Die Häufigkeit von erhöhten Konzentrationen ist daher eng an die Hydrogeologischen Teilräume und deren Gesteinsarten gebunden. Darüber hinaus wird das Vorhandensein von Spurenstoffen maßgeblich von den vorliegenden Bedingungen (z. B. pH-Wert, Redoxpotential) im Grundwasser beeinflusst. Höhere Aluminiumkonzentrationen sind daher immer in Grundwässern mit niedrigen pH-Werten zu finden.

Uran im Grundwasser ist vielerorts geogener Herkunft. Da Uran auch in mineralischen Phosphatdüngern enthalten ist, könnte Uran auch über landwirtschaftliche Nutzflächen in das Grundwasser gelangen. Die bisherigen Untersuchungen erbrach-

ten jedoch keine eindeutigen Hinweise hierauf. Um einen möglichen Zusammenhang nachzuweisen oder auszuschließen, sind weitere Untersuchungen nötig.

Arzneimittelwirkstoffe wie Carbamazepin, Clofibrat, Clofibrinsäure und Diclofenac werden jährlich in einem Messprogramm des Landesgrundwasserdienstmessnetzes untersucht. In den Analysen dieser Indikatorparameter wurden seit 2006 in 3–4 % der Grundwässer entsprechende Stoffe nachgewiesen. Die Nachweise sind in Südhessen in der Nähe von durch geklärte Abwässer belasteten Vorflutern zu finden. Auch bei der Summendarstellung dieser Substanzen für das Jahr 2011 wird dieses Ergebnis bestätigt. Da viele Arzneimittelrückstände aufgrund ihrer Eigenschaften schwer abbaubar sind und daher in den Kläranlagen kaum herausgefiltert bzw. abgebaut werden können, ist in Zukunft nicht mit sinkenden Konzentrationen zu rechnen. Zurzeit fehlen noch für viele dieser Substanzen verbindliche und toxikologisch begründete Grenzwerte.

Bei den **bakteriologischen Parametern** waren 97 % der Brunnenwässer bezüglich E. Coli unauffällig, in 86 % konnten zum Untersuchungszeitpunkt keine coliformen Bakterien nachgewiesen werden. Da Quellen i. d. R. von oberflächennahem Grundwasser gespeist werden, wurden dort erwartungsgemäß häufiger diese Bakterien nachgewiesen als bei Grundwässern aus Brunnen. Über den beobachteten Zeitraum konnte kein steigender oder fallender Trend festgestellt werden. Das häufigere Auftreten dieser Keime ist i. d. R. an bestimmte Ereignisse gebunden wie z. B. Überschwemmungen nach stärkeren Regenfällen sowie auch an bestimmte Gebiete, in denen das Trinkwasser aus oberflächennahen Grundwasserleitern gewonnen wird.

Südhessen, insbesondere das Hessische Ried und der Rheingau, rückt durch eine Häufigkeit von nachweisbaren Stoffe (z. B. Ammonium, Nitrat, Arzneimittelrückstände, nicht relevante Metabolite) in den Fokus. Die hohe Bevölkerungsdichte, intensive landwirtschaftliche Nutzungen, ausgebaute Infrastrukturen und industrielle Aktivitäten stellen hohe Ansprüche an diese Regionen. Gleichfalls besteht in Teilbereichen ein hohes Gefährdungspotential für das Grundwasser aufgrund von z. B. gering mächtigen Deckschichten und schlechtem Sorptionsvermögen der im Hessischen Ried weit verbreiteten sandigen Böden, die eine Infiltration abwasserbelasteter Vorfluter begünstigen.

Hohe Verweilzeiten, schlechte Abbaubarkeit, geringe Sorptionsneigung von Stoffen im Grundwasserleiter (inklusive der Grundwasserüberdeckung) sind u. a. die Ursachen für viele aktuelle Grundwasserbelastungen, obwohl deren ursprünglicher Eintrag z. T. bereits Jahrzehnte zurückliegt. Dies zeigt sich insbesondere für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Nitrat. Gleichmaßen bedeutet dies, dass Maßnahmen zur Minderung von Stoffeinträgen in das Grundwasser lange Zeiträume benötigen bis die Erfolge messbar sind. Dieser Umstand erfordert daher ein frühzeitiges Erkennen von aktuellen Stoffbelastungen, wie dies z. B. bei einigen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Arzneimittelrückständen der Fall ist. Ein modernes, den aktuellen Erfordernissen **angepasstes Messnetz**, ist daher die Grundvoraussetzung für das Ergreifen gezielter Maßnahmen zum **Schutze des Grundwassers**.

9 Literaturverzeichnis

- ALLOWAY, B. (1999): Schwermetalle in Böden – Analytik, Konzentrationen, Wechselwirkungen, S. 374, Springer, Heidelberg.
- BÁRDOSY, A., GIESE, H., GRIMM-STRELE, J. BARUFKE K. (2003): SIMIK+ GIS implementierte Interpolation von Grundwasserparametern mit Hilfe von Landnutzungs- und Geologiedaten. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 47, H. 1, S. 13–20.
- BEIER, M. (2008): Urbane Beeinflussung des Grundwassers: Stoffemissionen und -immissionen am Beispiel Darmstadts. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- BENDER, H.F., HOMMEL, G. (2005): Handbuch der gefährlichen Güter. Erläuterungen und Synonyme, Merkblatt 37; 16. Auflage, Springer Berlin Heidelberg New York.
- BERGER, C., FALK, C. (2009): Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009, in Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- BERGMANN, A., FOHRMANN, R., WEBER, F.-A. (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln, Texte 66/2011, Forschungskennzahl 360 14 013, UBA-FB 001525.
- BMU (2004): Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Artikel 10 der Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Berlin
- BUERGE, I.J., BUSER, H.-R., KAHLE, M., MUELLER, M.D., POIGER, T. (2011): Saccharin and Other Artificial Sweeteners in Soils: Estimated Inputs from Agriculture and Households, Degradation, and Leaching to Groundwater, Environmental Science & Technology, Vol. 45, 615–621.
- COPENHAVER, E. D., WILKINSON, B. K. (1979): Movement of hazardous substances in soil, Volume 2. Oak Ridge National Laboratory, Toxic Materials Information Center and Municipal Environmental Research Laboratory.
- DIN 4049 (1994): Hydrogeologie. Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R., TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – NLFb (Hrsg.): Aufbruch nach Europa, Hydrogeologie vor neuen Aufgaben. – Arbeitshefte Wasser 1: 109–167; Hannover.
- DVGW (2006): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser. DVGW-Regelwerk, Technische Regeln, Arbeitsblatt W 101, 19 S., Bonn.
- EBERMANN, R., ELMADFA, I. (2008): Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung, 121 S., Springer-WienNewYork.
- EU-KOMMISSION (2001): <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/atrazin.pdf>
- FAUTH, H., HINDEL, R., SIEWERS, U., ZINNER, J. (1985): Geochemischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- FRITSCH, 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.
- GALLER, J. (1999): Lehrbuch Umweltschutz, Fakten-Kreisläufe-Maßnahmen, Seite 137–144, ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg.
- GEBHARDT, A., KNÖRNDEL, K.-D. (1977): NE-Metallindustrie – Struktur und Wachstum, Heft 28, Duncker & Humboldt; Berlin, München.
- GERDES, E. (2001): Qualitative Anorganische Analyse, 2. Überarbeitete Auflage 2001, Springer.
- GREB, H. (2005): Arzneimittelbericht Südhessen 1996–2000, Hessische Landesanstalt für Umwelt Wiesbaden. <http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/grundwasser/artikel/arzneimittelbericht.pdf>
- GROMMELT, J., SCHÖNAUER, S. (2001): Hormonaktive Substanzen im Wasser – Gefahr für Gewässer und Mensch, 2001, BUND (Hrsg.), S. 4 und 11 ff.
- HEM, J. D. (1985): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. – US

- Geol. Survey Water Supply Pap., 2254, 3rd ed., 263 p., Washington, D. C.
- HIRNER A. V., REHAGE, H. & SULKOWSKI, M. (2000): Umweltgeochemie – Herkunft, Mobilität und Analyse von Schadstoffen in der Pedosphäre, Darmstadt.
- HIRSCH, R. (1998): Antibiotika in der Umwelt; Fachtagung „Arzneimittel in Gewässern Risiko für Mensch, Tier und Umwelt?“, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.
- HIRSCH, R.; TERNES, T. A.; HABERER, K.; KRATZ, K. L. (1999): Occurrence of antibiotics in the aquatic environment. *Science of the Total Environment*, 225, S. 109–118.
- HMUELV, NATURSCHUTZ/FORSTEN 2013: http://www.hmuelv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?uid=a1b07118-ff12-701b-e592-63b5005ae75d
- HMUELV, WALDZUSTANDSBERICHT 2010: http://www.hmuelv.hessen.de/irj/HMULV_Internet?cid=58f2e70212f82f11a82551827bea7460
- HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2013): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 8. Auflage, Springer Spektrum.
- INVEKOS (2011): Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem, Datenauswertung Hessische Landesanstalt für Umwelt. Wiesbaden.
- KEHRER A. (2008): Die Wirkung von Pharmaka und Pestiziden einzeln und in Kombination auf die Embryonalentwicklung des Zebrafischblinds. Dissertation, Dresden.
- KNORR, C., SCHELL, T. V. (1997): Mikrobieller Schadstoffabbau: Ein interdisziplinärer Ansatz. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH Braunschweig/Wiesbaden.
- KOM[2010]47, (2010): Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament zur Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässervor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen auf der Grundlage der Berichte der Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2004–2007. COM(2010)47 final du 9.2.2010.
- KÖLLE, W. (2010): Wasseranalysen – richtig beurteilt. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 3. Auflage, Weinheim.
- KULLIG, S. (2005): Sucralose, in: Roempp-Online, Georg Thieme Verlag, 2005, <http://recherche.hlug.de/roempp/thieme-chemistry/roempp/prod/roempp.php>, Zugriff 26.04.2012.
- LAWA (1998): Richtlinien für Heilquellenschutzgebiete, Berlin.
- LAWA (2010): Bericht zur „Grundwasserbeschaffenheit – PSM“.
- LFU (2001): Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg. – Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz.
- LUDWIG, F. & BERTHOLD, G. (2010): Uran in hessischen Grund- und Rohwässern, Sachstand des Projektes, HLUG, Wiesbaden.
- LUDWIG, G. (1961): Vorkommen und Genese uranhaltiger Horizonte im Mittleren Buntsandstein des Werra- Leine-Gebietes. – *Geol. Jb.*, 78, S. 661–692, Hannover.
- LUWG (2007): GRUNDWASSERBERICHT 2007, KAMPF J., PLAUL W., SCHWEBLER W., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, (Hrsg.): Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (MUVF), Mainz.
- MATTHESS, G. (1994): Lehrbuch der Hydrogeologie; Band 2 – Die Beschaffenheit des Grundwassers. – 3. überarb. Aufl., Berlin – Stuttgart.
- MAWHINNEY, D.B., YOUNG, R.B., VANDERFORD, B.J., BORCH, T., SNYDER, S.A. (2011): Artificial Sweetener Sucralose in U.S. Drinking Water Systems, *Environmental Science & Technology*, Vol. 45, 8716–8722.
- MUNLV (2000): Die Nitratbelastung des Grundwassers in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Dr. Harald Friedrich, Gerhard Odenkirchen, Anita Lerho, Dr. Wolfgang Leuchs, Peter Neumann. S.11, Kap. 1.2.
- ROBAKOWSKI, H. (2000): Arzneimittelrückstände und endokrin wirkende Stoffe in der aquatischen Umwelt, Literaturrecherche; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg; Karlsruhe.
- RÖMKE, J., KNACKER, T., STAHLSCHEIDT- ALLNER, P. (1996): Umweltprobleme durch Arzneimittel, UBA- Texte 60/96, Berlin.
- RÜCKERT, H. (2011): Auswertungen und Meldewege zur Fundaufklärung von Grundwasserbelastungen. Grundwasserschutz in der behördlichen Praxis, HLUG, Wiesbaden. <http://www.hlug.de>

[de/das-hlug/veranstaltungsarchiv/grundwasserschutz-in-der-behoerdlichen-praxis.html](http://www.hlug.de/das-hlug/veranstaltungsarchiv/grundwasserschutz-in-der-behoerdlichen-praxis.html)

- RÜCKERT, H. (2006): Pflanzenschutzmittelrückstände in hessischen Grund- und Rohwässern. Fortbildungsveranstaltung Pflanzenschutzmittel in Grund- und Oberflächengewässern. HLUG, Wiesbaden. <http://www.hlug.de/start/wasser/grundwasser/berichte/pflanzenschutzmittel-in-grund-und-oberflaechengewaessern.html>
- RUV (1991): Verordnung über die Untersuchung des Rohwassers von Wasserversorgungsanlagen RUV vom 19.05.1991 (GVBl. I, S.200) und die Neufassung der Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Rohwasseruntersuchungsverordnung (VV-RUV, Hess. St.Anz. 48/995 S. 3833).
- SCHINDLER, P. (2003): Beitrag im Rahmen des FLUGS-Seminars „Wasser – Reservoir des Lebens. Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und –hygiene“ (6. Oktober 2003, Nürnberg). Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
<http://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Themen/Umweltschutz/Faekalien.pdf>
(Zugriff 22.03.2013)
- SCHRAMM, E. (1998): Arzneimittelrückstände in den Gewässern – Handlungs- und Forschungsanforderungen aus sozial-ökologischer Sicht; Fachtagung „Arzneimittel in Gewässern Risiko für Mensch, Tier und Umwelt?“; Hessische Landesanstalt für Umwelt. Wiesbaden.
- SLOPIANKA, M. (2012): Untersuchung zum Eintrag anthropogener Emissionen in das oberflächen-nahe Grundwasser; Bachelorarbeit Hochschule Fresenius, Idstein.
- STUHRMANN, M. (2000): Verbleib eingetragenen Stickstoffs entlang eines klimatischen Transekts durch Europa, Bayreuther Forum Ökologie Band 79.
- STUMPF, M., TERNES, T. A., HABERER, K., SEEL, P., BAUMANN, W. (1996): Nachweis von Arzneimittelrückständen in Kläranlagen und Fließgewässern, Vom Wasser Vol. 86, S. 291–303, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- TRINKWV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. November 2011 (BGBl. I S. 2370), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2562) geändert worden ist.
- UBA (2006): Nr. 23, UBA Datenblatt Nr. 23, Nickel <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/nickel.pdf>
- UBA (2008): http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/veranstaltungen/ws-monitoring-arzneimittel/3_praesentation_vietoris.pdf
- UBA (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln, UBA Texte 66/2011.
- UBA (2012): Chemikalienpolitik und Schadstoffe, REACH, Arzneimittel (Letzte Änderung: 31.05.2012), <http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/arzneimittel/index.htm>, Zugriff am 01.03.2013.
- UBA (2012): Wasser, Trinkwasser und Gewässerschutz, Trinkwasser, Mikrobiologie (Letzte Änderung: 20.03.2012), <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/trinkwasser/mikrobiologie.htm>, Zugriff am 24.4.2013.
- UBA, BFR (2012): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln (PSM). http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxykologie/tabelle_gow_nrm.pdf
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95) geändert worden ist.
- WISCHER, R., BARTZ, J., PLUTA, H.-J., ROSKOSCH, A. (2012): Klärschlamm – Problem oder Potenzial? Vom Wasser, Vol. 110/4, S. 111–146, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- WISCHMEIER-BAYER, M. & BAYER, E. (1995): Schadstoffe im Wasser, Band 2: Schwermetalle und weitere Einzelparameter, Wissenschaftsladen Gießen e. V., VAS-Verlag.
- WRMG (2007): Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln, BGBl. I S. 600, 29. April 2007.
- WRRL BEWIRTSCHAFTUNGSPLAN (2009–2015): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan 2009–2015, HMUELV, 22. Dezember 2009.

Abkürzungsverzeichnis

BG	Bestimmungsgrenze
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
GOW	gesundheitlicher Orientierungswert
GruSchu	Fachinformationssystem Grund- und Trinkwasserschutz Hessen
GruWaH	Grundwasserdatenbank Hessen
GrwV	Grundwasserverordnung
HMUELV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HÜK	Hydrogeologische Übersichtskarte
INVEKOS	Integriertes Verwaltung- und Kontrollsystem
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Abwasser
LGD	Landesgrundwasserdienst
LHL	Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
n. n.	nicht nachweisbar
NG	Nachweisgrenze
NOEC	No Observed Effect Concentration
RPUn	Regierungspräsidien, Abteilung Umwelt
RUV	Rohwasseruntersuchungsverordnung
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UWBen	Untere Wasserbehörden
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie

