

Grundwasserbeschaffenheit

W4

GEORG BERTHOLD

Das Grundwasser ist ein gesetzlich abgesichertes Schutzgut. Das bedeutet, dass es nicht nur als der in Hessen wichtigste Rohstoff für das elementare Lebensmittel Trinkwasser lediglich im geohydrologischen Einzugsgebiet von Wassergewinnungsanlagen geschützt ist, sondern als Bestandteil des Wasserkreislaufs und wegen essentieller ökologischer Funktionen ganzheitlich-flächenhaften Schutz genießt.

Ein gut organisiertes Monitoring, das die Ist-Situation des Grundwassers dokumentiert und Entwicklungstrends aufzeigt, ist als Controlling-Instrument zu verstehen und als solches eine unverzichtbare Grundlage für die dauerhaft-umweltgerechte Grundwasserbewirtschaftung und den vorbeugenden qua-

litativen Grundwasserschutz. In diesem Zusammenhang kommt dem Berichtswesen, eine wichtige Komponente des Monitoring, ein besonderer Stellenwert zu.

Das Land Hessen hat die Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit seit 1984 kontinuierlich ausgebaut. Da auf der Basis der sog. Rohwasserverordnung vom Mai 1991 die Wasserversorgungsunternehmen gehalten sind, in ihren Gewinnungsanlagen gewonnenes Rohwasser auf bestimmte Inhaltsstoffe untersuchen zu lassen, steht ein weiterer, sehr umfangreicher Datenpool zur Verfügung, der vom Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie (HLUG) zentral gesammelt und ausgewertet wird.

Geologie und Grundwasserbeschaffenheit

Der geogene Stoffinhalt des Grundwassers muss bekannt sein, um die anthropogene Beeinflussung erkennen zu können. Für das Verständnis der von vielen Faktoren abhängigen Grundwasserbeschaffenheit ist wesentlich, dass das Grundwasser über hydrodynamische Abläufe und physikalische, chemische und biologische Prozesse und Reaktionen sowohl Transportmedium als auch Lösemittel ist.

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit variiert räumlich und zeitlich, da die natürlichen Grundwasserinhaltsstoffe im Grundwasserraum unterschiedli-

chen Ausbreitungsprozessen unterliegen und außerdem chemische, physikalisch oder biochemisch induzierte Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und den Feststoffphasen seines Leitergesteins bestehen.

Da sich Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter nicht nur durch ihre mineralische Zusammensetzung und ihr geochemisches Inventar, sondern auch im Hinblick auf Fließzeiten und Reaktionsoberflächen unterscheiden, ergeben sich unterschiedliche hydrochemische Grundwassertypen.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, welche Bedeutung einer Untergliederung der Grundwasservorkommen nach lithologischen und auch nach geohydrologischen Gesichtspunkten für die Zustandsbeschreibung des Grundwassers zukommt

Die bei der Unterpassage ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse sind im ungesättigten Sickerraum, in dem die vertikale Bewegungskomponente überwiegt, besonders intensiv. Die Sickergeschwindigkeit ist i. allg. langsam und lässt den oberflächennahen biologischen Prozessen unter Verbrauch von Sauerstoff im Normalfall ausreichend Zeit zum Umbau oder zur Mineralisierung abbaubarer Inhaltsstoffe. Auch die chemischen Prozesse wie Lösung, Fällung/Mitfällung, Hydrolyse, Komplexbildung, Sorption/Desorption und Ionenaustausch sind in diesem Bereich besonders wirksam, so dass bei einer ausreichenden Sickerstrecke die über die Niederschläge und andere oberflächennahe Vorgänge eingetragenen Wasserinhaltsstoffe verändert und kurzzeitige Konzentrationsschwankungen ausgeglichen werden.

Im Grundwasserraum selbst herrschen chemische Reaktionen und Austauschprozesse zwischen den mineralischen Inhaltsstoffen im Leitergestein und den Inhaltsstoffen im Grundwasser vor, die einen Gleichgewichtszustand anstreben und die Beschaffenheit des Grundwassers zusätzlich überprägen. Diese vom Material des Grundwasserleiters abhängigen Beschaffenheitsänderungen stellen vor allem bei geringmächtigem Sickerraum die hydrochemisch prägende Komponente dar und gewinnen mit zunehmendem Fließweg und langer Aufenthaltszeit im Grundwasserleiter an Bedeutung.

Die vorstehenden Ausführungen machen zusammengefasst deutlich, dass im Hinblick auf die Beschaffenheit unbedingt zwischen oberflächennahem und tieferem Grundwasser unterschieden werden muss. Die Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers wird hauptsächlich von den chemischen Kennwerten des Niederschlags, der Bodennutzung und der lithologischen und boden-

physikalischen Ausbildung der Sickerzone (einschließlich der belebten Bodenzone) und den dort maßgebenden physikalischen, chemischen und biologischen Reaktionen und Prozessen beeinflusst. Beim tieferen Grundwasser spielt das geochemische und mineralogische Inventar der Leiter- und Speichergesteine die Hauptrolle, deren Dominanz mit der Verweildauer des Wassers im Untergrund immer mehr zunimmt.

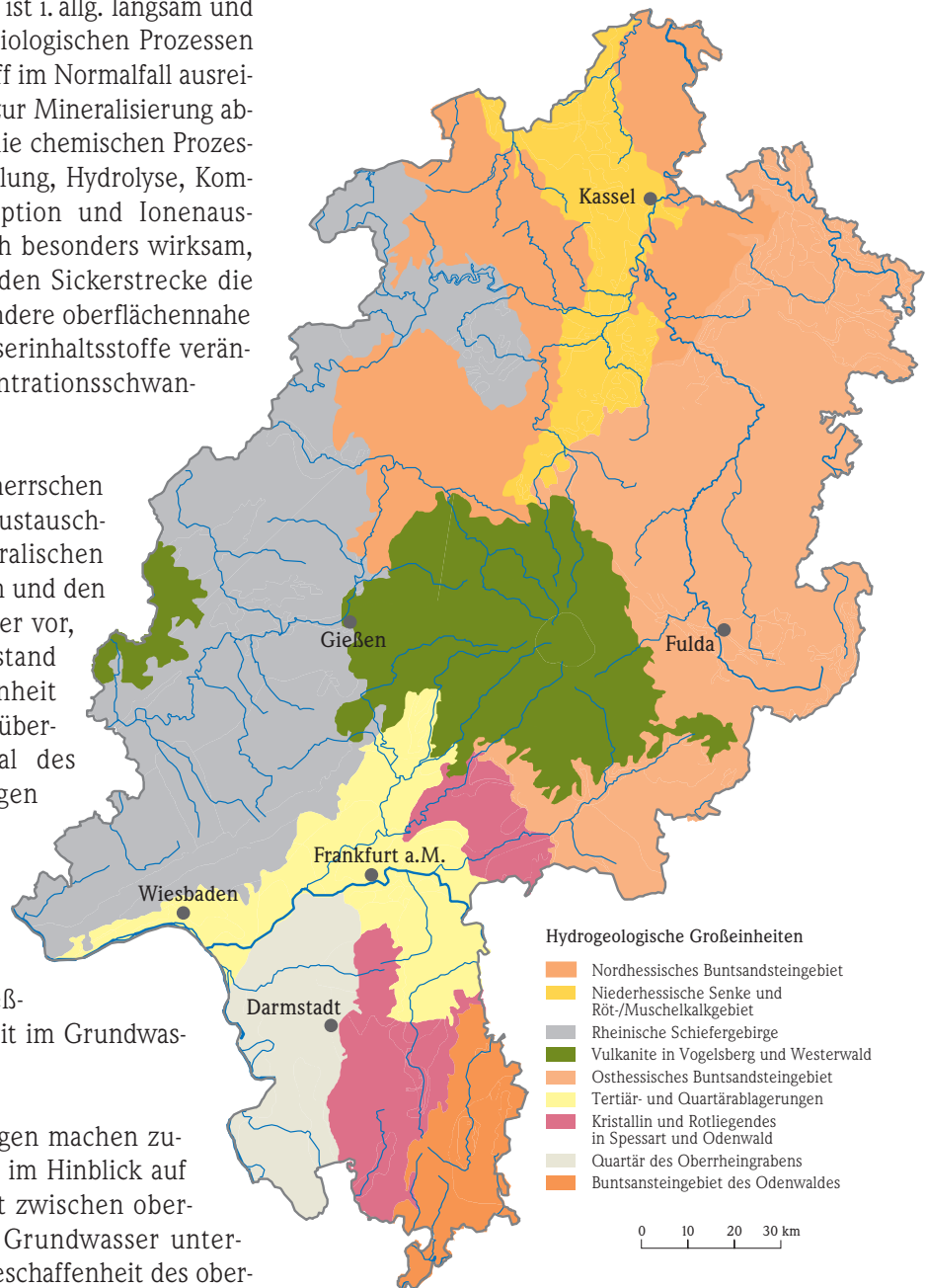


Abb. 1: Schematische Übersicht über die geologischen Verhältnisse in Hessen.

In Abb. 1 werden in grober aber übersichtlicher Form die schwierigen geologischen Verhältnisse in Hessen visualisiert.

Die geologischen Verhältnisse sind entscheidend, ob das Grundwasser weich oder hart ist bzw. welche

und welche Mengen an Ionen in ihm gelöst sind. Auf eine Auswahl von wichtigen Parametern, die von der Geologie maßgeblich beeinflusst werden, wird daher näher eingegangen.

pH-Wert

Der pH-Wert beschreibt in logarithmischer Form den Dissoziationsgrad des Wassers. Wesentlichen Einfluss auf den pH-Wert hat vor allem das Kalk/Kohlensäure-Gleichgewicht bzw. das Vorkommen von CO_2 und CaCO_3 bzw. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ im Grundwasserleiter. Somit ergeben sich für karbonathaltige Grundwasserleiter höhere pH-Werte als für karbonatarme (z. B. kristalline Gesteine wie Granite oder Gneise, Sandsteine, Quarzite). Der pH-Wert hat einen entscheidenden Einfluss auf viele Lösungsprozesse. In der Regel wird bei fallendem pH-Wert die Löslichkeit von Metallen (z. B. Aluminium) erhöht. Durch die anhaltende Emission bzw. Deposition von Schwefelverbindungen und Stickoxiden erfolgt ein ständiger Eintrag von Säurebildnern. Diese wirken großflächig auf die bestehenden Puffermechanismen im Boden, in der ungesättigten Zone und im Grundwasserraum ein. Die Größe dieser Puffer entscheidet darüber, ob und vor allem wie schnell sich der Einfluss dieser ständigen Säurezufuhr bemerkbar macht.

Die pH-Werte der Grundwässer werden stark von den geologischen Gegebenheiten beeinflusst. Sind unterschiedliche pH-Werte geogen bedingt, wirkt sich einerseits das geochemische und mineralogische Inventar der Grundwasserleiter aus, andererseits aber auch die Ausbildung der Deckschichten; z. B. hat eine Lössauflage im Falle eines im Buntsandstein zirkulierenden Grundwassers eine Anhebung des pH-Wertes zur Folge. Im Hinblick auf ei-

ne anthropogene Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit wirkt sich eine langjährige Kalkdüngung landwirtschaftlicher Nutzflächen ähnlich aus. Ein anthropogener Einfluss kann aber auch das Gegenteil bewirken, nämlich eine Absenkung des pH-Wertes des Grundwassers im Zusammenhang mit luftgetragenen Säurebildnern. Beide Effekte einer anthropogenen Beeinflussung können sich allerdings auch überlagern.

Die Häufigkeitsverteilungen der pH-Werte hessischer Grundwässer, unterteilt nach der Landnutz-

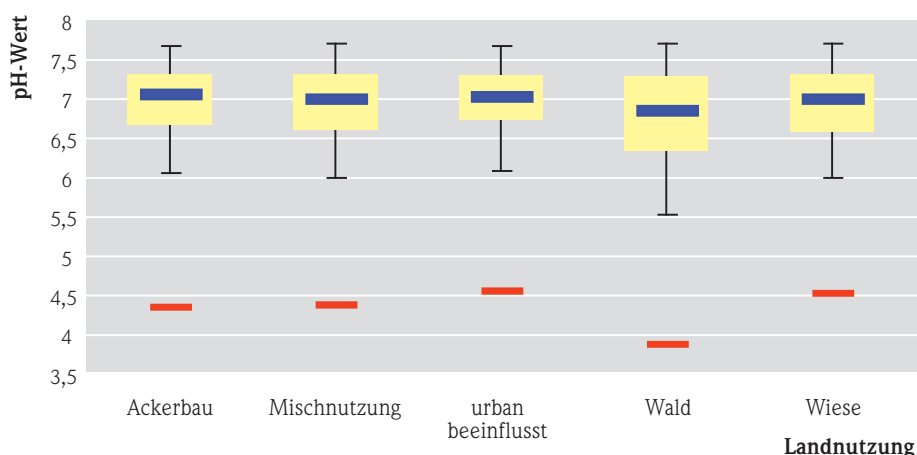


Abb. 2: Schematische Übersicht über die geologischen Verhältnisse in Hessen.

ung, sind in Abb. 2 dargestellt. Die Mediane aller Landnutzungstypen, mit Ausnahme des Waldes, liegen im Bereich von pH 7 und variieren in 95 % aller Fälle zwischen pH 6 und 7,7. Lediglich in den Grundwässern unter Wald treten häufiger pH-Werte <6 auf. Das Ergebnis suggeriert, dass sich die pH-Werte der Grundwässer unter Wald nur unwesentlich von denen der anderen Landnutzungsformen unterscheiden. Diese Einschätzung wird jedoch rela-

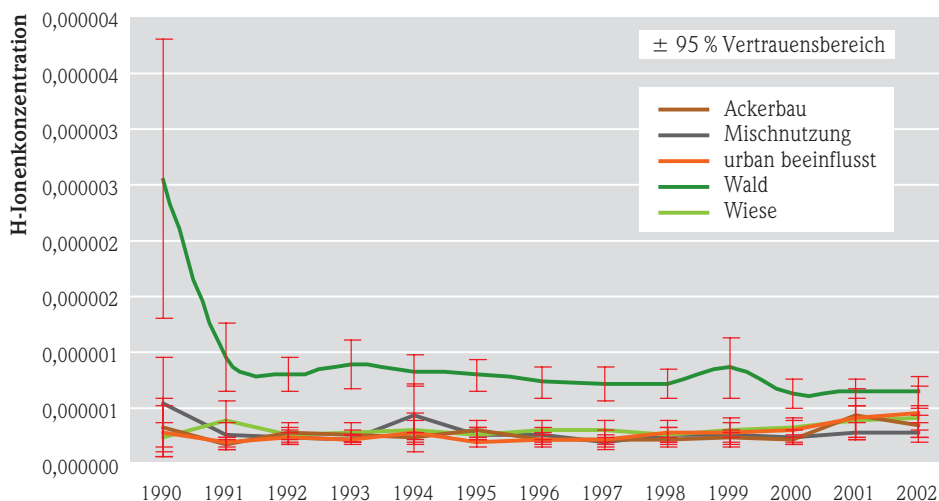


Abb. 3: Mittlere H⁺-Ionenkonzentrationen von hessischen Grund- und Rohwässern, gruppiert nach der Landnutzung.

tiviert, wenn nicht der pH-Wert, sondern die tatsächliche H⁺-Ionenkonzentration als Vergleichsmaßstab herangezogen wird. Gleichzeitig wird durch die Ent-

ter Wald erheblich über der des restlichen Beobachtungszeitraumes, der eine leicht fallende Tendenz aufweist, lag.

logarithmisierung eine statistische Betrachtungsweise (Mittelwertberechnung) ermöglicht. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt und zeigen deutlich die Sonderstellung der Grundwässer aus Waldgebieten, die sich mit merklich höheren Säurekonzentrationen von allen anderen Grundwässern signifikant unterscheiden. Auffallend ist ebenfalls, dass zu Beginn des Beobachtungszeitraumes die Beladung der Grundwässer mit Protonen unter

Säurekapazität (Karbonathärte, Hydrogenkarbonat)

Die Säurekapazität gibt den Verbrauch in ml an 0,1 N Salzsäure bei der Titration von 100 ml Wasser bis zu einem pH-Wert von 4,3 an. Die Säurekapazität stellt somit ein Maß dar, das Auskunft über die karbonatische Zusammensetzung der Wässer gibt. Karbonatreiche Wässer haben immer höhere Hydrogenkarbonatgehalte und damit ein höheres Pufferungsvermögen gegenüber pH-Verschiebungen durch Säureinträge. Hohe Karbonathärten treten von Natur überall dort auf, wo der betreffende Grundwasserleiter entweder aus Karbonatgesteinen, wie Mergelstein, Kalkstein oder Dolomitstein, besteht oder aber bei Locker- und Festgesteinen das Bindemittel karbonatisch ist.

Durch Multiplikation mit dem Faktor 2,8 ergibt sich die Karbonathärte (°dH), durch Multiplikation mit dem Faktor 61 der Gehalt an Hydrogenkarbonat (mg/l).

Während der Parameter pH-Wert als Intensitätsgröße zu interpretieren ist, der einen konkreten Zustand wiedergibt, repräsentiert die Säurekapazität eine

Kapazitätsgröße. Sie ist ein Maß für Pufferkapazität des Wassers gegenüber Säuren und damit verantwortlich für die pH-Wert-Stabilität.

Die niedrigsten Karbonathärten (im Mittel 1,2 °dH) in Hessen weist das Grundwasser aus dem Buntsandstein des Odenwaldes auf, da dieser überwiegend Sandsteinfolgen enthält, die praktisch kein karbonatisches Bindemittel haben. Gleichzeitig weisen die Buntsandsteinwässer des Odenwaldes die niedrigsten mittleren pH-Werte aller hessischen Grundwässer auf.

Die größten Spannbreiten hinsichtlich der Karbonathärte lassen sich für die Grundwässer in den Ostthessischen Buntsandsteingebieten feststellen. Vor allem Grundwasser, das in Sandsteinen, die kaum lösliche Bindemittel haben und nicht von jüngeren Schichten überdeckt werden, zirkuliert, hat nur sehr geringe Karbonathärten, sofern kein aufsteigendes Zechsteinwasser beigemischt ist. Auch in stärker verkarsteten Karbonatgesteinen werden Wässer mit relativ niedrigen Karbonathärten angetroffen, da bei den

teilweise hohen Fließgeschwindigkeiten die Kontaktzeit für ausgeprägte Lösungsvorgänge zu kurz ist. Auffallend niedrig mit 3,7 °dH ist die Härte des Grundwassers in der hydrogeologischen Untereinheit „Spessart mit Schlüchterner Becken“, wo mit Ausnahme relativ kleiner Vorkommen von Röt und Muschelkalk sowie von Basalten des Landrückens nahezu karbonatfreie Sandsteine des Unteren und Mittleren Buntsandsteins vorkommen. Der mittlere pH-Wert der Wässer aus dieser hydrogeologischen Region liegt mit 6 deutlich im sauren Bereich.

Die Grundwässer aus den Quartär u. Tertiärregionen weisen meist höhere Karbonathärten auf. Eine Ausnahme stellt hier die Hanau-Seligenstädter Senke dar, in der vom Main aufgeschüttete fast karbonat-

freie Sande und Kiese dominieren. Entsprechend niedrig ist der mittlere Karbonatgehalt (4,3 °dH) der Grundwässer. Der durchschnittliche pH-Wert mit 6,3 belegt anschaulich diese schwache Pufferwirkung.

Sehr heterogenes geochemisches und mineralogisches Inventar der Grundwasserleiter wird im Rheinischen Schiefergebirge angetroffen. Entsprechend stark variieren die mittleren Karbonathärten. Der Bereich „Taunus“, der fast ausschließlich durch unterdevonische Schichten gekennzeichnet ist, weist in dieser hydrogeologischen Gruppierung die geringsten Karbonathärten (5,4 °dH) auf. Das Grundwasser reagiert durchweg sauer, z.T. liegt der mittlere pH-Wert bei 6,2.

Tab. 1: Mittlere Karbonathärten und pH-Werte der hessischen Grund- und Rohwässer in Abhängigkeit von der hydrogeologischen Einheit (Teileinheit)

Hydrogeologische Einheiten	pH	Karbonathärte °dH	Fläche in km ² Waldanteil in (%)
Buntsandstein-Odenwald	5,3	1,2	680 (67)
Osthessischer Buntsandstein – Spessart und Schlüchterner Becken	6,0	3,7	770 (63)
Quartär und Tertiär – Hanau-Seligenstädter Senke	6,3	4,3	388 (46)
Nordhessischer Buntsandstein – östl. der Niederhessischen Senke	6,6	4,3	866 (57)
Röt-Muschelkalk-Gebiet nördl. des Kasseler Grabens – Basaltische Gesteine	6,8	5,3	110 (57)
Osthessischer Buntsandstein – Fulda-Bergland und Knüll	6,3	5,3	2575 (46)
Basaltgebiete Westerwald	6,8	5,3	223 (42)
Rheinisches Schiefergebirge – Taunus	6,2	5,4	1676 (61)
Nordhessischer Buntsandstein – Trias westl. der Niederhessischen Senke	6,6	7,0	1772 (40)
Basaltgebiete Vogelsberg	7,1	7,0	2506 (36)
Rheinisches Schiefergebirge – Kellerwald und Waldecker Upland	6,6	7,0	820 (57)
Kristallin und Rotliegendes – Odenwald	6,4	7,3	672 (34)
Osthessischer Buntsandstein – Unterwerrassattel, Meißner und Ringgau	6,4	8,3	1261 (44)
Röt-Muschelkalk-Gebiet nördl. des Kasseler Grabens – Tertiäre Sedimente	6,9	8,5	596 (20)
Rheinisches Schiefergebirge – Lahn-Dill-Gebiet	7,0	10,3	2252 (50)
Nordhessischer Buntsandstein – Zechstein nördl. des Kellerwaldes	7,2	11,2	242 (21)
Quartär – Oberrheingraben	6,8	11,4	1070 (31)
Röt-Muschelkalk-Gebiet nördl. des Kasseler Grabens – Eder-Niederung	7,4	11,4	62 (6)
Quartär und Tertiär – Rheingau und Mainspitze	7,0	12,8	268 (9)
Osthessischer Buntsandstein– Röhn und Eiterfelder Mulde	7,3	13,0	283 (29)

Anmerkung: Der mittlere pH-Wert pro hydrogeologische Einheit wurde aus den H⁺-Ionenkonzentrationen ermittelt. Erst nach der Mittelwertbildung erfolgte die Logarithmisierung.

Entsprechend der geochemischen Heterogenität der Grundwasserleiter in der hydrogeologischen Einheit „Krisallin und Rotliegendes“ schwanken auch die Karbonathärten der Grundwässer beträchtlich. Das Kristallin des Odenwaldes gibt sich trotz einer z.T. großflächigen Überdeckung der hauptsächlich anstehenden Granite durch Löss oder Lösslehm in relativ gemäßigten Härtegraden (7,3 °dH) zu erkennen, auf der anderen Seite spiegeln sich die Rotliegendareale wegen des teilweisen Vorkommens von Mergel- und Kalksteinen sowie karbonatisch gebundenen Ton- und Sandsteinen in hohen Härtegraden (ca. 15,5 °dH) wider (Vorspessart und östl. Wetterau und Sprendlinger Horst).

Die in der Tab. 1 aufgeführte Kapazitätsgröße „Karbonathärte“ und die Intensitätsgröße „pH-Wert“ zeigen deutlich, dass der aktuelle Versauerungsgrad sowie das derzeit vorhandene Puffervermögen der Grundwässer wesentlich durch die hydrogeologi-

schen Gegebenheiten geprägt werden. Als überdurchschnittlich von der Grundwasserversauerung betroffen bzw. gefährdet können alle Gebiete gelten, in denen der mittlere pH-Wert $\leq 6,5$ beträgt und gleichzeitig die Karbonathärte nur eine geringe Größenordnung (≤ 8 °dH) hat.

Auffallend ist, dass gerade in den hydrogeologischen Einheiten, in denen das Grundwasser geringe Karbonathärten bzw. niedrige pH-Werte aufweist, der Flächenanteil an Wald in der Regel deutlich über 40 % liegt. Damit überlagern und verstärken sich die Effekte „Erhöhter Säureeintrag durch den Auskämmeffekt des Waldes“ und „geringes hydrogeologisch bedingtes Puffervermögen“. Die zwar deutlich reduzierten, aber dennoch immer noch zu hohen Säureinträge in Waldgebiete über den Luftpfad werden sich daher auch zukünftig vor allem in diesen Gebieten negativ bemerkbar machen.

Thema „Versauerung“

Waldquellen haben seit jeher einem eigentümlichen Reiz, der in Sagen und Mythen romantisch beschrieben wird. Wasser aus Waldgebieten stand immer für „unberührte Reinheit“, die ohne Bedenken als Trinkwasser für den menschlichen Genuss geeignet war. Wald und Wasser stehen schon immer in enger Beziehung, wobei dem Ökosystem Wald, als Wasserspeicher und Wasserfilter, eine grundlegende Schutzfunktion hinsichtlich Wasser zukommt.

Anfang der achtziger Jahre wurde die Bevölkerung durch Schlagworte wie „Waldsterben“, „Saurer Regen“ und „Bodenversauerung“ aufgeschreckt. Durch die Säureinträge wurden bzw. werden wichtige Funktionen des Ökosystems Wald geschädigt.

Die wichtigsten Säurebildner sind Schwefeldioxid, Stickoxide (in Verbindung mit Wasser entstehen daraus Schwefelsäure bzw. Salpetersäure) und Ammoniak. Ammoniak wirkt u. a. durch die Oxidation zum Nitrat, bei der Protonen (H^+) freigesetzt werden, versauernd.

In den letzten Jahren ist das Thema Waldsterben, das heute als „Waldschäden“ bezeichnet wird, nicht im Fokus der Öffentlichkeit gestanden.

Zum einen kam es nicht zu dem prognostizierten großflächigen Waldsterben und zum anderen setzte eine Beruhigung der Öffentlichkeit ein, da die Maßnahmen zur Minderung der Schwefeldioxidemissionen bzw. Stickoxidemissionen als Hauptverursacher des Waldsterbens zum Tragen kamen. In Deutschland haben sich die Schwefeldioxidemissionen (SO_2) von 5321 kt im Jahr 1990 auf 795 kt im Jahr 2000 verringert. Die Stickoxidemissionen (berechnet als NO_2) gingen im gleichen Zeitraum von 2729 kt auf 1600 kt zurück (Umweltbundesamt 2003).

Auch wenn sich der Säureeintrag in den letzten Jahren drastisch verringert hat, bleibt dennoch der Jahrzehnte andauernde Säureeintrag als „Altlast“ in den Böden und Grundwasserleitern unter Wald erhalten. Die starke Filterwirkung des Waldes gegenüber Schwefel- und Stickoxidemissionen fördert hierbei den Säuretransfer von der Atmosphäre in das Waldökosystem inkl. Grundwasser erheblich.

Einträge von Säuren und säurebildenden Substanzen, insbesondere die Einträge von Schwefel und Ammoniumstickstoff können zu erheblicher Versauerung der Waldböden und des Sickerwassers

führen: Die Anionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen setzen im Boden basische Kationen wie Calcium, Magnesium und Kalium frei und werden zusammen mit diesen mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Diese anthropogen beschleunigte Bodenversauerung kann nicht nur zu Mangelernährung der Waldbäume, sondern auch zur Belastung des Grundwassers führen. Jahrzehntlang haben sich in vielen Waldböden versauernd wirkende Schwefel- und Stickstoffmengen angesammelt, die dort noch lange chemisch aktiv bleiben werden. Dies ist der „Treibstoff“ dafür, dass dort die Bodenversauerung – trotz Erfolgen der Luftreinhaltung – noch über Jahrzehnte fortschreiten wird.

Anhand einiger Fallbeispiele wird die Situation der hessischen Grundwässer unter Waldstandorten modellhaft erläutert.

Quelle Konnefeld (ID 6176)

Lage: Schwalm-Eder-Kreis,
Gemeinde Morschen

Hydrogeologie: Kluftgrundwasserleiter
Buntsandstein des Fulda-Berglandes mit
Knüll

Im Buntsandstein des Fulda-Berglandes mit Knüll dominieren Unterer und Mittlerer Buntsandstein. Im Norden dieser Untereinheit stehen auch paläozoische, insbesondere karbonatische Gesteine des Zechsteins an. Jüngere Gesteine vom Oberen Buntsandstein bis Keuper sind insbesondere in den NNO-SSW streichenden osthessischen Gräben erhalten geblieben.

Bei tieferen Bohrungen muss speziell im Bereich des Zechstein-Salzhangs örtlich mit hohen Chlorid- und Sulfatgehalten gerechnet werden. Ansonsten ist die Grundwasserbeschaffenheit typisch für Buntsandsteinwässer, die leicht sauer bis neutral sind sowie einen relativ geringen Lösungsinhalt aufweisen. Dabei sind die Karbonat- und Gesamthärte sowie die geogenen Chlorid- und Sulfatgehalte in den Wässern im Unteren Buntsandstein in der Regel etwas höher als im Mittleren Buntsandstein.

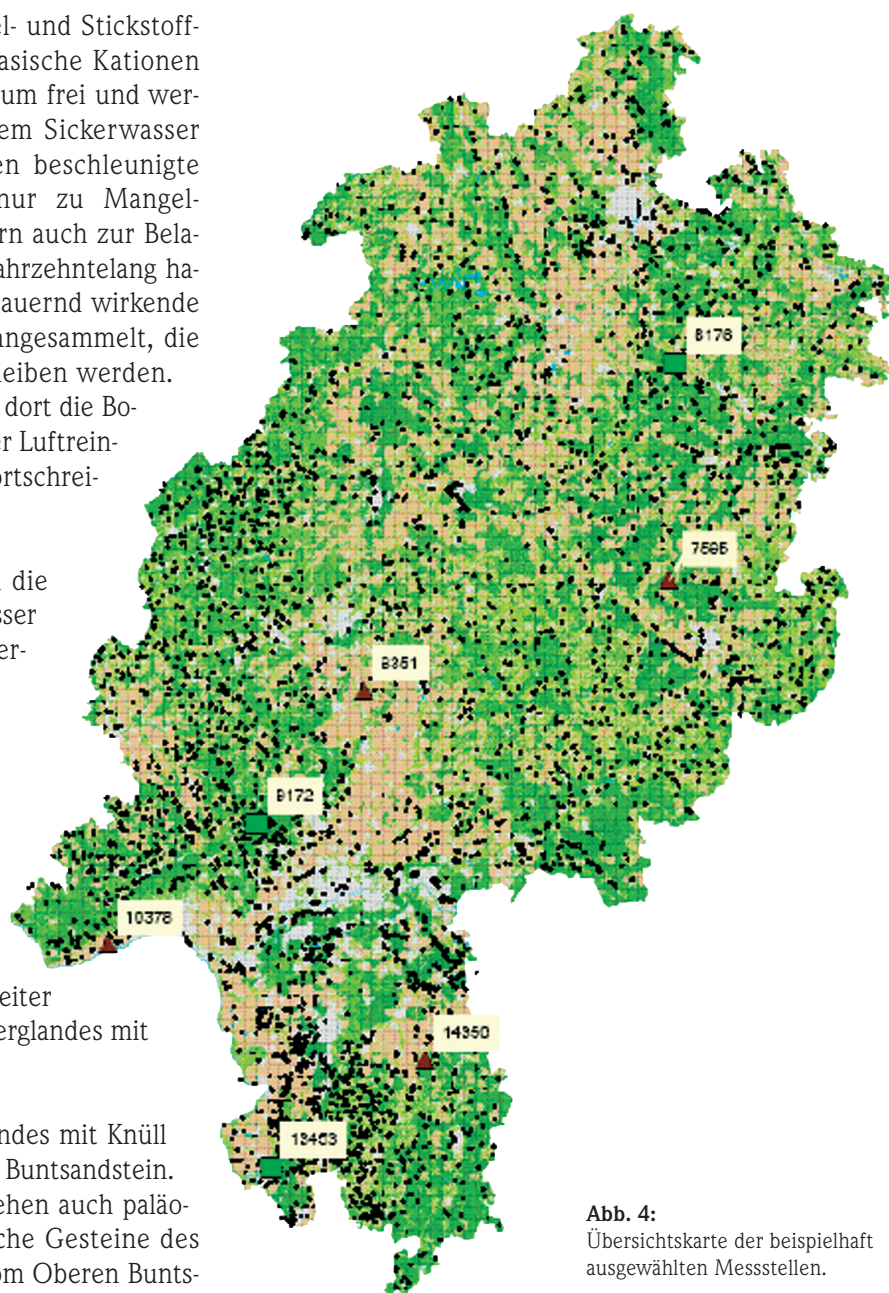


Abb. 4:
Übersichtskarte der beispielhaft
ausgewählten Messstellen.

Wie aus der Grafik 5 zu erkennen ist, bewegt sich der pH-Wert des Quellwassers, dessen Einzugsgebiet ausschließlich aus Wald besteht, durchweg im neutralen bzw. schwach alkalischen Bereich. Ein abnehmender Trend ist nicht erkennbar. Die Pufferfunktion im Grundwasserleiter wird durch das Vorhandensein von Hydrogencarbonat sichergestellt. Diese neutralisiert die Säureinträge aus der Luft.

Das Quellwasser ist auf Grund seiner Calcium- und Magnesiumgehalte als „mittelhart“ einzustufen. Die Gefahr einer zukünftigen Grundwasserversauerung ist sehr gering.

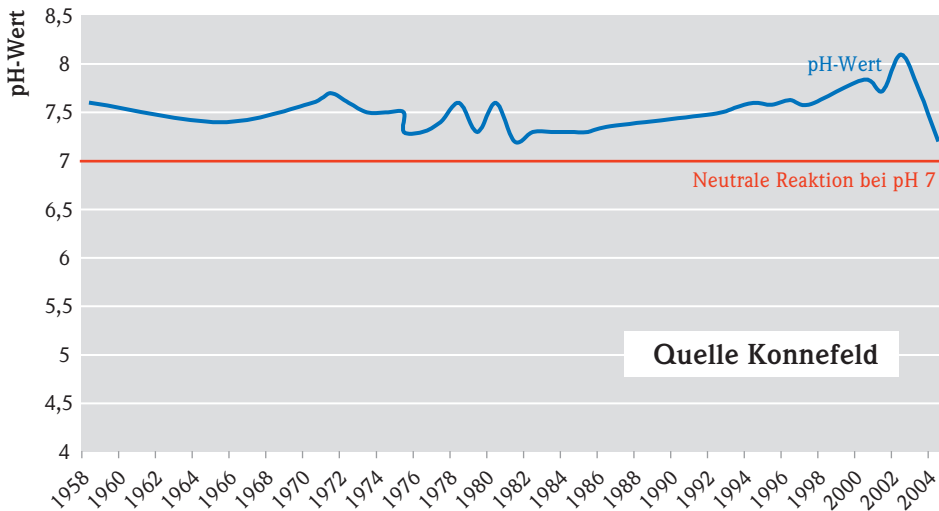


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte im Grundwasser der Quelle „Konnefeld“.

Weilquelle (ID 9172)

Lage: Hochtaunuskreis, Gemeinde Glashütten
 Hydrogeologie: Kluftgrundwasserleiter
 Rheinisches Schiefergebirge,
 Taunus

Im Rheinischen Schiefergebirge, zu dem in Hessen aus geologischer Sicht der Kellerwald, das Waldecker Upland, das Lahn-Dill-Gebiet und der Taunus gehören, treten paläozoische Gesteine an die Erdoberfläche.

Bei geringer tektonischer Beanspruchung sind die Gesteine des gefalteten Paläozoikums schlecht wasserwegsam. Die Grundwasserführung wird daher allein von der Trennfugendurchlässigkeit (auf Klüfte, Schieferungs- und Auflockerungsflächen bezogen)

bestimmt. Klüfte sind vor allem an tektonische Zerrüttungszonen und die Dehnungsbereiche der Sättel gebunden

Im Hochtaunus dominiert der Taunusquarzit, ein akzeptabler Grundwasserleiter. Das Grundwasser reagiert durchweg sauer und begünstigt wegen der fehlenden Pufferkapazität des Gesteins das Inlösunggehen von Aluminium, das aus Tonschieferzwischenlagen und Verwitterungsrückständen in den Klüften stammt. Das potentiell kontaminationsanfällige Grundwasser ist in der Regel sehr schwach mineralisiert.

Die pH-Werte des Grundwassers aus der Weilquelle (Abb. 6) liegen deutlich im saueren Bereich und zeigen damit deutlich die geringen Pufferkapazitäten

des Taunusquarzites auf. Dieser Puffer entscheidet maßgeblich darüber, ob und vor allem wie schnell sich der Einfluss der ständigen Säureeinträge aus der Luft bemerkbar macht. Bei pH-Werten <4,5 ist zudem mit einem verstärkten Freisetzung von Metal-

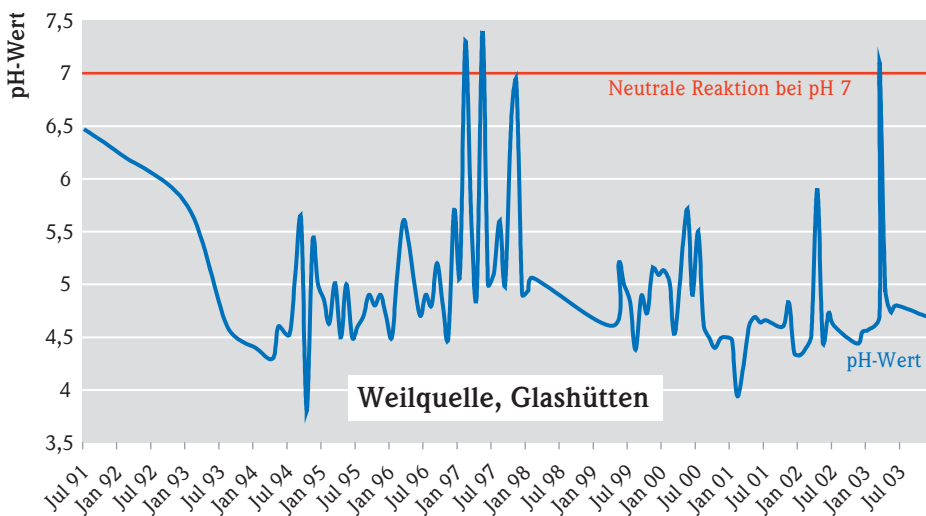


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte im Grundwasser der Weilquelle.

tionen, vornehmlich Aluminium, zu rechnen. Die Sprünge in der pH-Ganglinie, die durch die Witterung hervorgerufen werden, weisen zudem deutlich auf sehr kurze Verweilzeiten des Grundwassers hin. Damit einher geht eine hohe Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers.

Brunnen S2 des Wasserwerkes Bürstädter Wald (ID 13453)

Lage: Landkreis Bergstraße, Gemeinde Bürstadt
Brunnentiefe: 110 m unter Gelände
Hydrogeologie: Porengrundwasserleiter
Quartär des Oberrheingrabens

Der Oberrheingraben ist ein vom Alttertiär bis heute in Absenkung befindlicher großer Graben, der mit bis zu 2.500 m mächtigen Lockergesteinen gefüllt ist. Während die alttertiären bis miozänen Schichten wenig durchlässig sind, bilden die sandigen bis sandig-kiesigen plio-/pleistozänen Lockergesteinsfolgen einen guten Porengrundwasserleiter. Die durchschnittliche Mächtigkeit des Quartärs beträgt etwa 100 m, im nördlichen Teil dieser Einheit, die am Main endet, werden nur 30–40 m erreicht, in Rheinnähe etwa 50 m, vor dem Odenwald an der südlichen Landesgrenze jedoch 250 m.

Wegen der günstigen hydrogeologischen Bedingungen existieren im hessischen Anteil des Oberrhein-

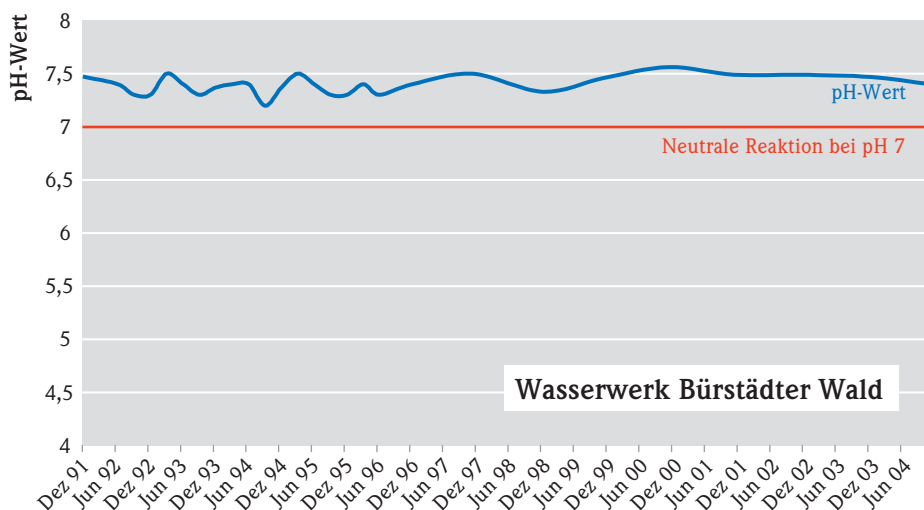
grabens zahlreiche Wasserwerke, die nicht nur den örtlichen Wasserbedarf decken, sondern auch Wasser in die Mangelgebiete in Odenwald, Taunus sowie in den Rhein-Main-Ballungsraum exportieren.

Das Grundwasser im Oberrheingraben ist meist mittelhart bis hart, in Rheinnähe im Mäanderbereich kommen oberflächennah örtlich auch sehr harte Grundwässer (um 30°dGH) vor. Häufig ist das Grundwasser auch eisenhaltig, höhere Eisengehalte treten besonders in der Umgebung der verlandeten moorigen Altläufe von Neckar und Rhein und auch im tieferen Untergrund auf. Nur in Teilen des Untermaingebietes ist das Grundwasser weich und eisenfrei.

Da der Oberrheingraben dicht besiedelt und stark industrialisiert ist, Straßen und Schienenwege gebündelt sind und das Gebiet landwirtschaftlich intensiv genutzt wird, ist das Kontaminationspotential für das Grundwasser besonders hoch.

Das Grundwasser aus großer Tiefe zeigt einen sehr homogenen Verlauf hinsichtlich seiner pH-Werte (Abb. 7), die konstant über den Neutralbereich liegen. Trotz seiner Lage inmitten eines Waldgebietes und einer erhöhten Emission von Säurebildnern im Ballungsraum Rhein-Main kann keinerlei Veränderung der pH-Gehalte im Grundwasser festgestellt werden. Hierfür sorgt vor allem die hohen Pufferkapazität dieses Grundwassers, das eine hohe Gesamthärte (18–19 Grad dt. Härte) aufweist.

Abb. 7:
Zeitlicher Verlauf der pH-Werte im Grundwasser eines Brunnens des Wasserwerkes „Bürstädter Wald“.



Gesamthärte

Die Gesamthärte wird durch die Summe der Erdalkalimetalle (überwiegend Calcium und Magnesium) bestimmt. Verbindungen mit Erdalkalien sind durchweg schwer wasserlöslich und fallen bei Erwärmung als Karbonate aus. Da die Härte einen großen Einfluss auf die Verwendung der Wässer hat, sind verschiedene Härtestufen definiert. Nach Die Wässer werden entsprechend ihrer Gesamthärtebereiche folgendermaßen eingeteilt:

<4 °dH	Gesamthärte	sehr weich
4–8 °dH	Gesamthärte	weich
8–12 °dH	Gesamthärte	mittelhart
12–18 °dH	Gesamthärte	etwas (ziemlich) hart
18–30 °dH	Gesamthärte	hart
>30 °dH	Gesamthärte	sehr hart

Innerhalb der hydrogeologischen Einheiten ist eine große Variabilität der Gesamthärten anzutreffen.

In der Darstellung (Abb. 8) wird das Verteilungsmuster bezüglich der Gesamthärte hessischer Grund- und Rohwässer dargestellt. Die sog. „Boxplots“ zeigen, wie auch innerhalb einer geologischen Einheit die Gesamthärten der einzelnen Brunnen und Quellen differieren.

Besonders weiche Wässer werden im Buntsandsteingebiet des Odenwaldes, im Basaltgebiet des Vogelsberges und im Rheinischen Schiefergebirge angetroffen. Im Quartär des Oberrheingrabens und im Quartär und Tertiär des Untermaingebietes werden durchweg etwas harte bis harte Grundwässer vorgefunden. Die Mehrzahl der hessischen Grundwässer kann allerdings den Bereichen „weich“ bis „mittelhart“ zugeordnet werden.

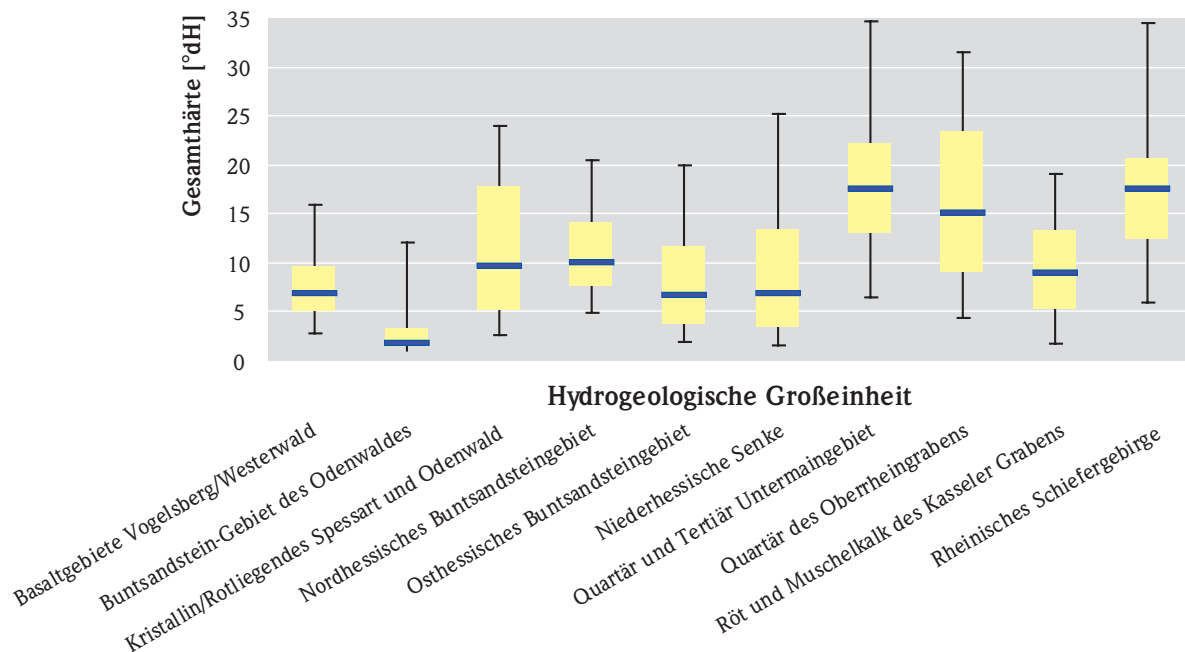


Abb. 8: Verteilungsmuster der Gesamthärte von hessischen Grund- und Roh-Wässern, unterteilt in hydrogeologische Großeinheiten.

Grundwasserqualität und Landnutzung

Neben den geologischen Grundbedingungen entscheidet die Art der Landnutzung vor allem über die Beschaffenheit des Grundwassers.

Bei Kenntnis der natürlichen Standorteignung für die landwirtschaftliche Nutzung (welche sich vor allem aus den Bodeneigenschaften ableitet) lässt sich in einem gewissen Umfang abschätzen, ob auch andere anorganische Verbindungen als Nitrat insbesondere im Zusammenhang mit Düngemaßnahmen verstärkt in den Sicker- und Grundwasserraum gelangen können, wobei vor allem Calcium und Magnesium auf der Seite der Kationen und Chlorid und Sulfat auf der Anionenseite von Interesse sind.

Ganz allgemein gilt: Je besser die Bewertung der Flächen hinsichtlich ihrer Eignung als Acker- oder Grünland ausfällt, um so besser ist die sog. „Bodengüte“, die durch die nutzbare Feldkapazität und das Nährstoffnachlieferungsvermögen bestimmt wird, aber auch durch das Kleinklima, die Hangneigung spielen hierbei eine Rolle.

Nitrat

Die Nitratkonzentration im Grundwasser ist nicht primär auf die hydrogeologischen Gegebenheiten zurückzuführen, da in Grundwasserleitern (organischer) Stickstoff nur eine sehr geringe Bedeutung hat. Deswegen kann Nitrat als einer der wichtigsten Indikatoren für eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers angesehen werden.

N-Verbindungen werden durch (mikrobielle) Redoxvorgänge gebildet bzw. abgebaut. Nitrate bilden sich bei der Mineralisation von organischen N-Verbindungen durch nitrifizierende Bakterien. Andererseits kann bei anaeroben Verhältnissen eine Reduktion des Nitrates bis hin zur Bildung von Ammonium bzw. Ammoniak erfolgen. Diese dissimilatorische NO_3 -Reduktion tritt vornehmlich bei geringen Sauerstoffgehalten bei gleichzeitiger Anwesenheit von bioverfügbarer organischer Substanz auf. Diese Prozesse sind gekoppelt an das Vorhandensein von leicht verfügbarem organischem Material. Damit besteht die Gefahr, dass die in der ungesättigten Bodenzone und im Grundwasserraum vorhandene organische Substanz durch den mikrobiellen

Nitratabbau allmählich verbraucht wird. Steht den Mikroorganismen keine Energie für die Nitratreduktion zu Verfügung, kommt es zwangsläufig zu einem sprunghaften Anstieg von Nitrat in bisher diesbezüglich unauffälligen Wässern.

Nitrat kann in einem Grundwasserleiter ebenfalls reduziert werden, wenn Pyrit oder Markasit (FeS_2) als festes Reduktionsmittel vorhanden ist. Durch diese Redox-Reaktion entstehen Sulfate, aus einem Nitratproblem kann somit ein Sulfatproblem werden.

Der größte Eintrag von Nitrat in das Grundwasser erfolgt im Zusammenhang mit der ackerbaulichen Flächennutzung. Das Nitrat stammt entweder aus der mikrobiellen Umwandlung der organischen Substanz der Böden oder aus den N-Düngergaben. Sandböden, die eine geringere Wasserspeicherkapazität als Lehm-, Löß- oder Tonböden haben, werden stärker und schneller ausgewaschen als diese. Vor allem unter Sonderkulturen (Weinbau, Gemüsebau) bzw. in Gebieten mit einem hohen Viehbesatz werden in den Grundwässern häufig hohe Nitratkonzentrationen beobachtet. Daneben wird der Nitratreintrag vor allem durch die Höhe der Grundwasserneubildung, das landwirtschaftliche Management (z.B. Höhe und Zeitpunkt der Stickstoffdüngung, Bedeckungsdauer bzw. N-Entzug des Pflanzenbestandes, Zwischenfruchtanbau) und das natürliche Stickstoffnachlieferungsvermögen (Menge an abbaubarer organischer Substanz) bestimmt. Auch im weiteren Grundwasserabstrom von Deponien und Altablagerungen werden häufig hohe Nitratkonzentrationen beobachtet.

Stickstoff kann außerdem aus der Luft in Form der nassen, feuchten oder trockenen Deposition eingetragen werden. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1992) variiert der Stickstoffeintrag in der BR Deutschland i.allg. zwischen 5–50 kg NO_3 -N pro Hektar und Jahr. Im südhessischen Raum wurden z.B. im Niederschlagswasser Nitratgehalte von bis zu 35 mg/l ermittelt, die vermutlich überwiegend auf Emissionen und Depositionen von Ammonium, das vornehmlich im Zusammenhang mit der Landwirtschaft entsteht (z. B. Austrag von Gülle), zurückgehen, z.T. aber auch auf die NO_x -Gehalte in der Abluft von Verbrennungsmotoren.

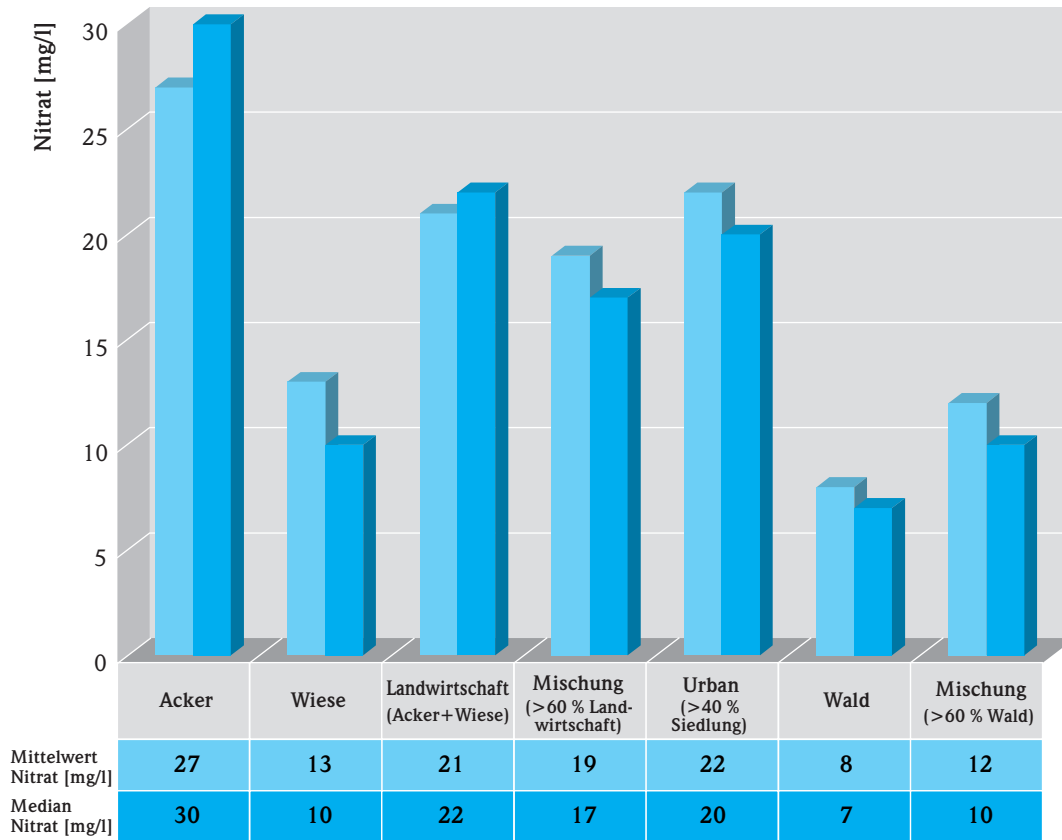


Abb. 9: Mittlere Nitratkonzentrationen der Grund- und Rohwässer von Hessen in Abhängigkeit von der Landnutzung im jeweiligen Einzugsgebiet

In der Abb. 9 werden „typische“ durchschnittliche Nitratgehalte für verschiedene Landnutzungsformen angegeben. Hierbei wird neben den Mittelwert auch der Median dargestellt, da dieser von extremen Werten nicht so sehr beeinflusst wird. Liegen Mittelwert und Median nahe beieinander, kann von einer homogenen Verteilung der Messwerte ausgegangen werden.

Es zeigt sich, dass unter Waldstandorten die geringsten Nitratkonzentrationen in den Grund- und Rohwässern anzutreffen sind. Nitratkonzentrationen um 8 mg/l können daher als natürlicher Background für Nitrat angesehen werden. Unter ackerbaulicher Nutzung werden die höchsten Nitratkonzentrationen in den Grund- und Rohwässern angetroffen. Im Durchschnitt liegen die Nitratgehalte unter Ackernutzung bei 27–30 mg Nitrat pro Liter.

Die hessische Situation hinsichtlich der Nitratgehalte der Grund- und Rohwässer wird in der Abb 10 dargestellt.

Diese zeigt die mittleren Nitratkonzentrationen der Grund- und Rohwässer pro Messstelle für den Zeitraum 2000–2006. Die Nitratgehalte sind in die Klassen 0–5 , >5–15 mg/l, >15–25, >25–50 und >50 mg/l NO₃ eingeteilt.

Höhere Nitratkonzentrationen (>25 mg/l) im Grundwasser sind in weiten Gebieten Hessens anzutreffen. Besonders in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Arealen wird oftmals der Grenzwert der Trinkwasseruntersuchungsverordnung von 50 mg/l überschritten. Dies gilt insbesondere für das Hessische Ried, das Untermain-Gebiet sowie teilweise für Flächen im Odenwaldgebiet.

Ein großer Teil der Grundwässer im Osthessischen Buntsandsteingebiet enthält ebenfalls nennenswerte Nitratkonzentrationen (> 15–25 bzw. >25–50 mg/l

Generell werden höhere Nitratkonzentrationen überall dort festgestellt, wo auch Ackerbau betrieben wird. Wenn jedoch reduzierende Verhältnisse vorlie-

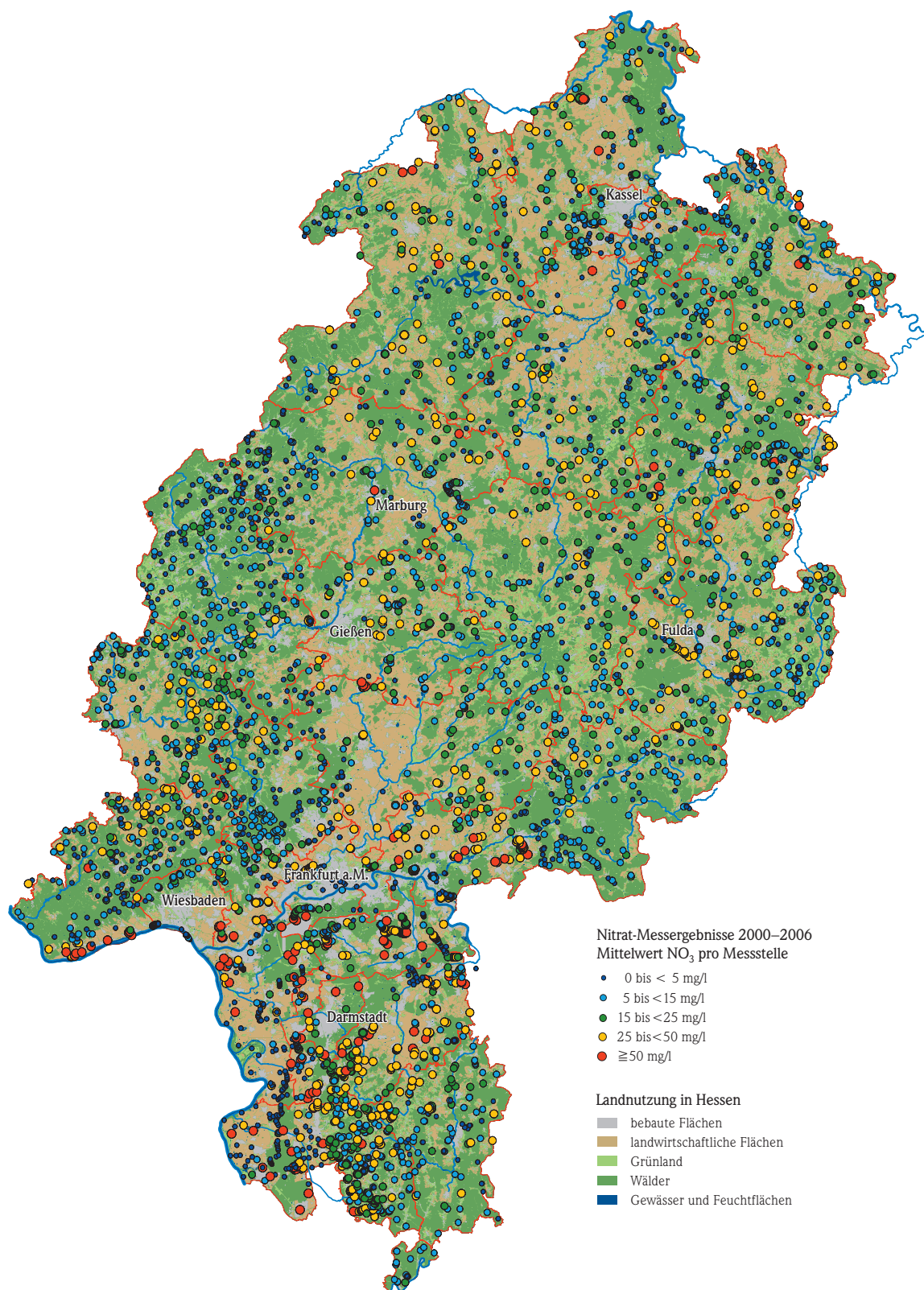


Abb. 10: Mittlere Nitratkonzentrationen der Grund- und Rohwässer von Hessen.

gen wird es schwierig, die auf die landwirtschaftliche Bodennutzung zurückgehende potentielle Grundwasserbelastung nachzuweisen.

Die Entwicklung der Nitratkonzentrationen in den hessischen Grund- und Rohwässern soll anhand einiger ausgewählter Messstellen verdeutlicht werden.

Tiefbrunnen Pfordt (ID 7595)

Lage: Kreis Vogelsberg, Gemeinde Schlitz
 Brunntiefe: 50 m unter Gelände
 Hydrogeologie: Kluftgrundwasserleiter
 Buntsandstein des Fulda-Berglandes
 mit Knüll

Der Tiefbrunnen Pfordt hat aus hydrogeologischer Sicht annähernd die gleichen Standorteigenschaften wie die Quelle Konnefeld. Das Einzugsgebiet des Brunnens wird allerdings durch die landwirtschaftliche Nutzung geprägt.

Der Einfluss der Landwirtschaft macht sich durch deutlich erhöhte Nitratkonzentrationen im Brunnenwasser bemerkbar und verdeutlicht den direkten Einfluss der Flächenbewirtschaftung auf die Grundwasserbeschaffenheit.

Die 15-jährige Messreihe der Nitratkonzentrationen (Abb. 11) gibt den Einfluss der landwirtschaftlichen Tätigkeit wieder. Die Nitratkonzentrationen liegen noch unterhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l Nitrat. Allerdings ist eine leicht steigende Tendenz der Nitratgehalte zu erkennen.

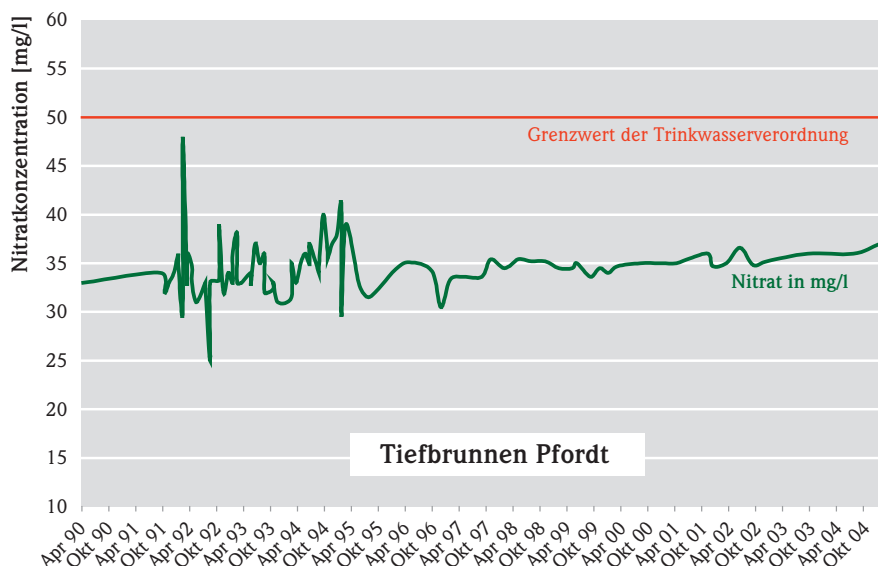


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentrationen im Brunnenwasser des Tiefbrunnens Pfordt.

Brunnen Gambach (ID 8351)

Lage: Wetteraukreis, Gemeinde Münzenberg
 Brunntiefe: 25 m unter Gelände
 Hydrogeologie: Kluftgrundwasserleiter
 Basalte des Vogelsberges

Geschlossene Basaltgebiete mit außerdem größerer Gesteinsmächtigkeit liegen in Hessen nur im Vogelsberg und im Westerwald vor.

Der Vogelsberg liegt in der nördlichen Fortsetzung des Oberrheingrabens im Bereich der südlichen Hessischen Senke in einem tektonisch stark beanspruchten Gebiet.

Im Allgemeinen sind nur die Basalte grundwasserleitend (Trennfugen, die beim Abkühlungsprozess der Laven und durch nachfolgende tektonische Beanspruchungen entstanden sind). Die einzelnen Basaltlagen sind Kluftgrundwasserleiter, die über tief greifende Verwerfungen und Basaltdurchbrüche mehr oder weniger in hydraulischer Verbindung miteinander stehen.

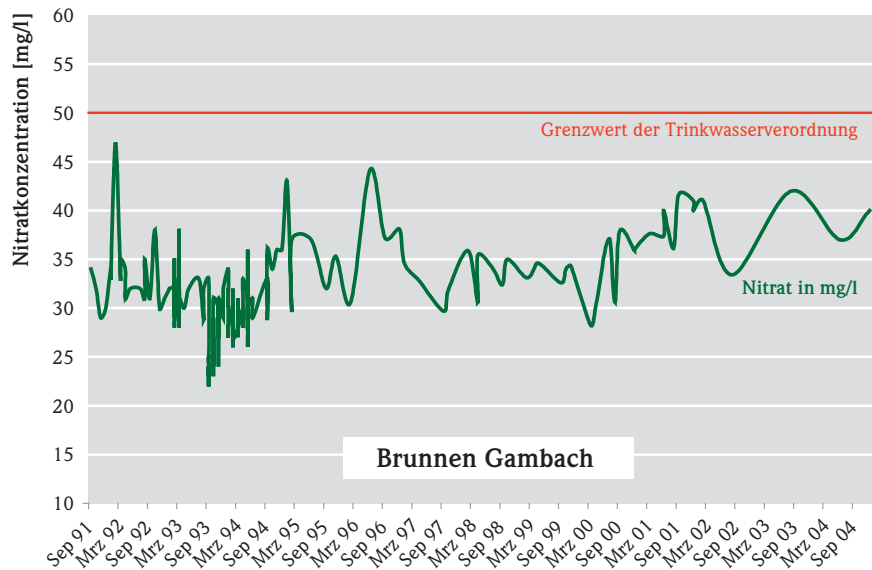
Am häufigsten tritt schwach basisches Erdalkali-Hydrogenkarbonat-Wasser auf. Die Lösungsinhalte sind im Allgemeinen niedrig.

Die Nitratganglinie des Brunnens Gambach (Abb. 12) weist eine wesentlich höhere Dynamik als die des Tiefbrunnens Pfordt auf. Dies ist auf die geringere Brunntiefe sowie die bessere (schnellere) Wasser-

bewegung im Grundwasserleiter zurückzuführen. Die Bewirtschaftungsweise der Flächen und das Wettergeschehen an der Oberfläche prägen den Nitratverlauf im Brunnenwasser. Die Nitratkonzentrationen liegen derzeit unterhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung, weisen aber einen deutlichen Anstieg in den letzten Jahren auf.

Abb. 12:

Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentrationen im Brunnenwasser des Brunnens Gambach.



Tiefbrunnen Oestrich (ID 14378)

Lage: Rheingau-Taunus-Kreis,
Gemeinde Oestrich-Winkel
Brunnentiefe: 18 m unter Gelände
Hydrogeologie: Porengrundwasserleiter
Tertiär und Quartär des Rheingaus
und der Mainspitze

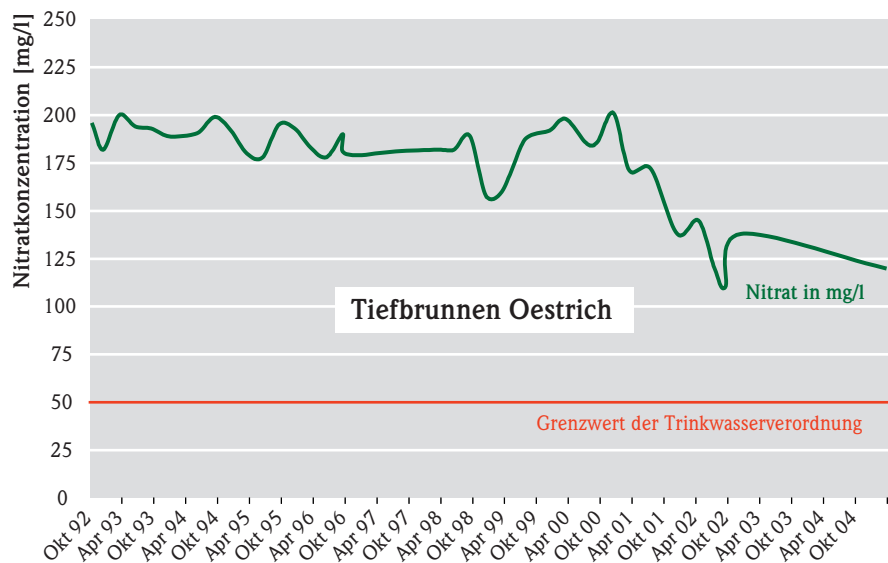
Das Tertiär und Quartär des Rheingaus und der Mainspitze, das den Mündungsbereich des Mains und vor allem den Rheingau umfasst, ist in sich in lithologischer Hinsicht sehr heterogen, da sie einerseits tertiäre Tone und Mergel (z. T. mit Kalksteinbänken) sowie Sande beinhaltet und andererseits Tone, Sande und z. T. Kiese aus dem Quartär. Soweit es sich um Grundwasser in tertiären Ablagerungen handelt, ist es etwas hart bis hart, in den quartären Terrassensedimenten muss wegen des Weinbaus mit erhöhten Sulfat- und Nitratgehalten gerechnet werden. Sehr stark mineralisierte Wässer sind an

Abb. 13:

Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentrationen im Brunnenwasser des Tiefbrunnens Oestrich.

Taunusrand-Störungen gebunden wie z. B. bei Wiesbaden, Eltville, Kiedrich oder Assmannshausen.

Die Nitratgehalte im Brunnenwasser aus Oestrich (Abb. 13) spiegeln die Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch die Sonderkultur „Weinbau“ wieder. Die Ursachen dieser hohen Nitratbelastung, weit oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung, resultieren aus der spezifischen Bewirtschaftungsweise (geringe Pflanzenanzahl pro Hektar, oft offene, unbedeckte Böden), der hohen klimatischen Gunst von Weinbaugebieten, die wiederum eine erhöhte Nitratfreisetzung aus den Böden be-



dingt sowie dem geringen Stickstoffzug der Weinreben. Die Veränderungen in der Bewirtschaftungsform hin zu dauerbegrünten Rebzeilen macht

sich allerdings in den letzten Jahren deutlich durch stark fallende Nitratkonzentrationen im Brunnenwasser bemerkbar.

Quelle Hering (ID 14350)

Lage: Landkreis Darmstadt-Dieburg,
Gemeinde Otzberg

Hydrogeologie: Kluftgrundwasserleiter
Kristallin des Odenwaldes

Das Grundwasser im Unteren und Mittleren Buntsandstein ist, besonders unter größeren Waldgebieten, überwiegend sehr weich bis weich, der pH-Wert liegt um 6,0. Auch in größeren Tiefen ist Buntsandsteinwasser in der Regel sauerstoffgesättigt. Das aus flachen Brunnen in der Talau stauende Buntsand-

steinwasser enthält dagegen in der Regel geringe Sauerstoffkonzentrationen und im Zusammenhang damit hohe Eisen- und Mangangehalte.

Das Einzugsgebiet der Quelle Hering wird landwirtschaftlich intensiv genutzt. Seit dem Jahr 1992 besteht eine Kooperation zwischen der Wasserversorgung und den Landwirten, die eine umweltgerechte, grundwasserschonende Landbewirtschaftung zum Ziel hat. Der Erfolg dieser Maßnahmen (Beratung der Landwirte, Modellversuche) zeigt sich anschaulich durch die kontinuierlich zurückgehenden Nitratkonzentrationen im Quellwasser (Abb. 14).

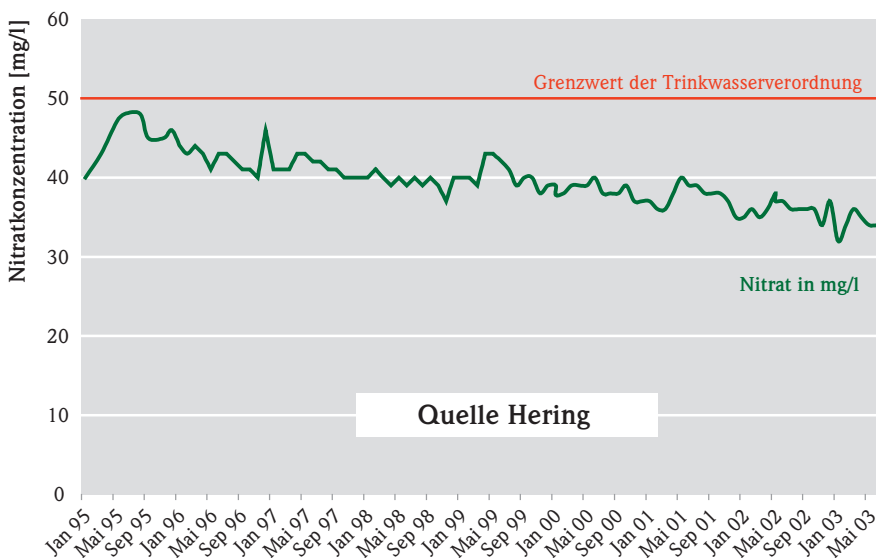


Abb. 14: Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentrationen im Grundwasser der Quelle Hering.

Pflanzenschutzmittel (PSM)

Pflanzenschutz wird betrieben, seitdem der Mensch Ackerbau betreibt. Das Wissen um Nützlinge und Schädlinge war bereits in vorchristlicher Zeit vorhanden. Bereits 1720 wurde Kupfersulfat als Beizmittel bei Getreide eingesetzt. 1939 wurde die kontaktinsektizide Wirkung chlorierter Kohlenwasserstoffe (DDT) entdeckt. Seit dieser Zeit wurde eine Vielzahl

von Mitteln entwickelt, die auf vielfältige Weise im Pflanzenschutz eingesetzt wurden/werden.

Auch bei Ausnutzung aller alternativen Möglichkeiten des Pflanzenschutzes kann heute auf den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM) nicht völlig verzichtet werden. Durch den Einsatz von chemi-

schen PSM kommt es daher zwangsläufig zu einer Belastung der Kompartimente Boden - Wasser - Luft. Ob ein oder mehrere Kompartimente eine Belastung durch PSM erfahren, hängt weitgehend von den Mitteleigenschaften des jeweiligen PSM ab. PSM können über das Sickerwasser die Bodenzone verlassen und in das Grundwasser gelangen.

In der Öffentlichkeit erregen vor allem PSM-Funde im Grundwasser großes Interesse, da dieses die Grundlage für das Lebensmittel Trinkwasser darstellt und somit jeder Mensch betroffen ist. In der Trinkwasserverordnung (1989) ist festgelegt, dass pro Liter Trinkwasser der Grenzwert von 0,1 µg/l pro Einzelwirkstoff bzw. 0,5 µg/l für die Summe aller PSM-Rückstände nicht überschritten sein darf. Neben Nitrat sind die Rückstandsmengen für Pflanzenschutzmittel bisher die einzigen Parameter, die in der EU-Wasserrahmen-Richtlinie mit einer Qualitätsnorm (Grenzwert 0,1 µg/l) belegt sind.

Alles, was Pflanzenschutzmittel gemeinsam haben, ist ihre Aufgabe, die Kulturpflanze zu schützen. Damit enden, überspitzt gesagt, die Gemeinsamkeiten.

In der Regel strukturiert man die Pflanzenschutzmittel nach Zielorganismen

Pilze	Fungizide
Insekten	Insektizide
Milben	Akarizide
Nematoden	Nematizide
Schnecken	Molluskizide
Nager	Rodentizide
Unkräuter	Herbizide

Das europäische und das deutsche Pflanzenschutzrecht gewährleisten, dass nur auf ihre Umweltauswirkungen geprüfte Pflanzenschutzmittel in den Verkehr gebracht werden und dass unter anderem durch verbesserte Anwendungstechnik die Abdrift vermindert und so der Eintrag der Pflanzenschutzmittel in benachbarte Biotop und Gewässer verringert wird. Im Rahmen der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sind seit 1987 weit über 200 Wirkstoffe und mehr als 1200 Mittel geprüft worden. Die Zahl der gebräuchlichen Wirkstoffe liegt heute bei 269, die Grundlage für die Herstellung von z.Zt. 928 zugelassenen Pflanzenschutzmitteln sind.

Der Absatz an Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen sank in Deutschland bis 1993 auf 29 000 t. Seit

1994 ist im Wirkungsbereich der Herbizide ein Anstieg zu verzeichnen, der im Wesentlichen auf die Wiederinkulturnahme von stillgelegten Flächen, die Umstellung der Landwirtschaft in den neuen Ländern und auf witterungsbedingte Schwankungen zurückzuführen ist. Seit 1998 deutet sich ein Rückgang in der abgesetzten Gesamtwirkstoffmenge an, der jedoch noch in den nächsten Jahren bestätigt werden muss (Umweltbundesamt 2003).

Innerhalb der PSM nehmen die Herbizide eine besondere Stellung ein, da Herbiziden aufgrund ihrer Ausbringungsmenge, Ausbringungsart (oft ist eine direkte Applikation auf den Boden erforderlich bzw. teilweise sogar ein leichtes Einarbeiten in den Boden) und Mitteleigenschaften eine besondere Rolle hinsichtlich der Grund- und Rohwassergefährdung zukommt.

Mögliche Eintrittspfade für PSM in den Grundwasserraum

- Der **flächenhafte (diffuse) PSM-Eintrag** in das Grundwasser kann überwiegend als Folge einer nicht ordnungs- und standortgemäßen landwirtschaftlichen Bodennutzung angesehen werden. Vor allem Atrazin, dessen Abbauprodukte sind nämlich flächenhaft im Grundwasser vorhanden.
- Ein **lokal begrenzter Eintrag von PSM** in das Grundwasser konnte im Bereich von Ortslagen ermittelt werden. In Kleingärten und öffentlichen Anlagen werden Wege und Plätze häufig durch den Einsatz von Totalherbiziden frei von Unkrautbewuchs gehalten. Dabei wird das „notwendige Maß“ häufig erheblich überschritten
- Linienförmige Einträge von PSM** in das Grundwasser konnten im Abstrombereich einer Gleisanlage festgestellt werden. Die Bahn muss aus Sicherheitsgründen den Gleisbereich von Bewuchs freihalten. Dazu setzt sie Totalherbizide ein
- Ein weiteres Problem stellen **punktueller Grundwasserbelastungen durch PSM** dar. Die Ursache für eine solche punktuelle Belastung kann neben der Entsorgung von Restbrühen auch das unsachgemäße Befüllen der Feldspritzen vor Ort sein.

Zeitliche Entwicklung

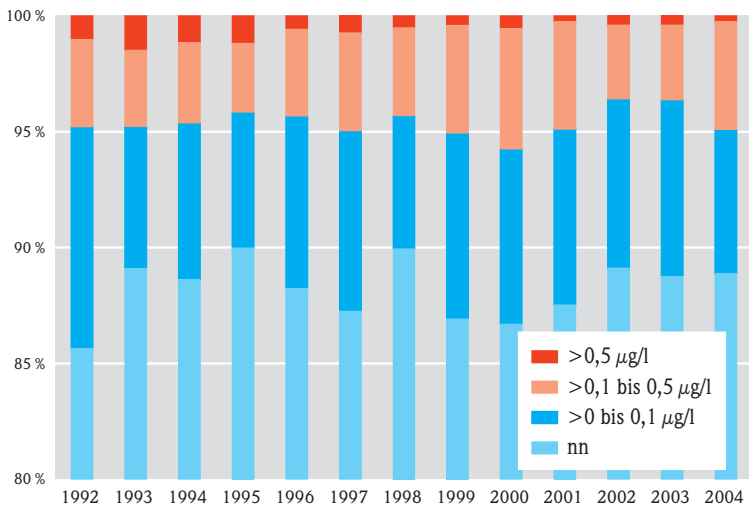


Abb. 15: Entwicklung der PSM-Rückstände in hessischen Roh- und Grundwässern.

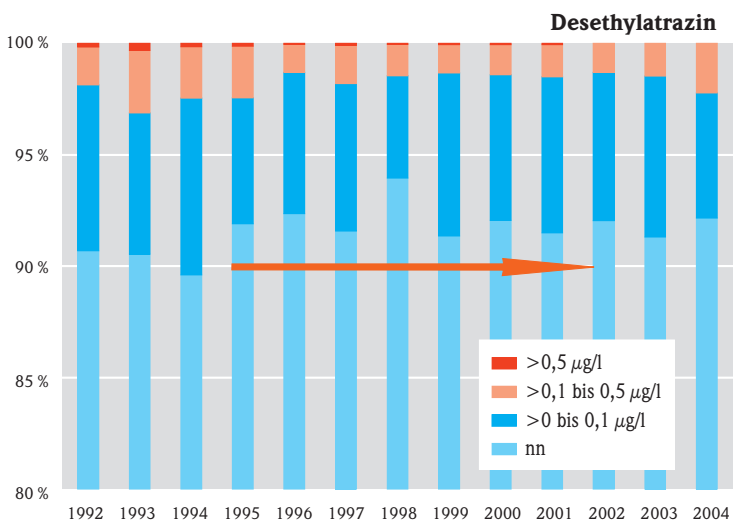
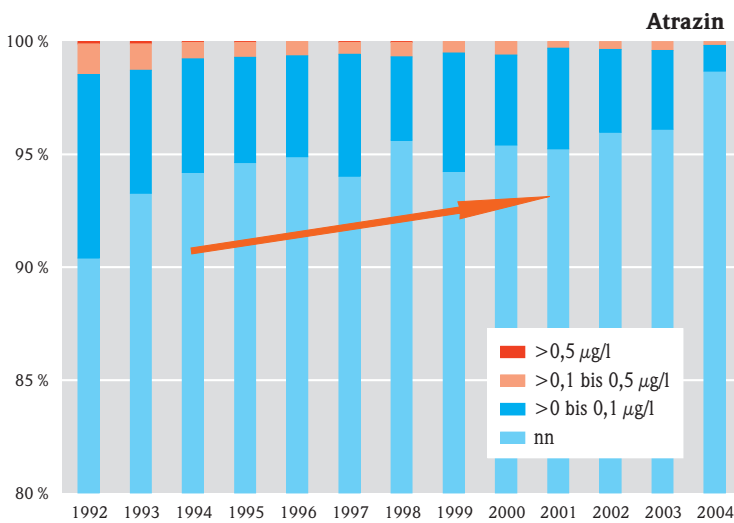


Abb. 17: Entwicklung der Atrazin- bzw. Desethylatrazin-Rückstände in hessischen Roh- und Grundwässern.

Von 1992 auf 2004 ist der Anteil von Wässern ohne positive PSM-Befunde von 86 % auf 89 % gestiegen. Derzeit weisen 11 % aller Wässer aus Grund- und Rohwassermessstellen Rückstände von PSM auf. In ca. 5 % der Wässer aus Grund- und Rohwassermessstellen wird der Grenzwert von 0,1 µg/l pro Einzelwirkstoff bzw. 0,5 µg/l für die Summe aller PSM-Rückstände überschritten. Hierbei ist zu beachten, dass Grund- und Rohwasser nicht mit Trinkwasser gleichzusetzen ist. Durch die Aufbereitung des Rohwassers wird eine weitgehende Eliminierung der PSM in Trinkwasser erreicht.

PSM-Nachweise über dem Summengrenzwert der Trinkwasserverordnung von 0,5 µg/l konzentrieren sich auf den Großraum Frankfurt und das Hessische Ried (Abb. 18). Dabei handelt es sich einerseits um linienförmige Quellen wie insbesondere Gleisanlagen und versickernde belastete oberirdische Gewässer und andererseits um eine flächenhafte Ausbringung von PSM durch die Landwirtschaft.

In der Regel trifft man in diesen Gebieten mächtige sandige bis kiesig-sandige Porengrundwasserleiter an, die Flurabstände sind in weiten Teilen gering. Da die aus den Ausgangsgesteinen entstandenen Böden außerdem eine geringe Sorptionskapazität für PSM aufweisen, bedeutet dies alles in allem eine geringe Verweilzeit der Schadstoffe in der ungesättigten und gesättigten Zone des Grundwasserleiters und somit nur eine geringe Zeitspanne für einen eventuellen Abbau der PSM-Wirkstoffe im Untergrund. Die Ballungsräume Rhein-Main und Rhein-Neckar weisen zudem die höchste Besiedlungsdichte in Hessen auf und sind durch eine starke Bündelung sehr vieler Verkehrswege gekennzeichnet. Schließlich kommt hinzu, dass im Hessischen Ried aufgrund der klimatischen Gunst und der idealen Bodenverhältnisse für Sonderkulturen (leichte, sandhaltige Böden) eine intensive Landwirtschaft betrieben wird. Die Summe

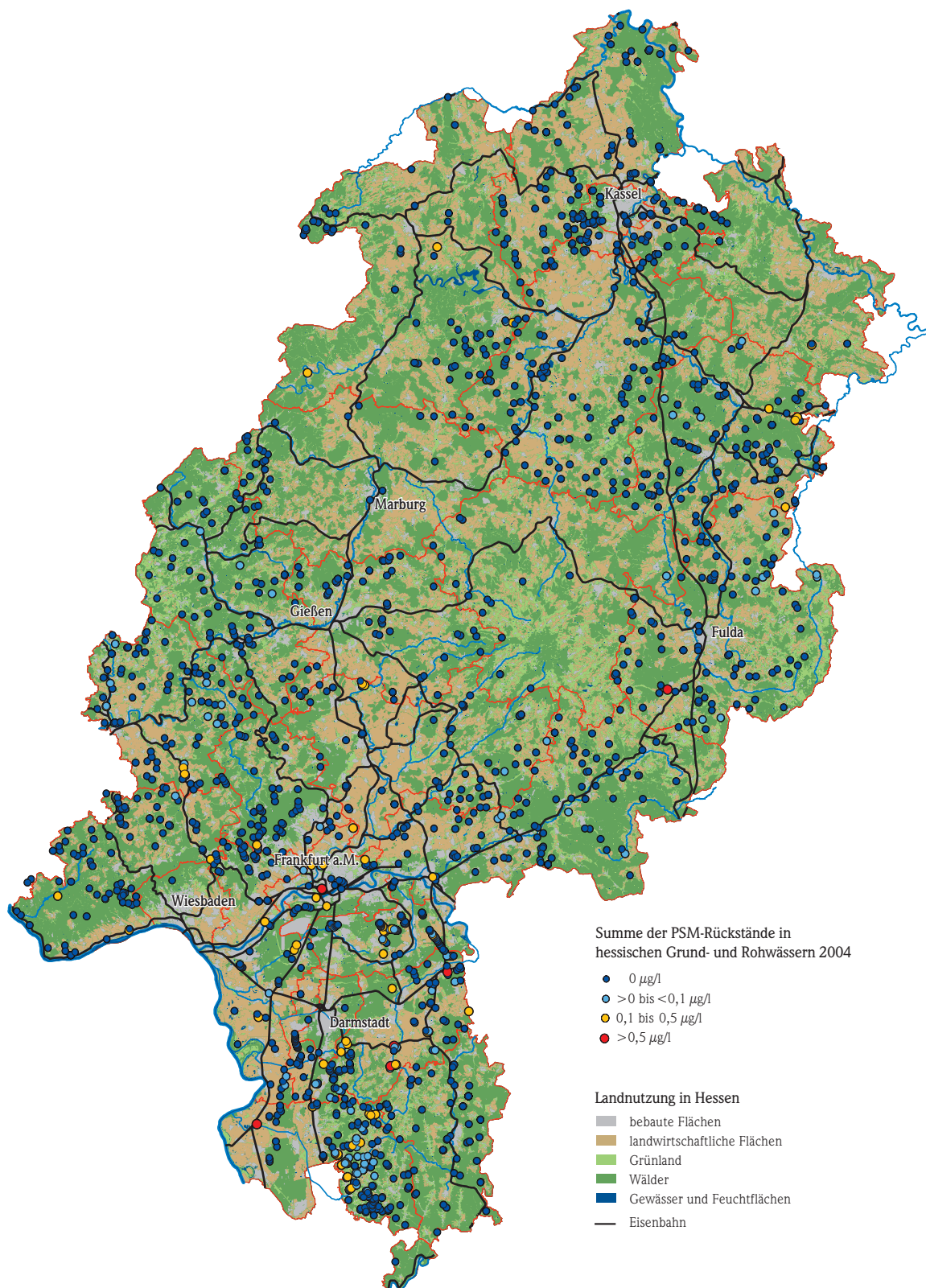


Abb. 18: Pflanzenschutzmittel-Rückstände in hessischen Grund- und Rohwässern.

aller genannten Faktoren führt dazu, dass gerade diese Gebiete ein hohes Verunreinigungspotential gegenüber dem Grundwasser darstellen.

Wie aus der Abb. 17 zu ersehen ist, geht die Belastung der hessischen Grund- und Rohwässer mit Atrazinrückständen kontinuierlich zurück. Für das

Abbauprodukt ist diese positive Entwicklung derzeit nicht erkennbar.

Atrazin wurde vorwiegend in der Landwirtschaft bzw. zur Freihaltung von öffentlichen Flächen eingesetzt. Für diesen Wirkstoff lief Ende 1990 die Zulassung aus. Abgesehen von illegalen Atrazinanwendungen handelt es sich daher bei den Atrazin- bzw. Desethylatrazinfindungen (Abbauprodukt von Atrazin ausschließlich um Altlasten dieser Verbindungen).

Atrazin weist eine sehr gute Verträglichkeit zu Mais auf (wirkt gegen dikotyle Pflanzen), hat jedoch auch eine beträchtliche Dauerwirkung im Boden. Dies führt zu Problemen, wenn anschließend andere (auf Atrazin empfindlich reagierende) Kulturen angebaut werden. Dies hatte zur Folge, dass über viele Jahre die gleichen Flächen mit Mais bestückt und mit Atrazin behandelt wurden

Parameterspektrum

Es zeigte sich, dass bei einem positiven PSM-Befund im Grund- und Rohwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit die Stoffe Atrazin, Desethylatrazin, Propazin, Simazin, Bentazon, Bromacil, Hexazinon, MCPA, Mecoprop Chlortoluron, Diuron und Isoproturon vertreten sind.

Da Atrazin, Propazin, Simazin, Bromacil, Hexazinon schon seit Jahren keine Zulassung durch die Biologische Bundesanstalt mehr besitzen, handelt es sich bei vielen häufig nachgewiesenen PSM bereits um „Altlasten“.

Allgemein ist festzustellen, dass der Anteil der relativ schwer fettlöslichen PSM-Wirkstoffe abnimmt. Damit sinkt die Gefahr einer Anreicherung von Rückständen in den Fettgeweben von Lebewesen. Durch die Zunahme von polaren Wirkstoffen bzw. Mittel mit vielen funktionellen Gruppen steigt jedoch allgemein die Geschwindigkeit, mit der diese Mittel Lebensräume und Lebensprozesse durchlaufen. Eine Abtrennung dieser polaren Wirkstoffe aus dem Rohwasser mittels Aktivkohlefilter gestaltet sich zudem sehr schwierig.

Generell ist festzustellen, dass dem Boden die höchste Schutzfunktion für das Grund- und Rohwasser zukommt. Überall dort, wo die Rückhaltekraft des Bodens für PSM eingeschränkt ist (natürlich bedingt durch sorptionsschwache Standorte, Verlagerung durch Makroporen, Bypass-Effekte oder künstlich durch die Entfernung des Mutterbodens verursacht), wird ein Eintrag von PSM in das Grund- und Rohwasser nachgewiesen.

Da dem Boden die größte Rückhaltewirkung hinsichtlich der PSM zukommt, sollten bei Zulassungsverfahren die in situ-Bodeneigenschaften der Standorte bei der Zulassung von PSM stärker gewichtet werden als bisher üblich.

Auf auswaschungsgefährdeten Standorten muss durch enge Zusammenarbeit von PSM-Anwendern und Wasserwirtschaft und der Officialberatung die PSM-Anwendung weiter eingeschränkt werden. Mit Hilfe einer gut organisierten Beratung und Aufklärung dürfte es möglich sein, einen großen Teil der PSM-Einträge, die durch unsachgemäße Handhabung verursacht wurden, in Zukunft zu verhindern, jedenfalls zu minimieren.

Literatur

SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Aufl. – 220 S., Stuttgart (F. Enke).

Umweltbundesamt (2003): Umweltdaten Deutschland 2002, 57 S., Berlin.