



# Grundwasserbericht Rheinland-Pfalz 2007

Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz

## ■ Impressum

### Grundwasserbericht 2007

ISBN 978-3-933123-18-3

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (MUVF)  
Kaiser-Friedrich-Str. 1 • 55116 Mainz

Autoren:

Jochen Kampf, Wolfgang Plaul, Wolfgang Schwebler  
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)  
Kaiser-Friedrich-Straße 7 • 55116 Mainz

Grafische Gestaltung/Satz: Tatjana Schollmayer (LUWG)

Herstellung: LUWG

Bezugsadresse:

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)  
Kaiser-Friedrich-Straße 7 • 55116 Mainz

Auflage: 150 Exemplare

Schutzgebühr: 5,- €

Auch kostenlos als Download erhältlich unter:

<http://www.mufv.rlp.de/service/presse/publikationen.html>

<http://www.luwg.rlp.de>

© 2007, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz;  
Kaiser-Friedrich-Str. 1; 55116 Mainz

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

## Vorwort

Die Grundwasservorkommen in Rheinland-Pfalz haben eine große Bedeutung zur Versorgung der Bevölkerung und der Wirtschaft mit Trink- und Brauchwasser. Zu 95 % wird die Trinkwasserversorgung in unserem Land durch die Gewinnung von Grundwasser gedeckt. Das Grundwasser ist ein gesetzlich gesichertes Schutzgut. Das bedeutet, dass es nicht nur in Einzugsgebieten von Wassergewinnungsanlagen geschützt ist, sondern als Bestandteil des Wasserkreislaufs und wegen seiner bedeutenden ökologischen Funktion einen ganzheitlich flächenhaften Schutz genießt.

Die Wege des Wassers werden durch die naturräumlichen Gegebenheiten bestimmt. Kein Wunder also, dass auch der natürliche Wasserkreislauf nicht an staatlichen Grenzen Halt macht. Umso wichtiger ist es, für die Nutzung und die Bewirtschaftung der Gewässer und nicht zuletzt ihren Schutz auf europäischer Ebene über Staatsgrenzen hinweg ein gemeinsames Verständnis zu entwickeln. Zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik ist die „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates (EG-WRRL) am 22.12.2000 in Kraft getreten. Die **Wasserrahmenrichtlinie** verfolgt im Wesentlichen zwei Zielsetzungen:

1. Abbau der Defizite und Inkonsistenzen der bisherigen Regelungen und Aufbau einer modernen europäischen Wasserpolitik durch die Schaffung eines Ordnungsrahmens für eine kohärente und nachhaltige Wasserwirtschaft.
2. Erreichung eines mindestens „guten Zustands“ der Oberflächengewässer und eines „guten quantitativen und chemischen Zustands“ des Grundwassers der Europäischen Union. Für künstliche und erheblich veränderte Gewässer ist das „gute ökologische Potenzial“ zu erreichen.

Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** – trifft als Rahmengesetz des Bundes grundlegende Bestimmungen über wasserwirtschaftliche Maßnahmen

(Wassermengen- und Wassergü-  
tebewirtschaftung). Das Wasserhaus-  
haltsgesetz wird durch die von  
den Bundesländern erlassenen  
Landeswassergesetze konkre-  
tisiert. Das **Landeswassergesetz**  
(LWG) Rheinland-Pfalz regelt  
die Benutzung der Gewässer.

Ein gut organisiertes Überwachungsprogramm, das die Ist-Situation des Grundwassers dokumentiert und Entwicklungstrends auch vor dem Hintergrund möglicher Auswirkungen des Klimawandels aufzeigt, ist als Controlling-Instrument zu verstehen. Als solches ist es eine unverzichtbare Grundlage für eine nachhaltige umweltgerechte Grundwasserbewirtschaftung und den vorbeugenden qualitativen Grundwasserschutz. In diesem Zusammenhang kommt dem Berichtswesen ein besonderer Stellenwert zu.

Der vorliegende Grundwasserbericht 2007 soll allen am Thema Grundwasser interessierten Leser/-innen einen kompakten Überblick über die Themengebiete „Wasserhaushalt, Grundwasserüberwachung“, „Klima- und Grundwassersynopse“ sowie „Grundwasserbeschaffenheit und Grundwasserschutz“ ermöglichen. Lesenswert sind aber auch die Beiträge „Rhein als Trinkwasserlieferant“ sowie „Baggerseen und Grundwasser“.

Den Autoren, die aus ihren Aufgabenfeldern die Textbeiträge für den Grundwasserbericht 2007 zusammen gestellt haben, gilt mein Dank.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und Aha-Erlebnisse beim Leseausflug zum unsichtbaren Schatz Grundwasser.



Margit Conrad  
Staatsministerin für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz

Mainz, im November 2007



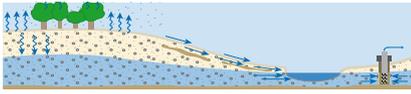


# Inhalt



1 Einleitung und Zusammenfassung 7

---



2 Wasserkreislauf und Grundwasser 9

---



3 Grundwasserüberwachung 17

---



4 Grundwasserneubildung 29

---



5 Klima- und Grundwassersynopse 35

---



6 Grundwasserbeschaffenheit 49

---



7 Grundwasserschutz 69

---



8 Der Rhein als Trinkwasserlieferant 75

---



9 Baggerseen und Grundwasser 81

---



10 Literatur 85

---



## 1 Einleitung und Zusammenfassung



Der **Wasservorrat** der Erde untergliedert sich in 97 % Salzwasser und 3 % Eis bzw. flüssiges Süßwasser. Fast der gesamte Vorrat an flüssigem Süßwasser ist als Grundwasser gespeichert. Bevorratung und natürliche Beschaffenheit des Grundwassers hängen maßgeblich vom geologischen Aufbau des Untergrundes ab. Porengrundwasserleiter wie die Vorderpfälzische Rheinebene sind für die Wassergewinnung wesentlich ergiebiger als die Kluffundwasserleiter des Schiefergebirges.

Die Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie macht eine Überarbeitung der Konzeption der Landesmessnetze zur **Überwachung** von Grundwassermenge und -beschaffenheit erforderlich. Derzeit werden rd. 800 Messstellen quantitativ und rd. 300 qualitativ beobachtet.

Rheinland-Pfalz ist ein grundwasserreiches Land. Dennoch führen die geologischen und klimatischen Gegebenheiten zu einer Ungleichverteilung der Grundwasservorkommen. Im vorliegenden Bericht wird eine Zustandsbeschreibung der lebensnotwendigen Ressource Grundwasser hinsichtlich Menge, Beschaffenheit und Schutz gegeben.

Zur nachhaltigen Bewirtschaftung des Grundwassers ist es erforderlich, die **Grundwasserneubildung** flächendeckend und flächendifferenziert zu ermitteln. Hierzu wurde ein Modell auf der Grundlage von Abflussmessungen entwickelt. Die mittlere Neubildung beträgt für Rheinland-Pfalz durchschnittlich 102 mm/a bzw. 2.024 Mio m<sup>3</sup>/a.

Für den Zeitraum 2000 bis 2006 wurde eine **Klima- und Grundwassersynopse** erstellt. Die klimatischen Wasserbilanzen für sechs repräsentative Regionen im Land wurden auf Monatsbasis berechnet und zeigen auf, dass nach den niederschlagsreichen Jahren 2000 bis 2002 die darauffolgenden Jahre bis 2006 vorwiegend von einer negativen Wasserbilanz gekennzeichnet waren, d. h., in diesem Zeitraum hat fast keine Erneuerung des Grundwassers stattgefunden.

Die **Beschaffenheit des Grundwassers** wird anhand der Parameter Nitrat, Pflanzenschutzmittel und Wasserhärte beschrieben. Auf Grund der gebietsweise intensiven landwirtschaftlichen Flächennutzung ist das oberflächennahe Grundwasser mit Nitrat belastet. Trotz rückläufigem Düngemiteleinsatz ist noch keine durchgreifende Verbesserung hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwassers zu erkennen. Die Belastung durch Pflanzenschutzmittelwirkstoffe stellt in Rheinland-Pfalz kein prioritäres Problem dar.



Grundwasseraustritt: Sickerquelle

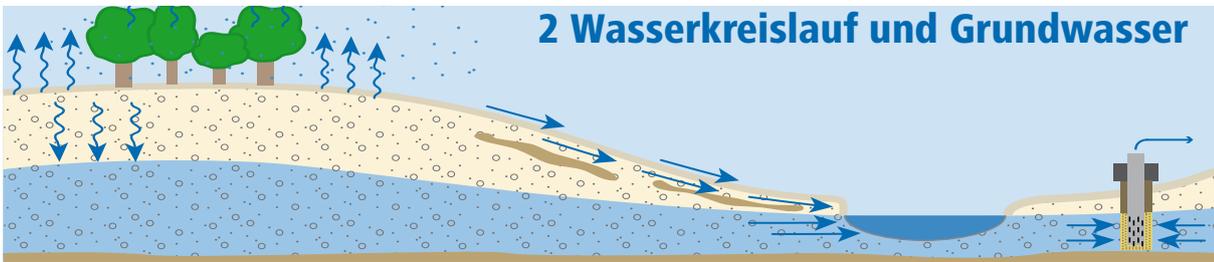
# 1 Einleitung und Zusammenfassung

Sowohl die Anzahl der Befunde als auch gemessene Konzentrationen sind rückläufig. Ein charakteristischer Parameter zur Beschreibung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit ist die Gesamthärte. Sie schwankt in Folge vielgestaltiger hydrogeologischer Verhältnisse im Land zwischen 1° dH und 50° dH.

Durch die Abgrabung von Sand- und Kieslagern in den Quartärgebieten des Landes entstehen Baggerseen. Das freigelegte Grundwasser ist durch fehlende schützende Bodenschichten anfällig für Verunreinigungen.

Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebiete dienen dem **Grundwasserschutz**. Etwa 8 % der Landesfläche sind mit Schutzgebieten belegt. Neben der Nutzung von „echtem“ Grundwasser zur Trinkwasserversorgung werden rd. 20 % des Trinkwassers aus Brunnen entnommen, die in Rheinnähe angeordnet sind und überwiegend Rheinuferfiltrat fördern. Auf Grund seiner guten Wasserqualität ist der **Rhein** seit vielen Jahren ein wichtiger **Trinkwasserlieferant** geworden.





## ■ Der scheinbare Überfluss an Wasser

Der Blick aus dem Weltraum zeigt eindrucksvoll: Gut zwei Drittel der Erdoberfläche erscheinen blau, sind also mit Wasser bedeckt (Abb. 2.1).

Doch der vermeintliche Überfluss an Wasser täuscht, denn rd. 97 % des Wasserschatzes der Erde besteht aus Salzwasser in den Ozeanen und Meeren. Auf Grund des hohen Salzgehaltes stehen diese enormen Wassermengen dem Menschen aber nicht ohne Weiteres zur Deckung seines Trinkwasserbedarfs zur Verfügung.

Der Süßwasservorrat der Erde beträgt lediglich rd. 3 % des gesamten Wasservorkommens. Zwei Drittel der Süßwasservorräte sind im Polareis und in den Gletschern gebunden und lediglich ein Drittel des Süßwassers ist flüssig.

Von den flüssigen Süßwasserreserven der Erde liegen rd. 97 % als Grundwasser unterirdisch gespeichert vor und nur rd. 2 % sind als Flüsse und Seen für das Auge sichtbar (Abb. 2.2).



Abb. 2.1 Blick aus dem Weltraum (Bildquelle NASA)

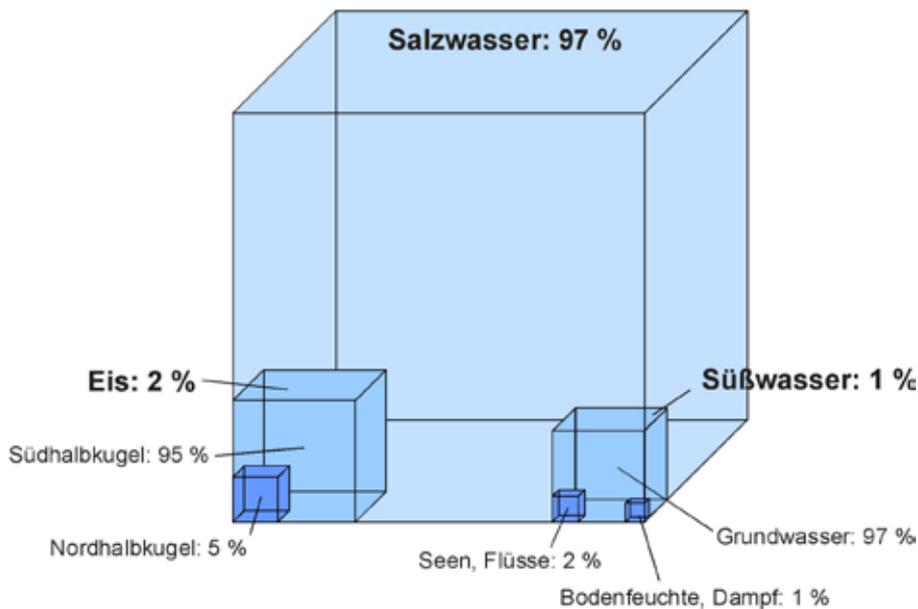


Abb. 2.2 Wasservorrat der Erde

## 2 Wasserkreislauf und Grundwasser

### ■ Kein Tropfen geht verloren

Wasser kann – global gesehen – nie zur Neige gehen. Unser Wasserschatz ist begrenzt und nicht vermehrbar. Die natürliche Zirkulation von Wasser zwischen den Meeren, der Atmosphäre und dem Land über die Komponenten Verdunstung, Niederschlag und Abfluss, bildet den Wasserkreislauf der Erde.

Der „Rohstoff“ Wasser ist nicht zu vergleichen mit Öl oder Kohle. Diese gehen, weil der Mensch sie ausbeutet und verbraucht, früher oder später zur Neige. Wasser gebrauchen wir. Nach Gebrauch fügt es sich wieder in den Wasserkreislauf ein.

Der Wasserkreislauf in den verschiedenen Klimazonen der Erde kann sich in seinen Wasserbilanzkomponenten stark unterscheiden (Abb. 2.3). In semiariden Klimazonen (Gebiete, in denen die Jahresniederschlagsmenge meist geringer ist als die Jahresverdunstungsmenge) findet kaum Grundwasserneubildung statt, da das wenige Sickerwasser nach gelegentlichen Niederschlägen die trockene (ungesättigte) Bodenzone nur selten durchdringt und daher die Grundwasservorräte kaum aufgefüllt werden. In humiden bzw. semihumiden Klimazonen sind die jährlichen Niederschläge größer als die jährliche Verdunstung,

damit kommt ein Teil des Niederschlags zum Abfluss und zur Versickerung ins Grundwasser.

Grundwasser zirkuliert im oberen Teil der Erdkruste und stellt den unterirdischen und unsichtbaren Teil des Wasserkreislaufs dar.

Grundwasser wird in der DIN 4049 als unterirdisches Wasser definiert, „das die Hohlräume der Erdkruste zusammenhängend ausfüllt. Seine Bewegung wird ausschließlich oder nahezu ausschließlich durch die Schwerkraft und die durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräfte bestimmt“.

Grundwasser entsteht größtenteils durch die Versickerung von Niederschlägen in den Untergrund, ein geringer Teil stammt aus der Zusicke- rung von Oberflächengewässern. Im Gegensatz zum Oberflächenwasser konzentriert sich Grundwasser nicht auf wenige Rinnen und Senken oder, wie oft fälschlicherweise behauptet wird, auf so genannte Wasseradern, sondern kommt in den Poren der Lockergesteinen und in den Spalten und Klüften der Festgesteine vor. Als zusammenhängendes Vorkommen bewegt sich das Grundwasser in der Regel mit geringer Geschwindigkeit dem Gefälle folgend zum nächsten Gewässer (Vorfluter).

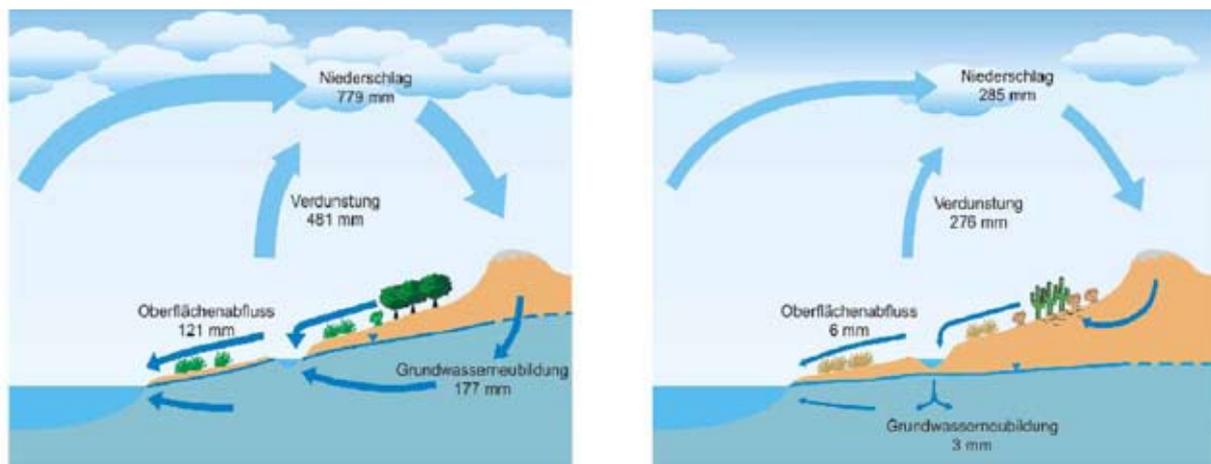


Abb. 2.3 Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs in Deutschland (links) und Namibia (rechts) [Quelle BGR]

## 2 Wasserkreislauf und Grundwasser

Abhängig von der Durchlässigkeit der Bodenschichten unterscheidet man Grundwasserleiter und Grundwassergeringleiter (Grundwasserhemmer). Letztere bestehen meist aus feinkörnigem, wenig wasserdurchlässigem Material wie beispiels-

weise Schluff und Ton; sie trennen die wasserleitenden Schichten voneinander. Daher können im Untergrund getrennte, übereinander liegende Grundwasserleiter (sog. Grundwasserstockwerke) existieren (Abb. 2.4).

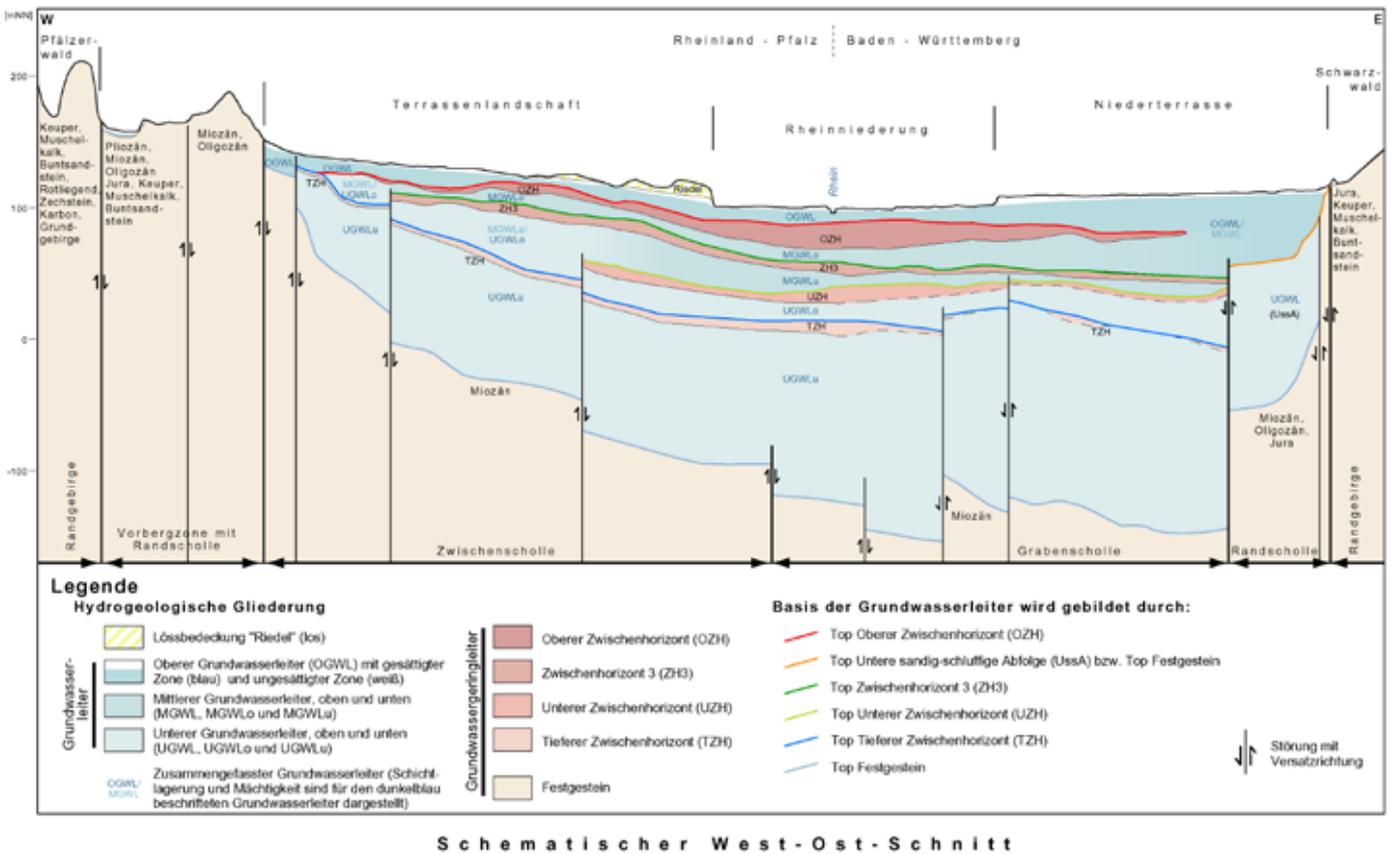


Abb. 2.4 Grundwasserstockwerksgliederung am Beispiel eines hydrogeologischen Querschnitts durch den Oberrheingraben [1].

## 2 Wasserkreislauf und Grundwasser

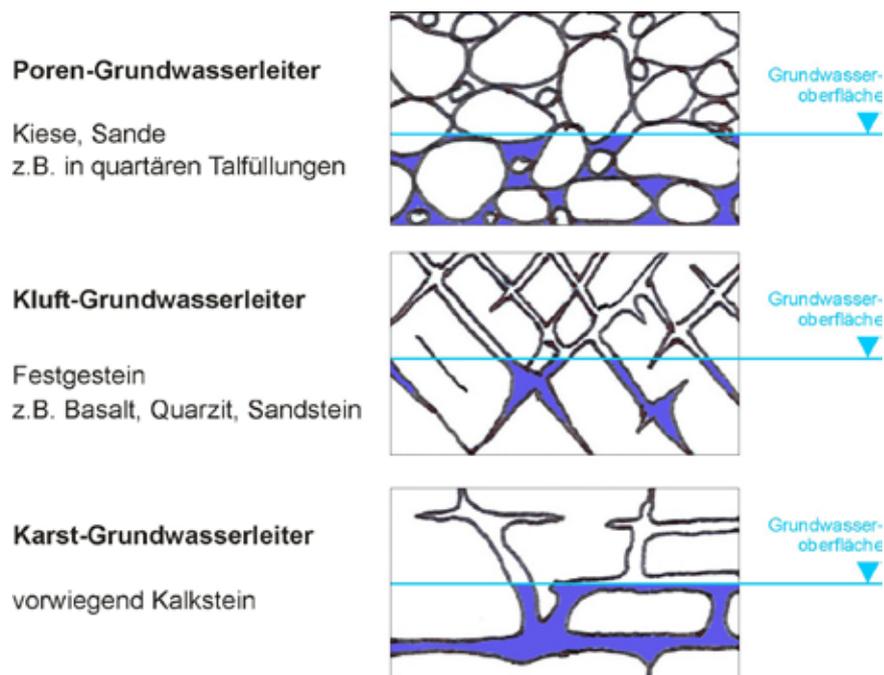
### ■ Unterschiedliche Grundwasserspeicher

Bei den Grundwasserleitern unterscheidet man drei Typen:

- **Poren-Grundwasserleiter** bestehen aus meist locker gelagerten Sanden und/oder Kiesen und bilden die ergiebigsten Grundwasserspeicher. Ihr Porenanteil beträgt zwischen 10 und 20 Vol.-%.
- **Kluft-Grundwasserleiter** sind Festgesteine, in denen das Wasser durch Klüfte und Spalten strömt und die in der Regel eine geringere Speicherfähigkeit aufweisen als Porengrundwasserleiter. Der Hohlraumanteil liegt zwischen 1 und 5 Vol.-%.

Sind Klüfte auf Grund von chemischen Lösungsvorgängen (kohlen-saures Wasser löst Kalkstein auf) zu größeren, unterirdischen Hohlräumen aufgeweitet, spricht man von

- **Karst-Grundwasserleitern.** Sie sind typisch für Karbonatgesteine wie Kalke und Dolomite. Die Hohlräume können in ihrer Größe zwischen wenigen Zentimetern und mehreren 100 Metern (Karsthöhlen) schwanken. Karst-Grundwasserleiter sind auf Grund der oft geringen oder fehlenden Bodenüberdeckung, der hohen Fließgeschwindigkeiten und kurzen Verweilzeiten des Wassers sehr empfindlich gegenüber Verschmutzung (Abb. 2.5).



### ■ Grundwasserlandschaften in Rheinland-Pfalz

Die morphologischen und geologischen Gegebenheiten bestimmen die Grundwasserverhältnisse, so dass eine Einteilung in Grundwasserlandschaften (Abb. 2.6 und Tab. 2.1) eng mit dem Aufbau des Untergrundes zusammenhängt. Während Geländehöhe und Geländeform die Niederschläge und deren Verteilung beeinflussen, hängen Grundwasserneubildung und -speicherung sowie die natürliche Grundwasserbeschaffenheit maßgeblich von der Bodenstruktur und dem geologischen Aufbau des Untergrundes ab.

Die unterschiedlichen hydrogeologischen und klimatischen Voraussetzungen begründen die ungleiche Verteilung der Grundwasservorkommen, so dass sich in Rheinland-Pfalz Grundwasserüberschuss wie z. B. im Bereich des Oberrheingraben und des Neuwieder Beckens und Grundwassermangelgebiete wie Hunsrück und Westerwald gegenüberstehen. Dazwischen liegen Gebiete wie der Pfälzerwald oder das Bitburger Land mit mehr oder weniger großen Grundwasservorräten.

Unter Grundwasserlandschaften versteht man Gebiete, die hydrogeologisch und morphologisch weitgehend einheitlich aufgebaut sind und deren Wasser typische hydrochemische Merkmale aufweisen.

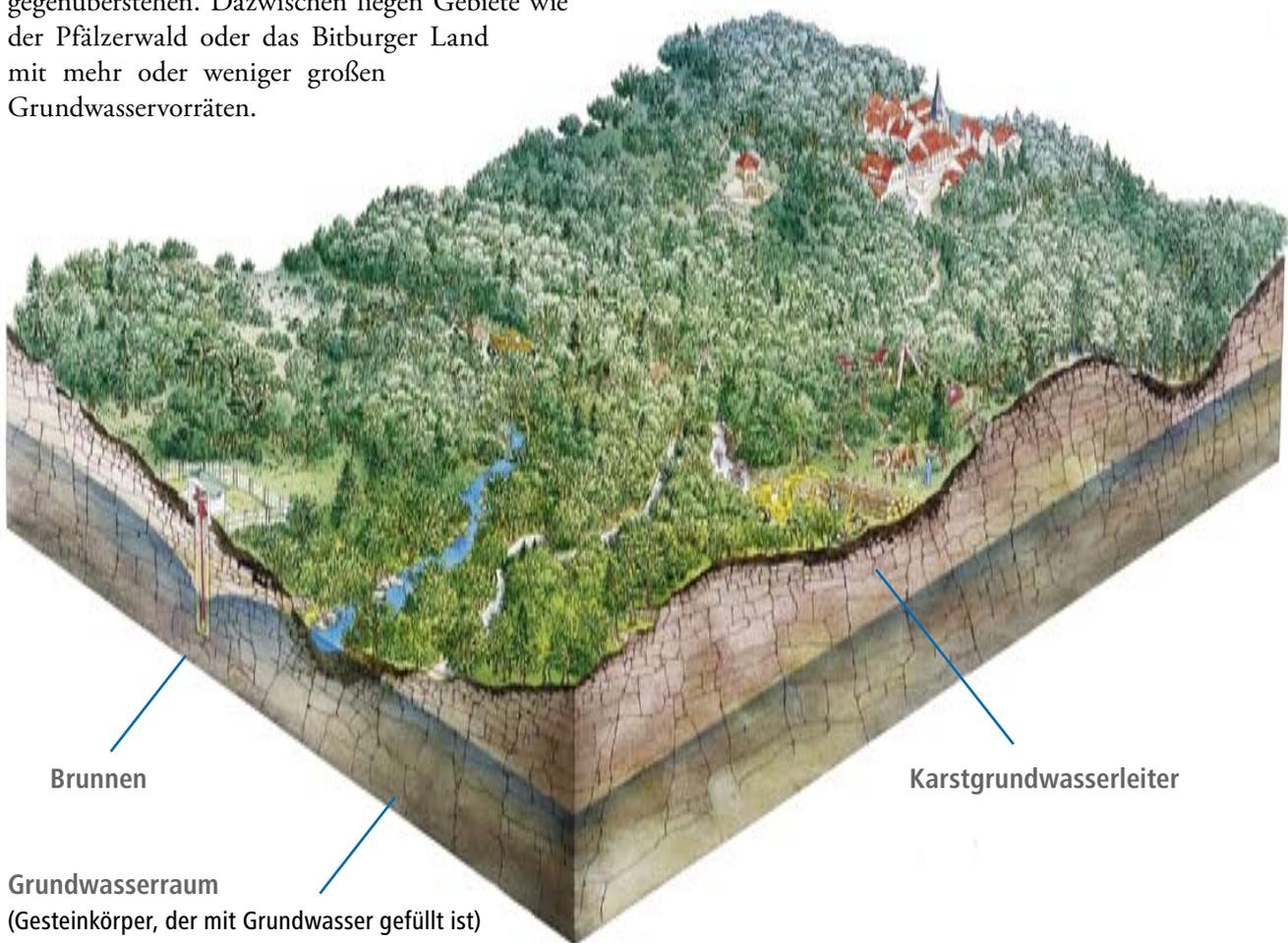


Abb. 2.5 Karstgrundwasserleiter mit Brunnen (Copyright: Pro Natur GmbH, Frankfurt)

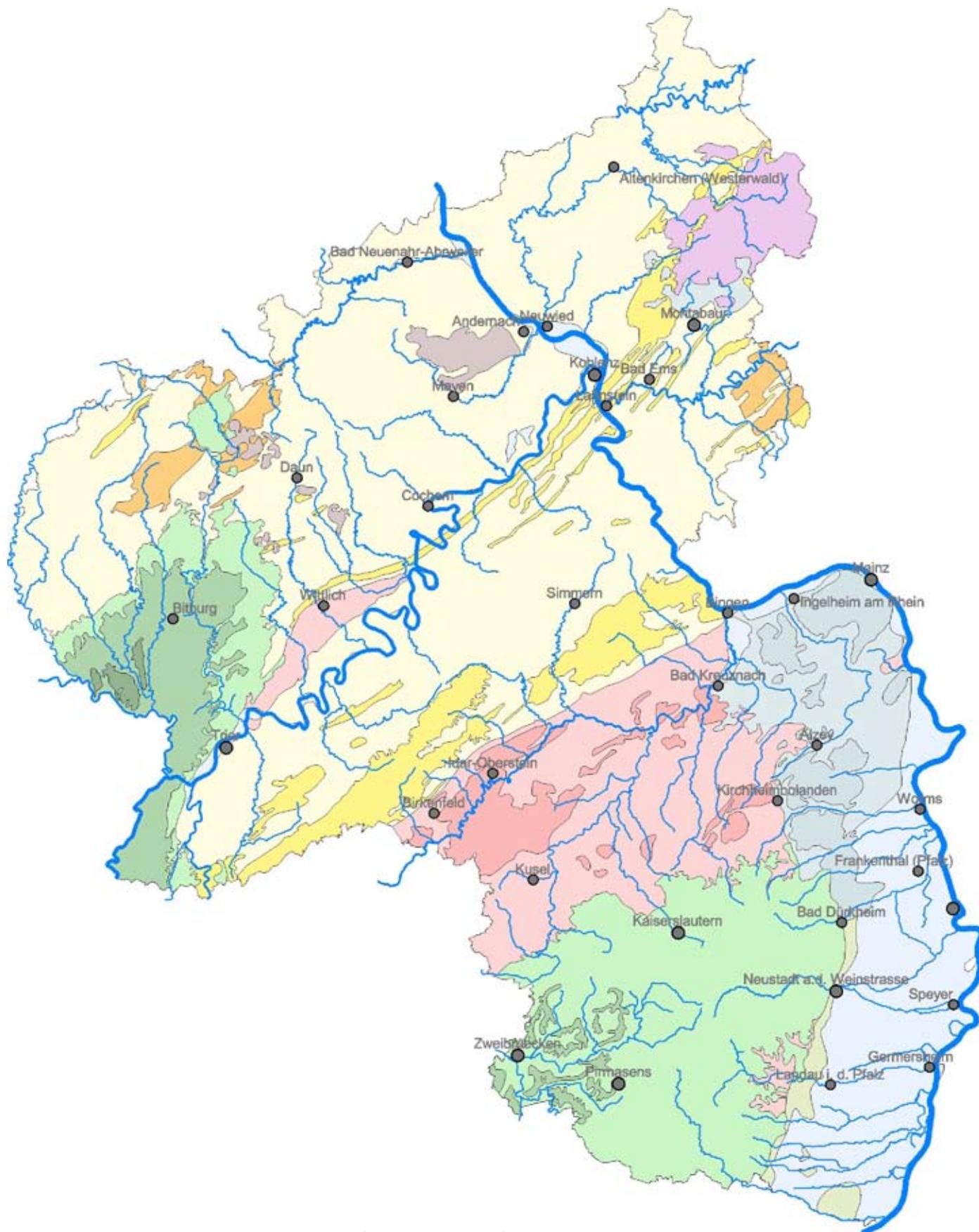


Abb. 2.6 Grundwasserlandschaften in Rheinland-Pfalz

Tab. 2.1: Charakterisierung der Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz

Grundwasserlandschaft	Geografische Verbreitung	Art des Grundwasserleiters	Ergiebigkeit des Grundwasserleiters	mittlere Gesamthärte
 Quartäre und pliozäne Sedimente	Rheinebene, Rheiterrassen, Terrassen der Rheinebenflüsse	Porengrundwasserleiter	mittel bis stark	23°dH
 Quartäre Magmatite	Eifel	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	stark	7°dH
 Tertiäre Kalksteine	Rheinhessen	Karst- und Kluftgrundwasserleiter	stark bis gering	21°dH
 Tertiäre Mergel und Tone	Rheinhessen, Kannebäckerland	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	gering bis sehr gering	22°dH
 Tertiäre Bruchschollen des Oberrheingrabenrandes	Vorhaardt	Karst-, Kluft- und Porengrundwasserleiter	stark bis sehr gering	25°dH
 Tertiäre Vulkanite	Westerwald	Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark	4°dH
 Sandsteine des Lias	Bitburger Land	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	mittel	11°dH
 Muschelkalk und Keuper	Bitburger Land, Saargau, Westrich	Kluftgrundwasserleiter	mittel bis gering	23°dH
 Buntsandstein	Westeifel, Westrich, Landstuhler Bruch, Pfälzerwald	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark	3°dH
 Rotliegend-Sedimente	Wittlicher Senke, Saar-Nahe-Bergland	Kluftgrundwasserleiter	gering bis mittel	16°dH
 Rotliegend-Magmatite	Saar-Nahe-Bergland	Kluftgrundwasserleiter	gering bis mittel	4°dH
 Devonische Kalksteine	Westeifel, Taunus	Karst- und Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark	17°dH
 Devonische Quarzite (und Hangschutt)	Eifel, Westerwald, Hunsrück, Taunus	Kluftgrundwasserleiter	mittel	2°dH
 Devonische Schiefer und Grauwacken	Eifel, Westerwald, Hunsrück, Taunus	Kluftgrundwasserleiter	gering	7°dH

### ■ Die Gewässerbewirtschaftung ist gesetzlich geregelt

Das Oberflächengewässer und Grundwasser kennen keine staatlichen Grenzen, dem entsprechend müssen für die Nutzung, die Bewirtschaftung und den Schutz der Gewässer auf europäischer Ebene gemeinsame Zielvorgaben entwickelt werden.

Die „Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ (EG-WRRL) ist mit Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft am 22.12.2000 in Kraft getreten [9].

In der Präambel der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) heißt es: *„Wasser ist keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut, das geschützt, verteidigt und entsprechend behandelt werden muss.“*

Daraus ableitend verfolgt die EG-WRRL im Wesentlichen zwei Zielsetzungen:

1. Abbau der Defizite und Inkonsistenzen der bisherigen Regelungen und Aufbau einer modernen europäischen Wasserpolitik durch die Schaffung eines Ordnungsrahmens für eine kohärente und nachhaltige Wasserwirtschaft.

2. Erreichung eines mindestens „guten Zustands“ der Oberflächengewässer und eines „guten quantitativen und chemischen Zustands“ des Grundwassers der Europäischen Union. Für künstliche und erheblich veränderte Gewässer ist das „gute ökologische Potential“ zu erreichen.

Daneben definiert die Richtlinie eine Vielzahl weiterer Umweltziele wie z.B. die Vermeidung einer Verschlechterung der Gewässer, den Schutz und die Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme, die schrittweise Reduzierung und Eliminierung prioritärer gefährlicher Stoffe in der Meeresumwelt (anthropogene synthetische Stoffe), die Trendumkehr hinsichtlich der Verschmutzung des Grundwasser usw.. Die Umsetzung der Richtlinie erfolgt in den nationalen Wassergesetzen.

Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** – trifft als Rahmengesetz des Bundes grundlegende Bestimmungen über wasserwirtschaftliche Maßnahmen (Wassermengen- und Wassergütwirtschaft).

Der Geltungsbereich des WHG erstreckt sich auf oberirdische Gewässer (Flüsse, Seen usw.), auf Küstengewässer und auf das Grundwasser.

Die zentrale Aussage des WHG enthält § 1a Abs. 1. Danach sind die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und dass jede vermeidbare Beeinträchtigung unterbleibt.

Das Wasserhaushaltsgesetz wird durch die von den Bundesländern erlassenen **Landeswassergesetze** konkretisiert. Das Landeswassergesetz (LWG) Rheinland-Pfalz regelt die Benutzung der Gewässer.

Das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht und die Struktur- und Genehmigungsdirektionen sind wasserwirtschaftliche Fachbehörden. Sie wirken mit beim Vollzug des Wasserhaushaltsgesetzes, des Landeswassergesetzes und der EG-WRRL. Sie haben außerdem, unbeschadet der Zuständigkeit sonstiger Behörden, die fachlichen Belange der Wasserwirtschaft in anderen Verfahren zu vertreten.

Im § 21 des Landeswassergesetzes sind die Aufgaben der Fachbehörden definiert. Eine auszugsweise Auflistung der Aufgaben aus § 21 soll verdeutlichen, dass die Öffentlichkeit bei berechtigtem Interesse einen Anspruch auf Dateninformation und Beratung hat:

### **LWG § 21- Ermitteln der Grundlagen, Auskunfts- und Beratungspflicht**

- Das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht sowie die Struktur- und Genehmigungsdirektionen (wasserwirtschaftliche Fachbehörden) ermitteln die für die Ordnung des Wasserhaushalts nach Menge und Güte notwendigen Daten und wasserwirtschaftlichen Grundlagen. Sie errichten und betreiben die dazu dienenden Mess-, Beobachtungs- und Untersuchungseinrichtungen.
- Die wasserwirtschaftlichen Fachbehörden wirken bei der Einrichtung und Fortschreibung entsprechender Datensammlungen und Kartenwerke sowie bei der Ermittlung des für die Wasserwirtschaft bedeutsamen Standes der Technik und dessen Weiterentwicklung mit.
- Die wasserwirtschaftlichen Fachbehörden geben über die vorliegenden Erkenntnisse den Behörden und den öffentlichrechtlichen Trägern wasserwirtschaftlicher Maßnahmen Auskunft; sie können auch anderen interessierten Stellen und Privaten Auskunft erteilen, sofern ein berechtigtes Interesse vorliegt.
- Die wasserwirtschaftlichen Fachbehörden unterstützen Maßnahmen zur Umweltbildung, die zur Vermittlung von Kenntnissen über das Wasser als natürlicher Lebensgrundlage und zur Gewährleistung einer nachhaltigen Entwicklung beitragen.

Die hier angesprochenen Daten und Informationen stehen der Öffentlichkeit grundsätzlich zur Verfügung. Ein Teil davon kann auf

- [www.wasser.rlp.de](http://www.wasser.rlp.de)
- [www.geoportal-wasser.rlp.de](http://www.geoportal-wasser.rlp.de)
- [www.luwg.rlp.de](http://www.luwg.rlp.de) eingesehen werden.



### 3 Grundwasserüberwachung

#### Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel

In Deutschland wird der Trinkwasserbedarf zu 75% aus dem Grundwasser gedeckt, in Rheinland-Pfalz sogar zu 95%. Die jährliche Grundwasserentnahme aus rund 2.500 Brunnen und Quellen zu Trinkwasserzwecken beläuft sich in Rheinland-Pfalz auf etwa 233 Mio. m<sup>3</sup>. Zusätzlich werden noch aus zwei Talsperren (Riveris- und Steinbachtalsperre) rd. 14 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser gewonnen.

Es ist Aufgabe staatlicher Stellen, das Grundwasser entsprechend zu überwachen und seine Nutzbarkeit auch für zukünftige Generationen sicher zu stellen.

#### ■ Beobachtung der Grundwassermenge

Das LUWG erhebt alle relevanten Daten zur ordnungsgemäßen Mengenbewirtschaftung des Grundwassers über ein eigenes, umfangreiches Grundwassermessnetz. Neben speziell eingerichteten Beobachtungsrohren werden auch Quellen und Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung beobachtet. Wöchentlich, bei Einsatz von automatischen Datensammlern auch häufiger, wird der Grundwasserstand bzw. an Quellen die Quellschüttung gemessen.

Das Messnetz ist an das amtliche Höhenmessnetz angeschlossen, so dass als Ergebnis die Grundwasserstände in Meter über Normalnull vorliegen.

Die Grundwasserlandschaft **Quartäre und pliozäne Sedimente** (vgl. Kap. 2) stellt das bei Weitem ergiebigste Grundwasserreservoir dar. Die Hälfte der Trinkwassergewinnung erfolgt aus den quartären Lockergesteinen. Demzufolge ist das Messnetz hier erheblich dichter als in anderen Grundwasserlandschaften eingerichtet; hier befinden sich etwa 75% aller landesweit beobachteten Messstellen. Da die Gesteine im Oberrheingraben oftmals in hydraulisch voneinander getrennte Grundwasserstockwerke untergliedert sind, wird auch das tiefere Grundwasser mit etwa 150 Messstellen beobachtet.



#### Beobachtungsrohr mit mechanischem Schreibgerät

### 3 Grundwasserüberwachung

Das Messnetz zur Beobachtung der Grundwassermenge besteht aus rd. 800 regelmäßig beobachteten Messstellen (Tab. 3.1). Hierbei handelt es sich ganz überwiegend um Beobachtungsrohre, um etwa 10% Quellschüttungsmessstellen und wenige Lysimeter (Sickerwassermessstellen). Die Messnetzdichte in den einzelnen Grundwasserlandschaften, Gebiete die hydrogeologisch und morphologisch weitgehend einheitlich aufgebaut sind, variiert zwischen 1 Messstelle auf 4 km<sup>2</sup>

(Quartäre und pliozäne Sedimente) und 1 Messstelle auf 450 km<sup>2</sup> (Devonische Schiefer und Grauwacken). Ein Teil des Messstelleninventars (rd. 140 Beobachtungsrohre) dient der Überwachung des mengenmäßigen Zustands im Rahmen der EU-WRRL. Ausgewählt wurden hierfür Messstellen, die nicht direkt von Grundwasserentnahmen beeinflusst sind und die für eine vieljährige Trendanalyse geeignet sind (Abb. 3.1).

Tab. 3.1: Übersicht der Messstellen des quantitativen Messnetzes

Grundwasserlandschaft	Anzahl nach Art der Messstellen				1 Messstelle km <sup>2</sup>
	Beobachtungs- rohre	Quellen	Lysimeter	Summe	
Quartäre und pliozäne Sedimente	592	1	5	598	4
Quartäre Magmatite	5	5	-	10	23
Tertiäre Kalksteine	7	8	-	15	36
Tertiäre Mergel und Tone	5	-	-	5	161
Tertiäre Bruchschollen	-	-	-	-	-
Tertiäre Vulkanite	8	7	-	15	27
Sandsteine des Lias	1	2	2	3	12
Muschelkalk und Keuper	4	8	-	12	72
Buntsandstein	44	22	-	68	44
Rotliegend-Sedimente	14	10	-	24	70
Rotliegend-Magmatite	1	4	-	5	132
Devonische Kalksteine	16	1	-	17	23
Devonische Quarzite	1	3	-	4	231
Devonische Schiefer und Grauwacken	11	7	-	18	450
Rheinland-Pfalz, gesamt	709	78	7	794	25

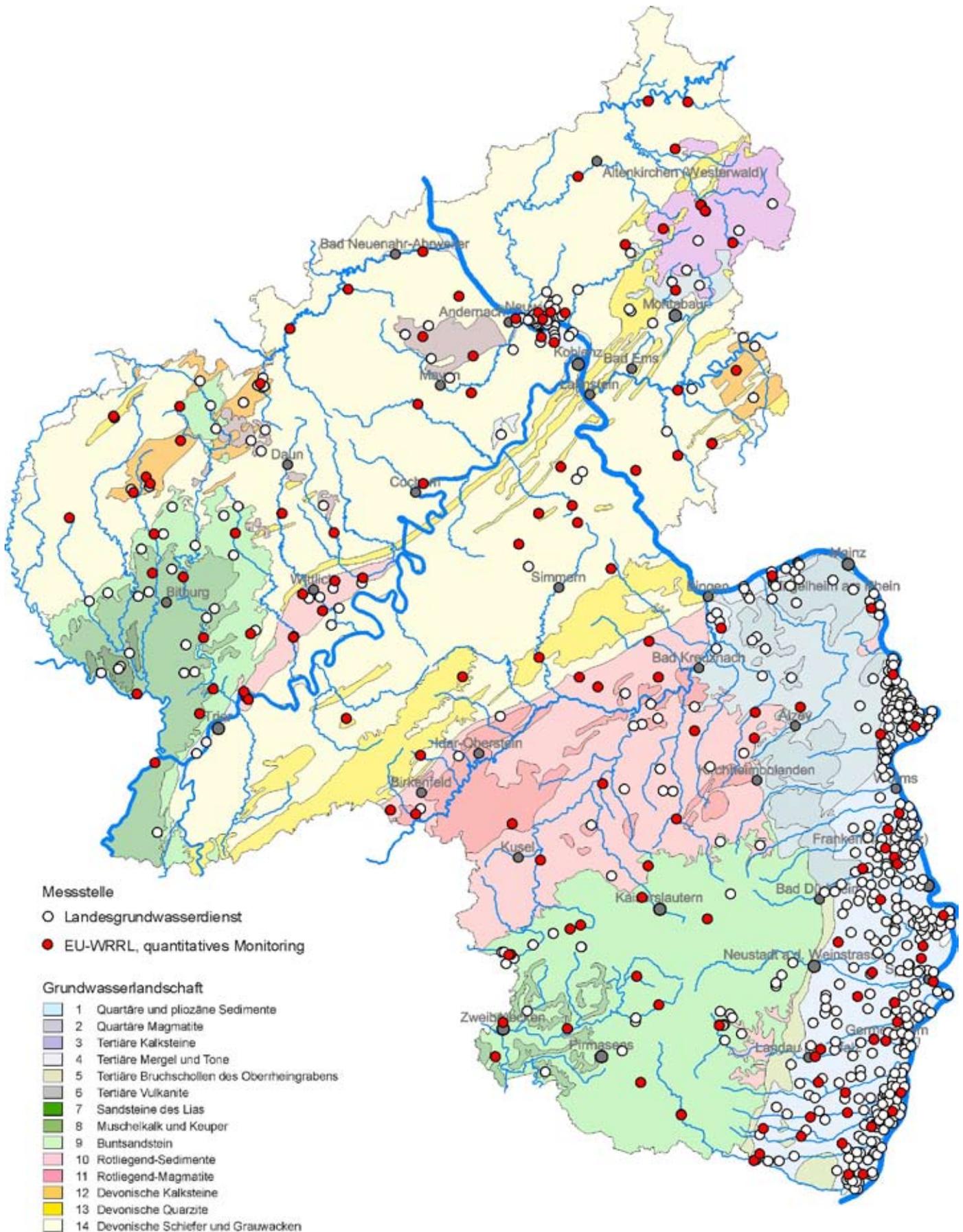


Abb. 3.1: Quantitatives Grundwassermessnetz vor dem Hintergrund der Grundwasserlandschaften

### 3 Grundwasserüberwachung

Alle gewonnenen Messdaten gehen in das **Wasserwirtschaftliche Auskunftssystem** des LUWG ein und werden zur Beantwortung verschiedener Fragen aufbereitet. Neben der messstellenbezogenen Erstellung von Haupttabellen, aus denen die Monatsmittelwerte sowie der maximale und minimale Grundwasserstand hervorge-

hen, lassen sich aus dem mehrjährigen Vergleich der Ganglinien Perioden mit Grundwasserüberschuss bzw. Grundwasserdefizit ermitteln. Grundwassergleichenpläne (Abb. 3.2) zeigen die Fließrichtung und den Flurabstand des Grundwassers für bestimmte Stichtage an.

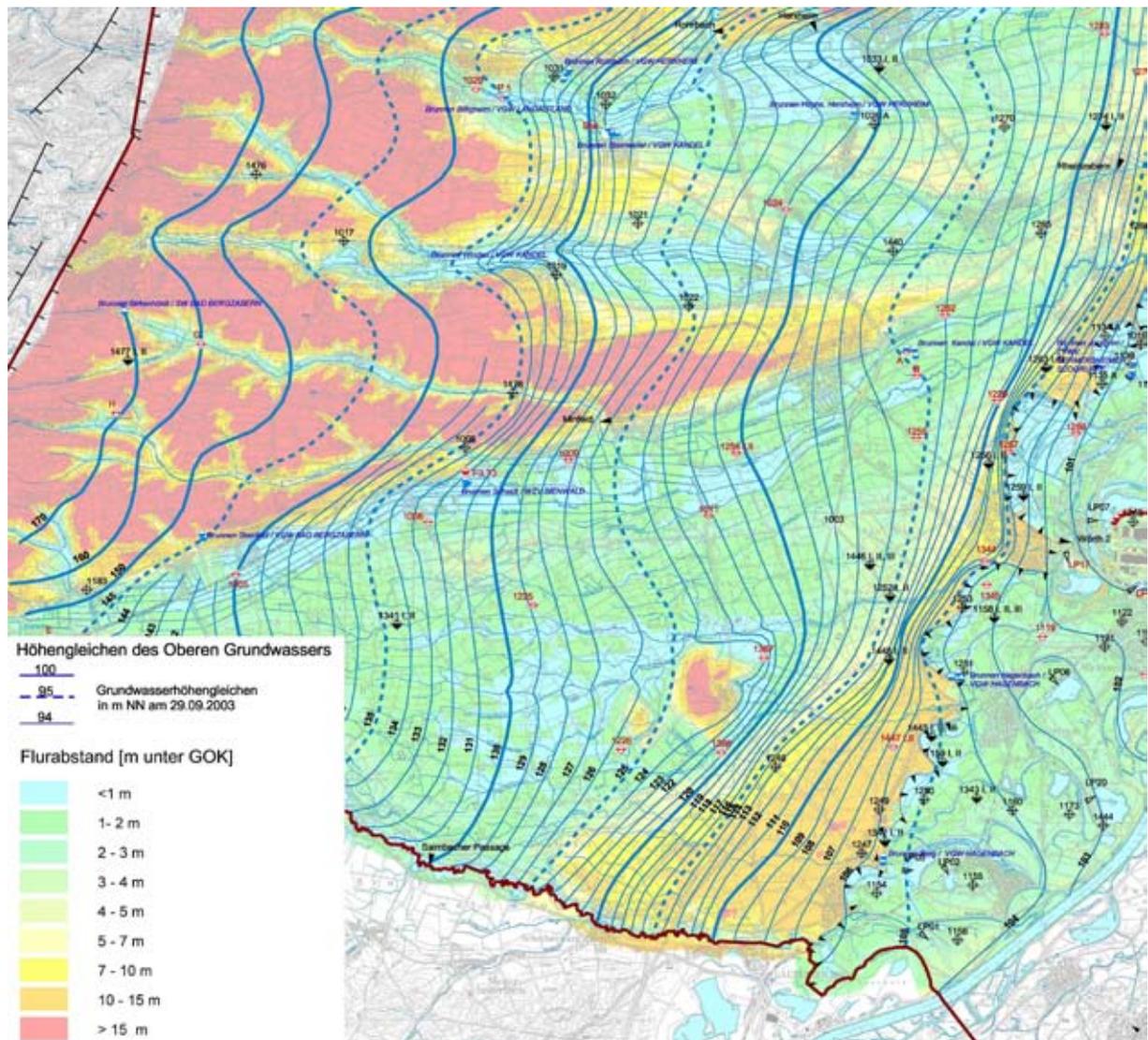
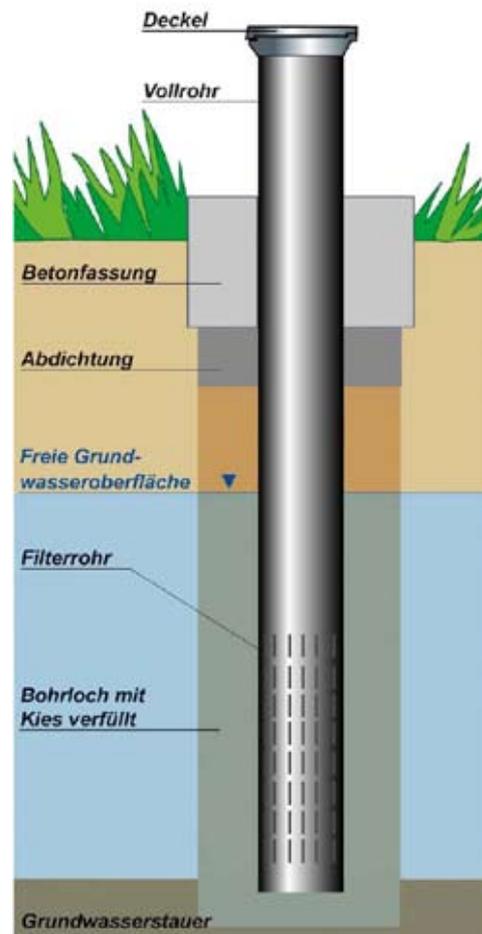


Abb. 3.2 Hydrologischen Auswertung „Grundwassergleichenplan mit Flurabstand in der südlichen Vorderpfalz“. Grundwassergleichenplan für die südliche Vorderpfalz am Stichtag 20.09.2003. Blau eingezeichnet sind die Höhenlinien des Grundwassers.

### ■ Beobachtung der Grundwasserbeschaffenheit

Nach DIN 4046 handelt es sich bei Grundwasser um „unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt“. A priori steht Grundwasser damit für chemische Untersuchungen nur an Quellen zur Verfügung, wobei diese natürlich zu Tage tretenden Grundwasseraustritte infolge des Kontakts zur Atmosphäre im quellnahen Bereich einem eigenen Chemismus unterliegen können (Änderung des Gashaushalts). Künstliche Grundwasserzugänge hingegen sind Brunnen der Trink- und Brauchwasserversorgung sowie speziell eingerichtete Beobachtungsrohre. Während Quellen oftmals das ganze Jahr über frei austreten, Brunnen zur Wasserversorgung temporär in Betrieb sind, werden Beobachtungsrohre nur jeweils zu Probenahmezwecken abgepumpt. Insofern zeigen diese drei Messstellentypen in ihrer Wasserbeschaffenheit grundsätzliche Unterschiede u. a. auch bei der Flächen repräsentativität ihrer Messergebnisse (Abb. 3.3).

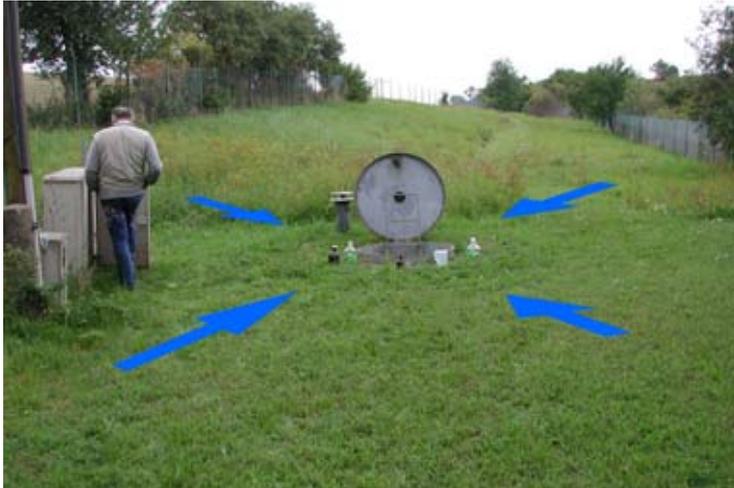
- **Quellen:** Sie zeigen in ihrer Wasserbeschaffenheit meist ein Integral über das gesamte hydrologische Einzugsgebiet, das sie entwässern. Dieses Flächenintegral wird zudem von einem Zeitintegral überlagert, d.h. bei einem Teil des Quellwassers kann es sich um sehr junges Wasser, bei einem anderen Teil um deutlich älteres Wasser handeln.
- **Brunnen:** Brunnen sind meist viele Meter in den Grundwasserleiter eingebunden, da ihr Ausbau im Wesentlichen entnahmeorientiert erfolgt. Durch den Pumpbetrieb wird ein Absenkungstrichter ausgebildet, d. h., der Brunnen wird von allen Seiten angeströmt. Die Wasserbeschaffenheit ist daher meist repräsentativ für den Bereich dieses Absenkungstrichters. Durch die künstliche Wasserentnahme kann das Zeitintegral einer Wasserprobe aus flachen Brunnen aber deutlich kleiner sein als bei Quellen mit größeren Einzugsgebieten. Tiefbrunnen hingegen zeigen in ihrer Beschaffenheit in der Regel eine deutliche Wertekonzanz.



Schematische Darstellung eines Beobachtungsrohrs

- **Beobachtungsrohre:** Sie werden vom Grundwasser durchströmt. Bei einer Probenahme wird als Stichprobe ein Bild über den chemischen Momentanzustand in einem enger begrenzten Einzugsgebiet gewonnen. Bei Änderungen in der Wasserbeschaffenheit können sowohl zeitnahe Ursachen im unmittelbaren Umfeld der Messstelle wie auch weiter zurückliegende Ursachen im fernerem Zustrombereich der Messstelle verantwortlich sein. Messergebnisse an Beobachtungsrohren stellen damit praktisch ein Zeitprofil über die Fließrichtung des Grundwassers dar. Im oberflächennahen Grundwasserbereich sind Beobachtungsrohre meist nur wenige Meter in den Aquifer (Grundwasserleiter) eingebunden.

### 3 Grundwasserüberwachung



Bei einem in Betrieb befindlichen Brunnen strömt das Grundwasser nahezu radial der Entnahmestelle zu. Die Beschaffenheit einer Wasserprobe stellt meist ein Integral über den Bereich dieses Absenkungstrichters dar.



Der natürliche Grundwasseraustritt aus einer Quelle repräsentiert in seiner Beschaffenheit das hydrologische Einzugsgebiet oberhalb des Quellaustrittes. Eine Quelle kann in ihrer Wasserbeschaffenheit ein Zeit- und Raumintegral bilden.



Die Grundwasseranalyse aus einem Beobachtungsrohr repräsentiert meist nur ein sehr eng begrenztes Einzugsgebiet im Zustrom zur Messstelle.

Abb. 3.3 Schematisierte Einzugsgebiete von Brunnen, Quellen und Beobachtungsrohren

Im Gegensatz zu den Bächen und Flüssen fließt das Grundwasser nur sehr langsam. Seine Fließgeschwindigkeit in den Poren und Klüften des Gesteins beträgt nur wenige Dezimeter bis zu einigen Metern pro Tag. Tiefere Grundwasservorkommen können sich sogar mit nur wenigen Metern pro Jahr bewegen, im Extremfall auch gar nicht am Wasserkreislauf beteiligt sein.

Die chemische Prägung des Grundwassers erfolgt in erster Linie bei der Durchsickerung des Bodens; dabei wird der Hauptanteil der Kationen aufgenommen. Die geochemische Zusammensetzung der Böden hängt maßgeblich von der Zusammensetzung des anstehenden Gesteins ab (beispielsweise werden Karbonatgesteine i. d. R. von karbonatreichen Braunerden überlagert). Lange Verweilzeiten im Untergrund und große Kontaktflächen zwischen Wasser und Gestein erhöhen seinen Lösungsinhalt. Diese geogene Zusammensetzung des Grundwassers kann – insbesondere im urbanen Raum – eine mehr oder weniger starke anthropogene Überprägung erfahren.

Brunnen – insbesondere Tiefbrunnen – zeigen meist eine relativ hohe zeitliche Konstanz in ihrer Wasserbeschaffenheit und reagieren nur gedämpft auf Änderungen der Stoffzuflüsse. Sie sind daher in der Regel weniger häufig zu untersuchen als Quellen. Quellwässer können in ihrer Beschaffenheit periodische Änderungen zeigen, die oft dem sich jahreszeitlich ändernden Schüttungsverlauf folgen. Weitaus komplexer ist es, Beschaffenheitsänderungen von Proben aus Beobachtungsrohren zu interpretieren. In Aquifer, die bis in große Tiefen zusammenhängend mit Grundwasser erfüllt sind, können vertikale Konzentrations-schichtungen vorkommen.

Das bei Brunnen und Beobachtungsrohren zur Probenahme erforderliche Abpumpen führt zu Änderungen der natürlichen Fließgeschwindigkeit des Grundwassers und damit zu einer Vergrößerung des Einzugsgebiets der Messstelle. Die Wahl des geeigneten Zeitpunktes und der Häufigkeit der Probenahmen sind damit abhängig vom jeweiligen Messstellentyp. Während Messstellen in tieferen Grundwasserleitern meist eine hohe Wertekonstanz zeigen, müssen Messstellen in oberflächennahen Grundwasserleitern in der Regel häufiger untersucht werden, um Trendaus-sagen statistisch sicher ableiten zu können.

Es kommt also maßgeblich auf die zu beantwortende Fragestellung an, wie ein geeignetes Messnetz zu konzipieren ist. Messstellentypus, Messnetzdicke, zu untersuchende Parameter und Untersuchungsrythmus sind individuell anzupassende Variablen.

In Rheinland-Pfalz stehen etwa 1.500 amtliche Grundwassermessstellen und etwa 2.500 Rohwassermessstellen der öffentlichen Wasserversorgung für die Überwachung der Grundwasserqualität zur Verfügung. Während die Rohwassermessstellen von den jeweiligen Betreibern untersucht werden – welche die Daten im Rahmen einer freiwilligen Kooperationsvereinbarung dem LUWG zur Verfügung stellen – werden die amtlichen Messstellen vom LUWG selbst untersucht.

Diese Messstellen sind in verschiedenen Messnetzen zusammengefasst, von denen das Messnetz der **überblicksweisen Überwachung**, so wie es auch die **EU-Wasserrahmenrichtlinie** fordert, das bedeutendste ist.



### 3 Grundwasserüberwachung

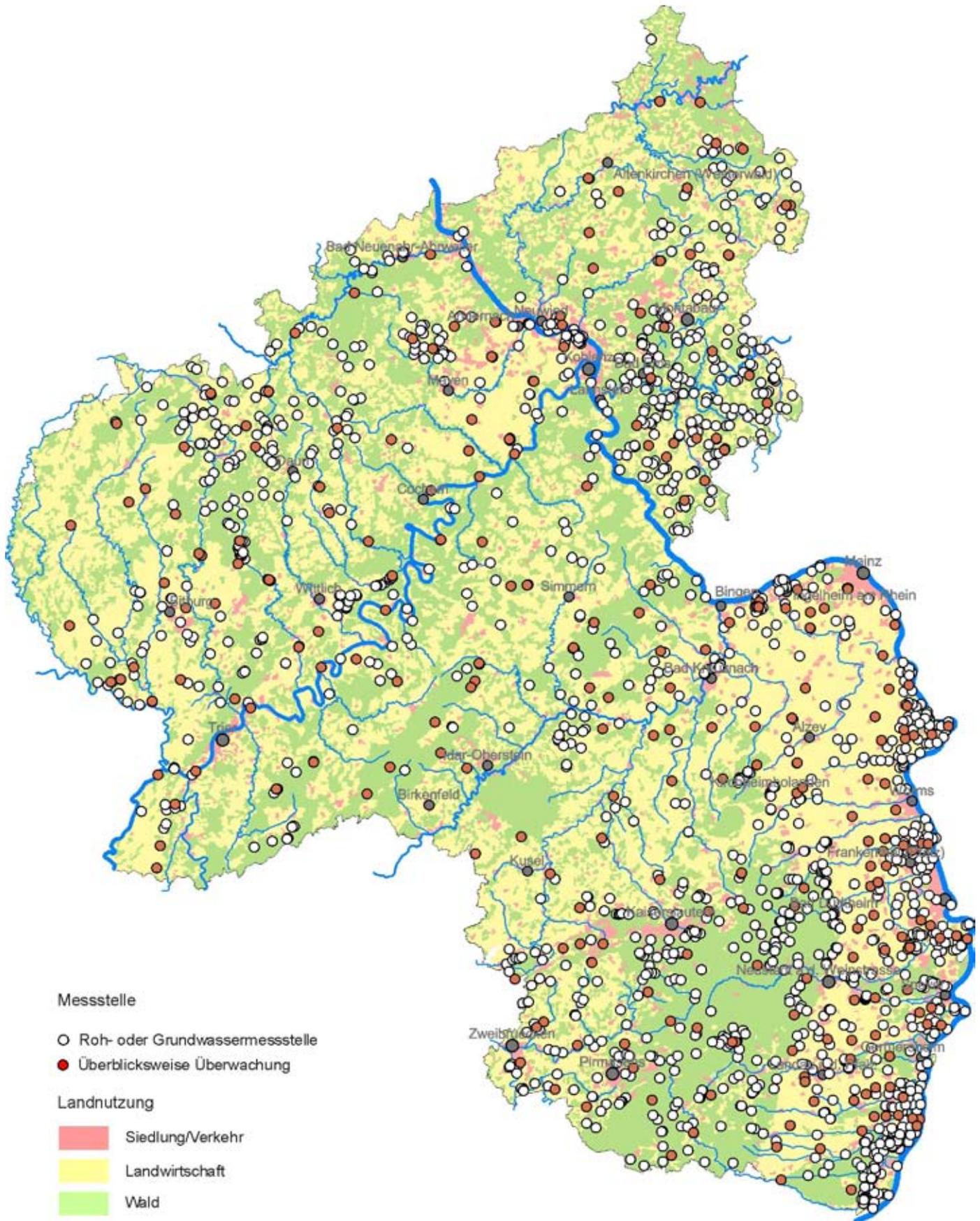


Abb. 3.4 Qualitatives Grundwassermessnetz vor dem Hintergrund der Landnutzung

Ziel der überblicksweisen Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit ist es, neben einem räumlichen, möglichst flächenrepräsentativen Überblick, auch verdichtete Informationen in solchen Bereichen zu erhalten, in denen das Grundwasser aufgrund der Beeinflussungen durch den Menschen nachhaltig negativ verändert wurde. Das flächenrepräsentative Messnetz zur Grundwasserbeschaffenheit wird daher ergänzt von einem verdichteten Messnetz in den anthropogen stärker überprägten Gebieten. Weiteres Ziel der Beobachtungen ist es, negative Trends der Grundwasserbeschaffenheit frühzeitig erkennen zu können, um ggf. mit geeigneten Maßnahmen eine für die vielfältigen Nutzungen durch den Menschen sowie eine für aquatische Wechselwirkungen mit anderen Ökosystemen ausreichende Grundwasserqualität sichern zu können. Signifikante Trendaussagen für das Grundwasser setzen sehr lange Beobachtungsreihen voraus, da Stoffeinträge und die Änderung von Stoffkonzentrationen vielfältige Ursachen haben können.

Die Hauptkriterien geeigneter Messstellen für die Überblicksüberwachung sind daher:

- umfassende Übersicht in allen Grundwasserleitern,
- negative Veränderungen müssen frühzeitig erkennbar sein,
- langfristige Trends müssen erkennbar sein,
- ausgewählte Messstellen müssen für eine größere Fläche repräsentativ sein,
- keine Zuordnung zu punkt- und linienförmigen Schadstoffquellen,
- das Einzugsgebiet muss bekannt sein.

Das Grundwassermessnetz zur **überblicksweisen Überwachung** des chemischen Zustandes besteht in Rheinland-Pfalz aus rund 300 Messstellen (Abb. 3.4). Hierbei handelt es sich um 90 Quellen, 50 Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung sowie 160 Beobachtungsrohre, von denen 26 Messstellen mit Ausbautiefen bis zu 140 m das tiefere Grundwasser erfassen. Etwa jede dritte Messstelle liegt dabei in einem Wasserschutzgebiet, so dass auch für diese besonders schutzwürdigen Bereiche ein guter Überblick erhalten werden kann. Die Verteilung der Messstellen entspricht im Wesentlichen der Flächennutzung des Landes.

Maßgeblich sind forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzte Flächen unter besonderer Berücksichtigung von Sonderkulturen wie Gemüse-, Wein- und Obstbau.

Unter Berücksichtigung des jeweiligen Messstellentyps, der grundwasserhydraulischen Verhältnisse und des Gefährdungspotenzials schwankt der Beprobungsrhythmus zwischen ‚zweimal pro Jahr‘ und ‚einmal in sechs Jahren‘. (Abb. 3.5)

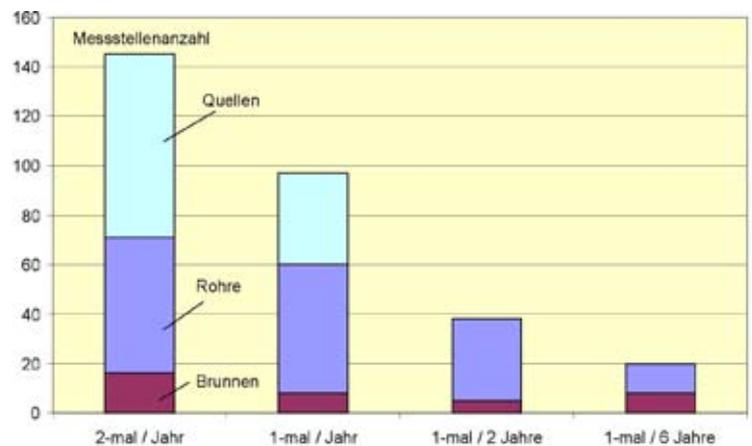


Abb. 3.5 Untersuchungshäufigkeit der Messstellen zur überblicksweisen Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit

## 3 Grundwasserüberwachung

### ■ Parameter der Grundwasseruntersuchung

Die im Grundwasser zu untersuchenden Parameter ergeben sich aus den entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen sowie aus der analytischen Qualitätssicherung (Ionenbilanz). Im Einzelnen handelt es sich dabei um die nachfolgend genannten Parameter. Leit- und Summenparameter sowie die Hauptinhaltsstoffe werden bei jeder Untersuchung bestimmt. Die weiteren Parametergruppen werden bei unauffälligem Befund nur 1-mal in 6 Jahren untersucht.

#### ■ Leit- und Summenparameter

Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, DOC

#### ■ Hauptinhaltsstoffe

Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Eisen, Mangan, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Hydrogencarbonat

#### ■ Spurenmetalle

Aluminium, Arsen, Antimon, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink, Quecksilber

#### ■ Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe und Aromaten

Dichlormethan, Trichlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlormethan, Trichlorethen, Bromdichlormethan, Dibromchlormethan, Tetrachlorethen, Tribrommethan, 1,2-Dichlorethan, cis-1,2-Dichlorethen, Benzol, 1,2,3-Trichlorbenzol, 1,2,4-Trichlorbenzol, 1,3,5-Trichlorbenzol, Hexachlorbenzol

#### ■ Polyzyklische Aromaten

Naphthalin, Anthracen, Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren



- Pflanzenschutzmittelwirkstoffe  
Atrazin, Desethylatrazin, Desisopropylatrazin, Simazin, Terbutylazin, Metolachlor, Propazin, Prometryn, Chloridazon, Tebuconazol, Bromacil, Chlortoluron, Diuron, Isoproturon, Dichlorprop, MCPA, Mecoprop, Bentazon, gamma-HCH, alpha-Endosulfan

Eine wesentliche Aufgabe des Messnetzes zur Grundwasserbeschaffenheit ist es auch, die Daten der natürlichen Wasserbeschaffenheit in ihrer geogen bedingten Variabilität zu ermitteln. Die Kenntnis dieser natürlichen Hintergrundwerte erlaubt es erst, nachteilige Beeinflussungen des Grundwassers durch den Menschen zu erkennen und sie in ihrer Ausdehnung und Auswirkung zu quantifizieren.

Alle Analysedaten werden im Wasserwirtschaftlichen Auskunftssystem erfasst, plausibilisiert und aufbereitet. Sie stehen damit zur Beantwortung verschiedener Fragen zur Verfügung. Als Beispiel sei hier die Entwicklung der Nitratbelastung des Grundwassers in landwirtschaftlich genutzten Gebieten erwähnt (Abb. 3.6).

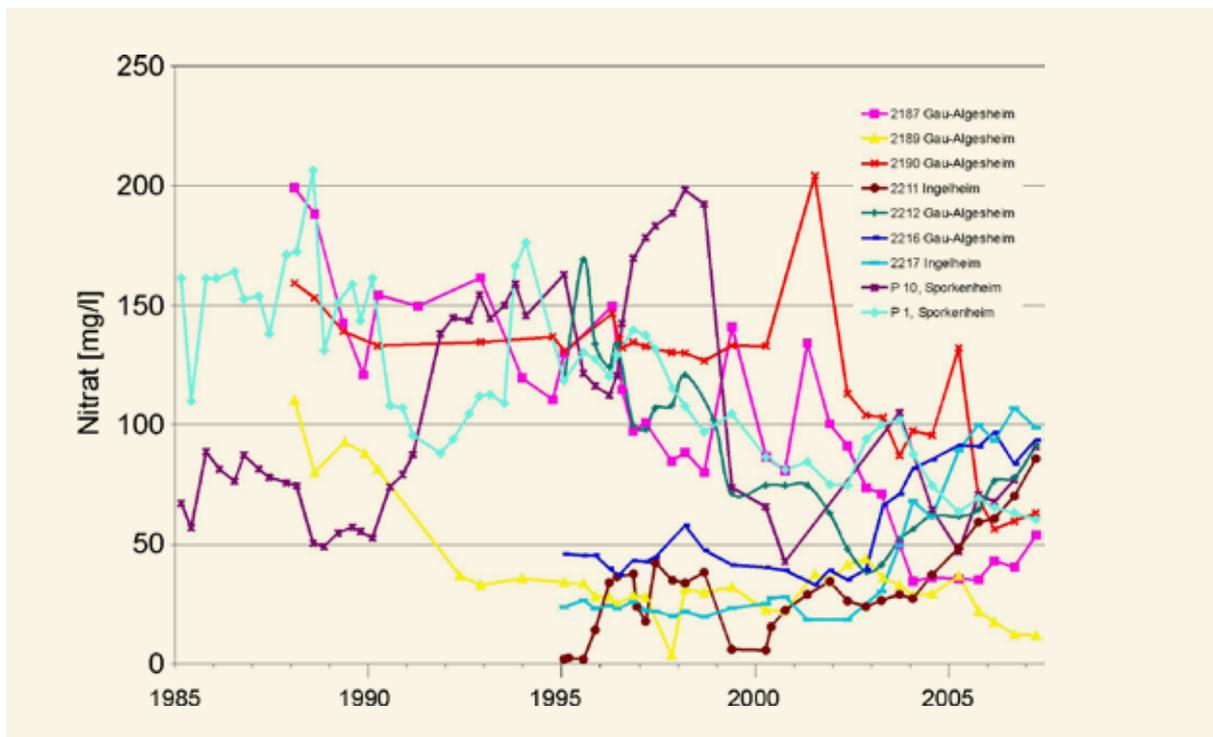


Abb. 3.6 Nitratganglinien von Messstellen der rheinhessischen Rheinniederung

### 3 Grundwasserüberwachung

Das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht stellt auf seiner Homepage (www.luwg.rlp.de) allen Interessierten weitergehende Informationen und Auswertungen zur Verfügung (Abb. 3.7).

Insbesondere der **Hydrologische Atlas** [2] sowie die Messdatenauskunft Wasser sind ergiebige Informations- und Datenquellen.

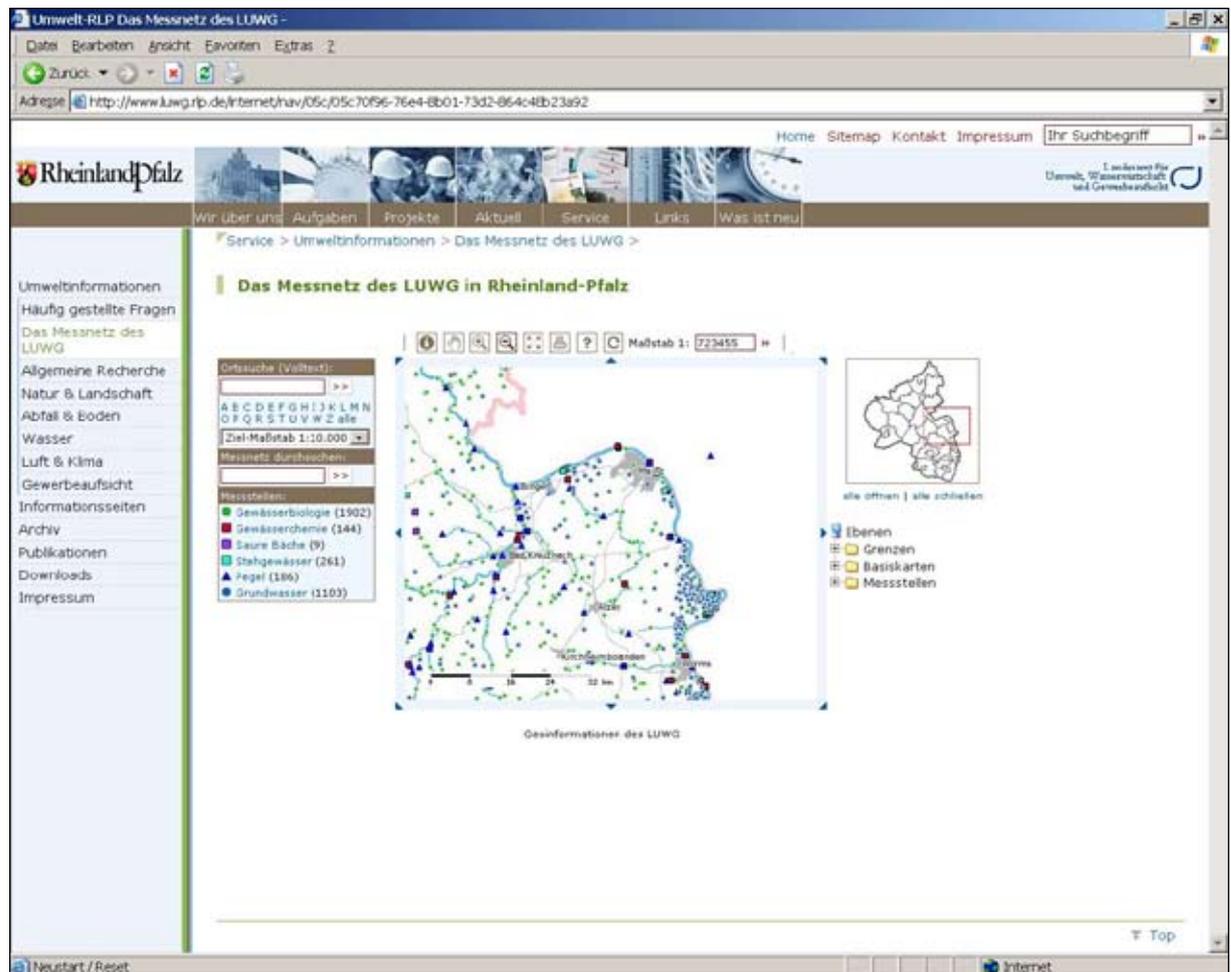


Abb. 3.7 Homepage des LUWG mit Messnetzkarte

## 4 Grundwasserneubildung



Um das Grundwasserdargebot – als Teil des Wasserkreislaufs – langfristig und nachhaltig bewirtschaften zu können, ist es eine zentrale Aufgabe, die Grundwasserneubildung flächendeckend und flächendifferenziert zu ermitteln.

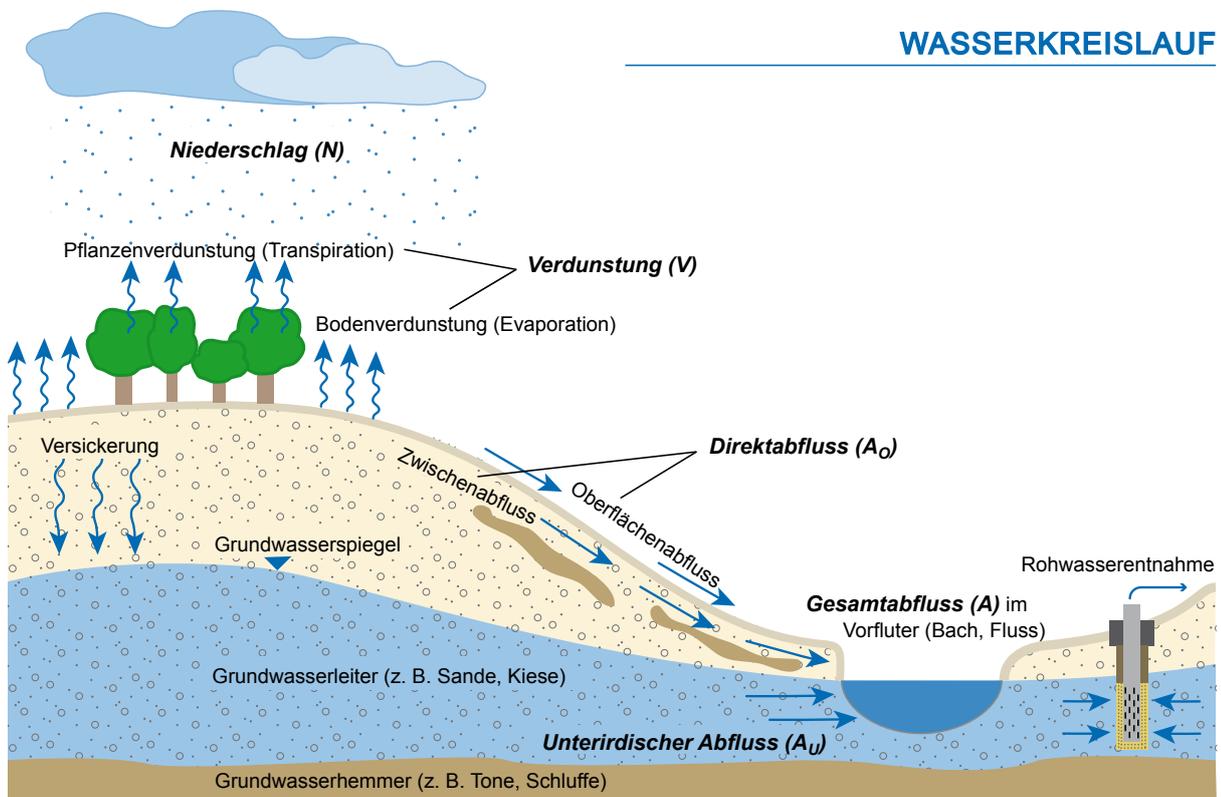
Der Begriff **Grundwasserneubildung** bezeichnet nach DIN 4049 den „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“.

Er beinhaltet sowohl die ZUSICHERUNG von Niederschlagswasser als auch Zugänge von infiltriertem oberirdischem Wasser.

Der Gesamtabfluss ( $A$ ), der an einem Pegel am Oberflächengewässer gemessen werden kann, setzt sich zusammen aus dem Direktabfluss ( $A_o$ ) und dem unterirdischen Abfluss ( $A_u$ ). Nach der Wasserhaushaltsgleichung

$$N = V + A_o + A_u$$

mit  $N$  = Niederschlag und  $V$  = Verdunstung entspricht  $A_u$  für lange Beobachtungsreihen der Grundwasserneubildungsrate.



## WASSERKREISLAUF

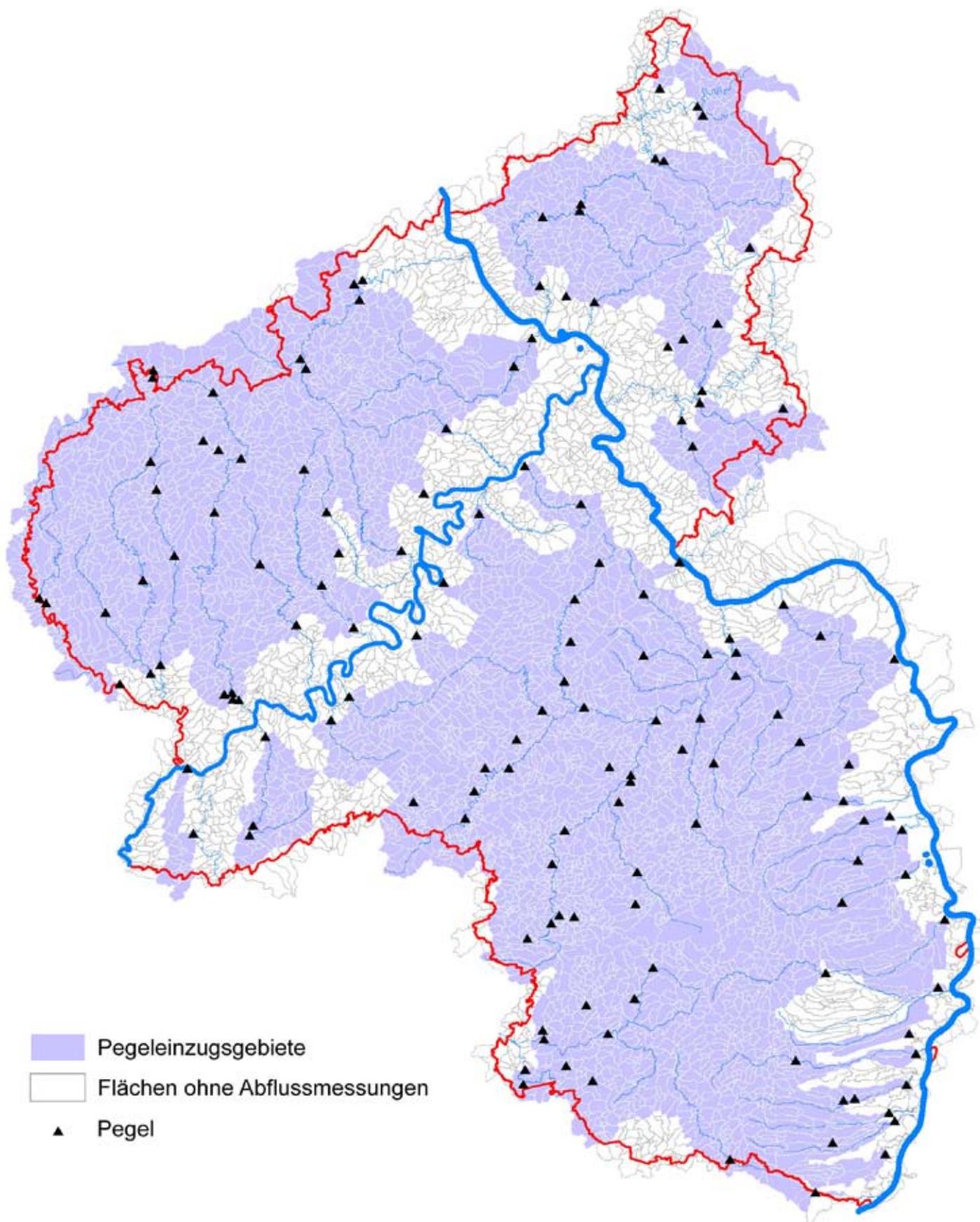


Abb. 4.1 Pegeleinzugsgebiete und Gewässerabschnitte des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis

Unter der Annahme, dass ein Gewässer in Trockenwetterzeiten ausschließlich von Grundwasser gespeist wird, kann man aus dem Trockenwetterabfluss – bestimmt an einer Abflussmessstelle (Pegel) – und der Fläche des dazugehörigen Einzugsgebiets auf die Grundwasserneubildung schließen. Berechnet werden kann sie aus Abflusswerten nach den Verfahren von WUNDT und KILLE. Im Land stehen 137 Pegel mit geeigneten Messreihen einer Auswertung zur Verfügung (Abb. 4.1). Damit erhält man Werte der mittleren vieljährigen Grundwasserneubildung für etwa drei Viertel der Landesfläche in den entsprechenden Pegeleinzugsgebieten. Um auch für die übrigen Gebiete Aussagen treffen zu können, wurden 23 Teilflächen nach hydrologischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten abgegrenzt. Jeder Teilfläche wurden ein oder mehrere gebietstypische Referenzpegel – meist in der Nachbarschaft – zugewiesen. Die Neubildungswerte in den Einzugsgebieten der Referenzpegel wurden damit als Eingangswerte für die Berechnung in den entsprechenden Teilflächen festgelegt.

Zur flächendifferenzierten Darstellung der Neubildung wurden die für die Pegeleinzugsgebiete ermittelten Werte nach hydrologischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten in die Kleinstzeugsgebiete des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses\*) übertragen. Dazu wurden den Grundwasserlandschaften gebietstypische Neubildungshöhen, die aus Einzeluntersuchungen zur Verfügung standen, zugewiesen (Tab. 4.1) und als Verteilungsfunktion der für die Pegel- und Pegelzwischeneinzugsgebiete ermittelten Werte genutzt.

\*) Zu jedem Abschnitt des Gewässernetzes gehört eine entsprechende Fläche im Gelände, das oberirdische Einzugsgebiet. Es wird von einem Fließgewässer entwässert und von Wasserscheiden begrenzt. Das Gewässerkundliche Flächenverzeichnis von Rheinland-Pfalz untergliedert die Landesfläche in 7.634 Einzugsgebiete.

Tab. 4.1: Geschätzte Grundwasserneubildungsraten in den Grundwasserlandschaften

Grundwasserlandschaft	Mittlere Grundwasserneubildung	
	[mm/a]	[l/skm <sup>2</sup> ]
1 Quartäre und pliozäne Sedimente	100	3,17
2 Quartäre Magmatite	200	6,34
3 Tertiäre Kalksteine	50	1,59
4 Tertiäre Mergel und Tone	25	0,79
5 Tertiäre Bruchschollen d	50	1,59
6 Tertiäre Vulkanite	90	2,85
7 Sandsteine des Lias	140	4,44
8 Muschelkalk und Keuper	180	5,71
9 Buntsandstein	200	6,34
10 Rotliegend-Sedimente	50	1,59
11 Rotliegend-Magmatite	40	1,27
12 Devonische Kalksteine	130	4,12
13 Devonische Quarzite	80	2,54
14 Devonische Schiefer und Grauwacken	40	1,27

Bei allen Pegelauswertungen wurde die Messreihe 1979-1998 benutzt, zum einen weil sie für alle Pegel zur Verfügung stand, zum anderen weil sie mittlere hydrologische Verhältnisse zeigt, d. h., Niederschläge und Abflüsse liegen im vieljährigen Mittel.

Um die natürliche Grundwasserneubildungsrate (GWNEUnatürlich) zu erhalten, wurden die berechneten Werte (GWNEUgemessen) um die im jeweiligen Einzugsgebiet stattfindende Grundwasserentnahme sowie die Einleitungen von Kläranlagen nach der Formel

$$GWNEU_{natürlich} = GWNEU_{gemessen} + \text{Entnahmen} - \text{Einleitungen}$$

korrigiert.

Damit erhält man die mittlere natürliche Grundwasserneubildungsrate der Messreihe 1979-1998 für 7.634 Kleinstzeugsgebiete des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses. Das Ergebnis liegt als digitale Karte vor mit deren Hilfe man auch Neubildungsmengen in beliebigen Einzugsgebieten aggregieren kann (Abb. 4.2).

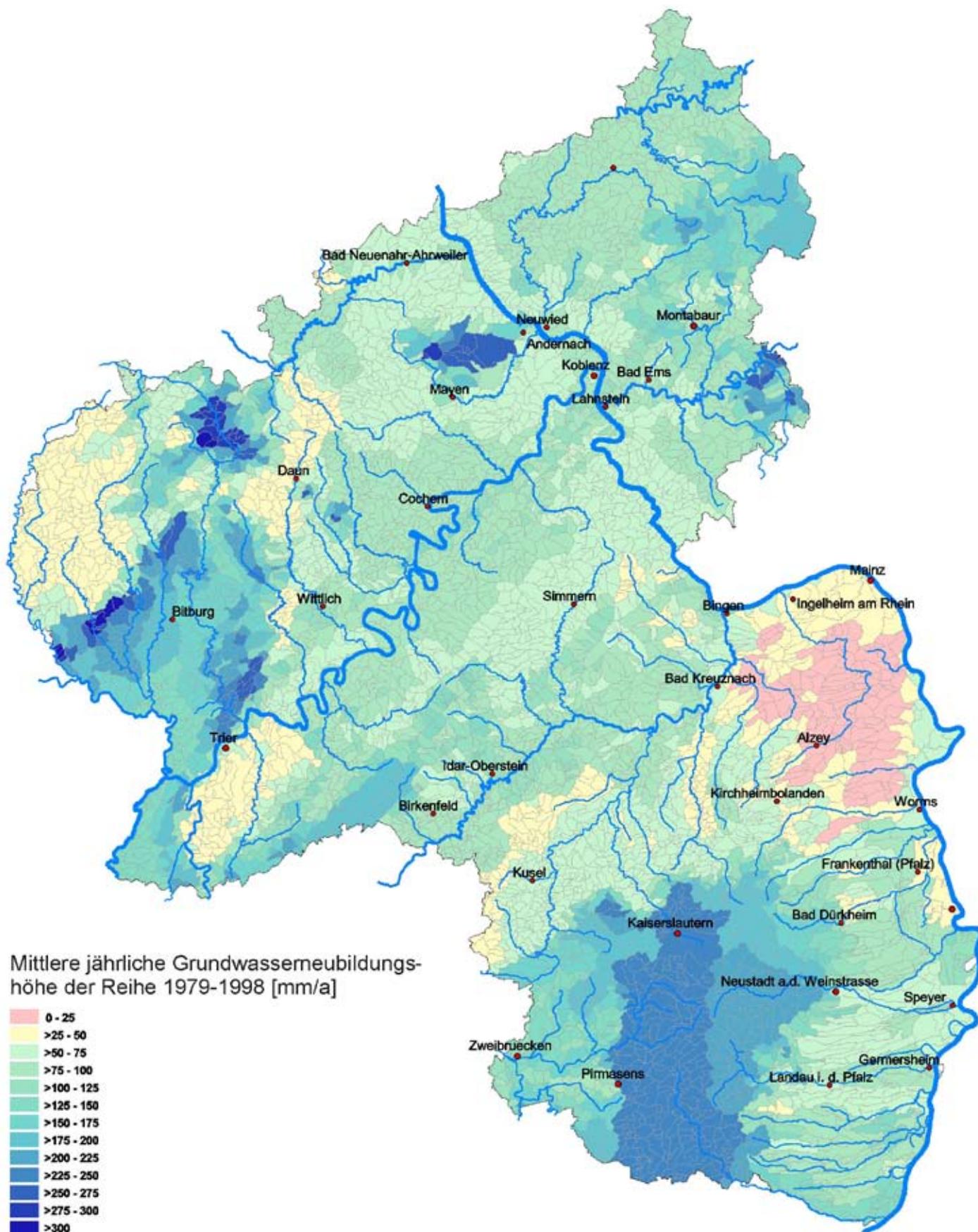


Abb. 4.2 Mittlere jährliche Grundwasserneubildungshöhe der Reihe 1979 – 1998

Unterschiedliche klimatische, bodenkundliche und geologische Gegebenheiten bedingen eine ungleiche Verteilung der Grundwasservorräte im Land.

- Überdurchschnittliche Niederschläge in Verbindung mit guten Speichereigenschaften der Gesteine bewirken hohe Neubildungsraten im Pfälzerwald, im Bitburger Land, im Raum Gerolstein, im Vulkangebiet der Osteifel und im Raum Hahnstätten.
- Trotz zum Teil hoher Niederschläge liegt die Grundwasserneubildung im Rheinischen Schiefergebirge und im Nordpfälzer Bergland in Folge schwerer Böden und geringer Speicherkapazität der Gesteine weit unter dem Landesdurchschnitt. Das Rheinhessische Tafel- und Hügelland ist aufgrund geringer Niederschläge besonders grundwasserarm.
- Gute Speichereigenschaften von Böden und Gesteinen in Verbindung mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen führen im Gebiet der Vorderpfalz, im Neuwieder Becken sowie im Raum Mainz/Bingen zu mittleren Neubildungsraten.

Die für die einzelnen Grundwasserlandschaften zugewiesenen, geschätzten Neubildungsraten (vgl. Tab. 4.1) bestätigen sich durch die Abflussauswertungen in den meisten Grundwasserlandschaften recht gut, in einigen weichen sie jedoch deutlich ab. Insbesondere in den Grundwasserlandschaften **Tertiäre Vulkanite, Devonische Kalksteine, Devonische Quarzite und Devonische Schiefer und Grauwacken** liegt die aus Abflüssen berechnete Neubildung deutlich über der geschätzten (Tab. 4.2), was auf das überdurchschnittlich hohe Niederschlagsdargebot in den Hochlagen der Mittelgebirge zurückzuführen ist.

Das **mittlere natürliche Grundwasserdargebot** beläuft sich 2.024 Mio. m<sup>3</sup>/a bezogen auf die Landesfläche. Das entspricht einer Neubildungshöhe von 102 mm/a oder 12 % des mittleren Niederschlagsdargebots von etwa 16.300 Mio. m<sup>3</sup>/a. Für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers ist jedoch das **nutzbare Grundwasserdargebot** maßgebend. Es wird durch die Faktoren Grundwasserbeschaffenheit, ökologische Verträglichkeit der Entnahme, technische Machbarkeit der Entnahme und nicht zuletzt durch die Wirtschaftlichkeit der Entnahme limitiert. Die Berechnungsergebnisse haben somit in Bezug auf Bewirtschaftungsfragen einen orientierenden Charakter; die vor Ort gewinnbare Grundwassermenge muss im Einzelfall genau ermittelt werden.

Tab. 4.2: Berechnete Grundwasserneubildungsraten in den Grundwasserlandschaften

Grundwasserlandschaft		Fläche [km <sup>2</sup> ]	geschätzte mittlere	aus Abflussmessungen berechnete	
			Grundwasserneubildungsrate [mm/a]	mittlere Grundwasserneubildungsrate [mm/a]	[Mio. m <sup>3</sup> ]
1	Quartäre und pliozäne Sedimente	1.860	100	81	151
2	Quartäre Magmatite	180	200	211	38
3	Tertiäre Kalksteine	503	50	37	19
4	Tertiäre Mergel und Tone	799	25	31	25
5	Tertiäre Bruchschollen	148	50	95	14
6	Tertiäre Vulkanite	399	90	160	64
7	Sandsteine des Lias	44	140	180	8
8	Muschelkalk und Keuper	840	125	165	139
9	Buntsandstein	2.947	200	197	580
10	Rotliegend Sedimente	1.976	60	71	141
11	Rotliegend-Magmatite	489	50	69	34
12	Devonische Kalksteine	283	130	172	49
13	Devonische Quarzite (und Hangschutt)	1.104	80	117	129
14	Devonische Schiefer und Grauwacken	8.280	40	77	635
Rheinland-Pfalz		19.852		102	2.024

## 4 Grundwasserneubildung

Mit der aus Abflussmessungen errechneten Grundwasserneubildung kann die Wasserhaushaltsbilanz

$$N = V + A_o + A_u$$

des Landes für mittlere hydrologische Verhältnisse detailliert aufgestellt werden. Dabei entspricht  $A_u$  (grundwasserbürtiger Abfluss) für lange Beobachtungsreihen der Grundwasserneubildungsrate (Abb. 4.4).

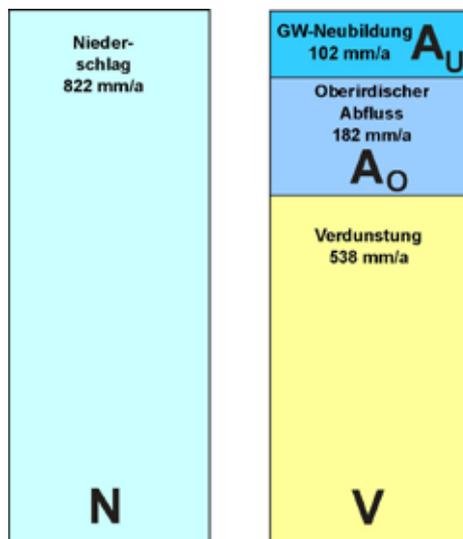


Abb. 4.4 Wasserhaushaltsbilanz für Rheinland-Pfalz

Vom Niederschlagsdargebot ( $N$ ) in Höhe von durchschnittlich 822 mm/a verdunsten ( $V$ ) 538 mm/a, der Gesamtabfluss in Höhe von 284 mm/a teilt sich in 182 mm/a oberirdischen ( $A_o$ ) und 102 mm/a unterirdischen ( $A_u$ ) Abfluss auf.

Dem mittleren natürlichen Grundwasserdargebot in Höhe von 2.024 Mio. m<sup>3</sup>/a stehen Entnahmen für die öffentliche Wasserversorgung in Höhe von 233 Mio. m<sup>3</sup>/a und für die Brauchwasserversorgung von Industrie und Gewerbe in Höhe von 86 Mio. m<sup>3</sup>/a gegenüber. Die Hälfte der rheinland-pfälzischen Grundwasserentnahmen erfolgt in der Grundwasserlandschaft **Quartäre und pliozäne Sedimente** vorwiegend im Bereich der Rheinniederung. Hier wird nicht nur in der Fläche neu gebildetes sondern auch durch Uferfiltrat angereichertes Grundwasser gefördert. Weitere 20 % der Gesamtentnahme finden in der Grundwasserlandschaft **Buntsandstein** des Pfälzerwaldes, der Nordeifel und des Bitburger Landes statt. Die restliche Entnahmemenge verteilt sich auf die Grundwasserlandschaften mit geringerem nutzbarem Dargebot.

Niederschlag	16.318 Mio. m <sup>3</sup> /a
Verdunstung	10.680 Mio. m <sup>3</sup> /a
oberirdischer Abfluss	3.613 Mio. m <sup>3</sup> /a
unterirdischer Abfluss	2.024 Mio. m <sup>3</sup> /a



Ob Grund- bzw. Trinkwasser zukünftig in gleichem Umfang für den Menschen und die Vegetation zur Verfügung steht, hängt maßgeblich vom Klimazustand der Erde ab. Die Auswirkungen der gegenwärtigen globalen Temperaturerhöhung auf das Klima und den Wasserhaushalt stehen daher im Mittelpunkt der hydrologischen und klimatologischen Forschung. Besonders der heiße und trockene Sommer 2003 und die darauf folgenden trockenen Winterhalbjahre bis 2006 haben den Menschen in Mitteleuropa drastisch vor Augen geführt, dass die Ressource Wasser in Trockenzeiten begrenzt ist und verantwortungsvoll bewirtschaftet werden muss.

### ■ Klimatische Wasserbilanz

Die **klimatische Wasserbilanz**, also die Differenz von Niederschlagshöhe und Pflanzen- und Bodenverdunstung (Evapotranspiration) für einen Betrachtungsort in einer Betrachtungszeitpanne, ist für die Beurteilung des Naturhaushalts von entscheidender Bedeutung.

Änderungen im Langzeitverhalten des Niederschlags und der Verdunstung, sei es in den Mittelwerten als auch in den Extremwerten, haben eine große Bedeutung für wasserwirtschaftliche Fragestellungen wie beispielsweise Grundwasserbewirtschaftung, Oberflächengewässerbewirtschaftung und Häufigkeit von Hochwasserereignissen. Die Kenntnis der statistischen Eigenschaften der Größen Niederschlag und Verdunstung unter den heutigen Klimabedingungen bildet dabei eine ebenso wichtige Grundlage wie die Abschätzung möglicher zukünftiger Veränderungen dieser Wasserhaushaltsgrößen mittels Prognoserechnungen.

Während Prognoserechnungen auf der Vorgabe von Klimaszenarien beruhen und damit nur die Bandbreite der möglichen Wasserhaushaltsentwicklung aufzeigen können, erlaubt die Synopse (Vergleich) von vieljährigen Grundwasserstands-

ganglinien und Niederschlagsgrafiken relativ gesicherte Aussagen zur klimatischen Wasserbilanz zurückliegender Zeitperioden.

In Rheinland-Pfalz werden in den unterschiedlichen Grundwasserlandschaften eine Vielzahl von Grundwasserstandsmessstellen (Beobachtungsrohre) beobachtet, manche schon seit Anfang der 1950er Jahre. Die statistische Auswertung von Grundwasserstandsganglinien über einen Zeitraum von nahezu 60 Jahren zeigt aber auch, dass die berechneten Trendgeraden keine gesicherten Aussagen über die Klima- bzw. die Grundwasserentwicklung in der Zukunft geben können.

Am Beispiel der Grundwasserstandsmessstelle 1019 Winden in der Südpfalz (Abb. 5.1) zeigt die Zeitperiode der ersten 28 Jahre einen steigenden Trend, die Zeitperiode der letzten 28 Jahre einen deutlich fallenden Trend und über die gesamten 56 Jahre Beobachtungszeit einen leicht fallenden Trend der Grundwasserstände.

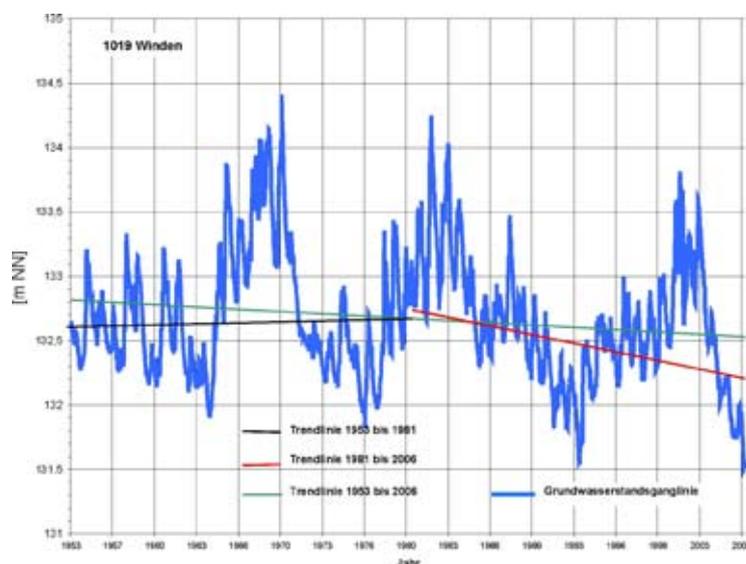


Abb. 5.1 Grundwasserstandsganglinie der Messstelle 1019 Winden in der Südpfalz

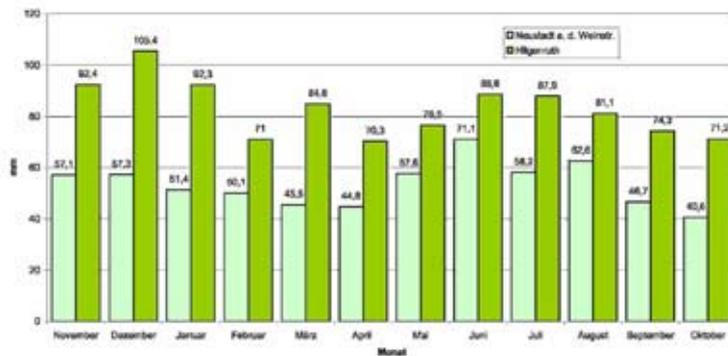
## 5 Klima- und Grundwassersynopse

Die mit Klimamodellen prognostizierte Erhöhung der Winterniederschläge, verbunden mit einem Anstieg der Grundwasserneubildungsraten bzw. Grundwasserstände, lassen sich aus den vergangenen rd. 60 Jahren Beobachtungszeit, zumindest für die Region der Südpfalz, in der Ganglinie nicht erkennen.

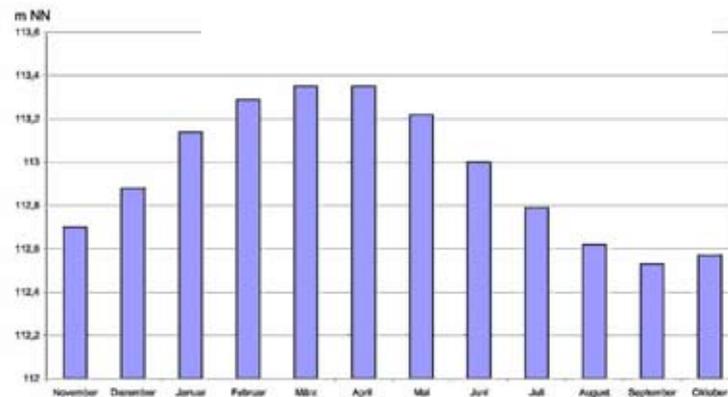
Im Folgenden soll in diesem Bericht dem/der interessierten Leser/in ein Überblick der Grundwasserentwicklung in Rheinland-Pfalz gegeben werden. Vorab einige grundsätzliche Aussagen um die nachfolgenden Grafiken von ausgesuchten Grundwasserstandsganglinien zu verstehen:

### ■ Erneuerung des Grundwasser

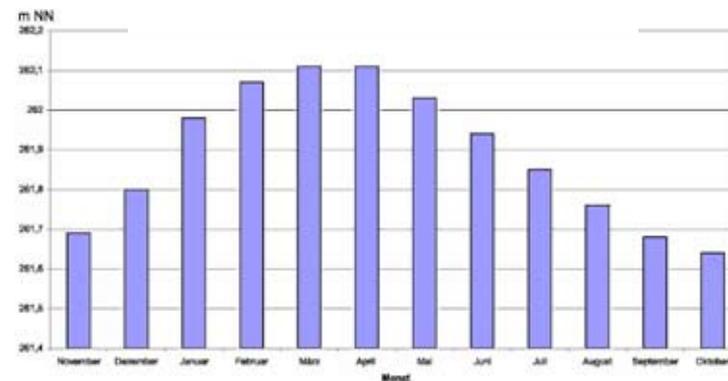
Die **Erneuerung des Grundwassers** findet vor allem in der vegetationsfreien Zeit des hydrologischen Winterhalbjahrs (November bis April) statt. Während der Sommermonate (Mai bis Oktober) überwiegt die Evapotranspiration (Pflanzenverdunstung und Bodenverdunstung), d. h., Sommerniederschläge füllen den Bodenwasserspeicher nur in geringem Maß auf, eine Zusicke- rung zum Grundwasser findet kaum statt. Hier- aus ergeben sich die typischen jahreszeitlichen Schwankungen von Grundwasserständen und



vieljährige Monatsmittelwerte des Niederschlags an den DWD-Stationen Neustadt a.d. Weinstraße (Pfalz) Hilgenroth (Westerwald)



vieljährige Monatsmittelwerte der Grundwasserstandsmessstelle Böbingen (Pfalz)



vieljährige Monatsmittelwerte der Grundwasserstandsmessstelle Barnberscheid (Westerwald)

Abb. 5.2 Gegenläufiges Verhalten von Niederschlag und Grundwasserneubildung

Quellschüttungen mit einem Anstieg im Winter und einem Absinken im Sommer. Obwohl über das Sommerhalbjahr verteilt mehr Niederschlag fällt als im Winterhalbjahr, findet nahezu die komplette Grundwasserneubildung im Winterhalbjahr statt (Abb. 5.2).

Bevorratung und Verbrauch von Grundwasser unterliegen neben den jahreszeitlichen Schwankungen auch einem vieljährigen Wechsel von „Nass- und Trockenzeiten“.

Die Schwankungshöhe des Grundwassers (Amplitude) hängt von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens und des Speichergesteins (Aquifer) ab. Typisch für den aus Sanden und Kiesen aufgebauten Porengrundwasserleiter des Oberrheingrabens ist das hohe nutzbare Porenvolumen (bis 20 Vol.-%) mit einer geringen

Schwankungsbreite ( $< 3 \text{ m}$ ) sowie einem schwach ausgeprägten Jahresgang des Grundwasserstands. In einem Kubikmeter des Aquifers können bis zu 200 Liter Grundwasser gespeichert und somit Nass- oder Trockenperioden durch Grundwasserbevorratung und -verbrauch gut ausgeglichen werden. In Kluft- und Karstgrundwasserleitern, wie z.B. in der Grundwasserlandschaft Muschelkalk und Keuper im Bitburger-Land oder in der Grundwasserlandschaft Devonische Kalksteine in der nordwestlichen Eifel (Raum Schönecken/Gerolstein) beträgt der nutzbare Hohlraumanteil weniger als 5 Vol.-%. Durch die geringere Speichermöglichkeit solcher Aquifere ist die Schwankungsbreite des Grundwassers jahreszeitlich und periodisch mit einer Amplitude von mehr als 8 m sehr groß (Abb. 5.3).

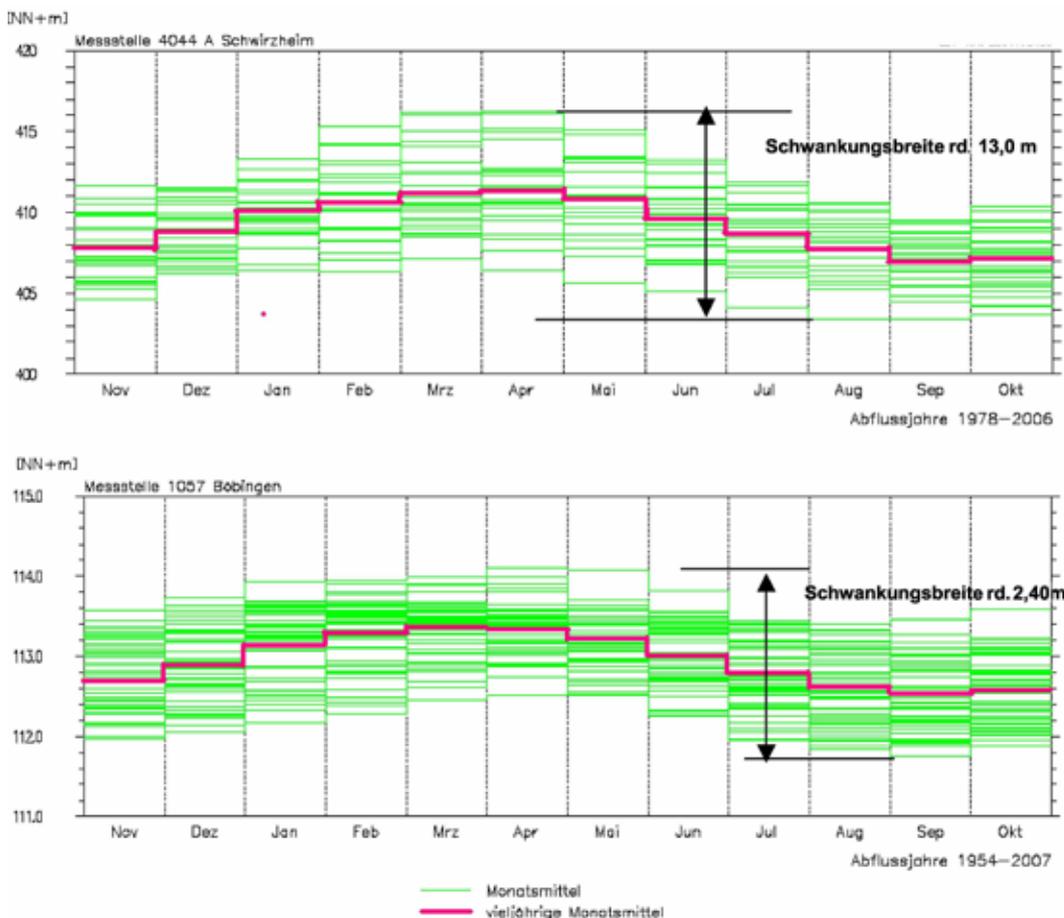


Abb. 5.3 Jahresganglinienvergleich der Grundwasserstände an der Messstelle 4044 A Schwirzheim (Kluftgrundwasserleiter „Devonische Kalksteine“) und der Messstelle 1057 Böbingen (Porengrundwasserleiter „Quartäre Sedimente“)

## 5 Klima- und Grundwassersynopse

Die je nach Speichergestein mögliche Menge an Grundwasserbevorratung spiegelt sich auch in den Quellschüttungsganglinien wider. Quellen im Buntsandstein des Pfälzerwaldes, einem kombinierten Kluft-/Porengrundwasserleiter mit guten Speichereigenschaften, haben auch in Trockenzeiten eine „Basisschüttung“. Dagegen gehen wegen der schlechteren Speichereigenschaften der Devonischen Schiefer, Grauwacken und Quarzite von Eifel, Hunsrück und Westerwald die Schüttungen von Quellen über das Sommerhalbjahr stark zurück oder sie versiegen gänzlich.

Im Grundwasserbericht 2000 [3] wurde der Wasserhaushalt der Dekaden 1980-1989 und 1990-1999 beschrieben. Im Folgenden wird der Grundwasserhaushalt an Hand von Niederschlagsgrafiken und Grundwasserstandsganglinien für den Zeitraum der Abflussjahre 2000 bis 2006 (Abflussjahr beginnt mit dem November des Vorjahres und endet Ende Oktober des aktuellen Jahres) dargestellt und bewertet.

Um eine Auswertung der klimatischen Wasserbilanz vorzunehmen und damit die Grundwasserneubildung in den unterschiedlichen Grundwasserlandschaften von Rheinland-Pfalz beschreiben zu können, wurde auf Stationsdaten der Dienstleistungszentren Ländlicher Raum in Rheinland-Pfalz zurück gegriffen. Auf der Internet-Seite **AgrarMeteorologie** [4] befinden sich für die entsprechenden Stationen monatlichen Niederschlagswerte, vieljährige Mittelwerte sowie Daten der potenziellen Evapotranspiration (Gesamtverdunstung) und der klimatischen Wasserbilanz. In der Nähe der ausgewählten Klimastationen (Abb. 5.4) befinden sich auch Grundwassermessstellen des Landesgrundwasserdienstes, so dass die Grundwasserneubildung der Zeitreihe „Abflussjahr 2000 bis 2006“ an Hand der Klimawerte und Grundwasserstandsganglinien gut beschrieben werden kann.

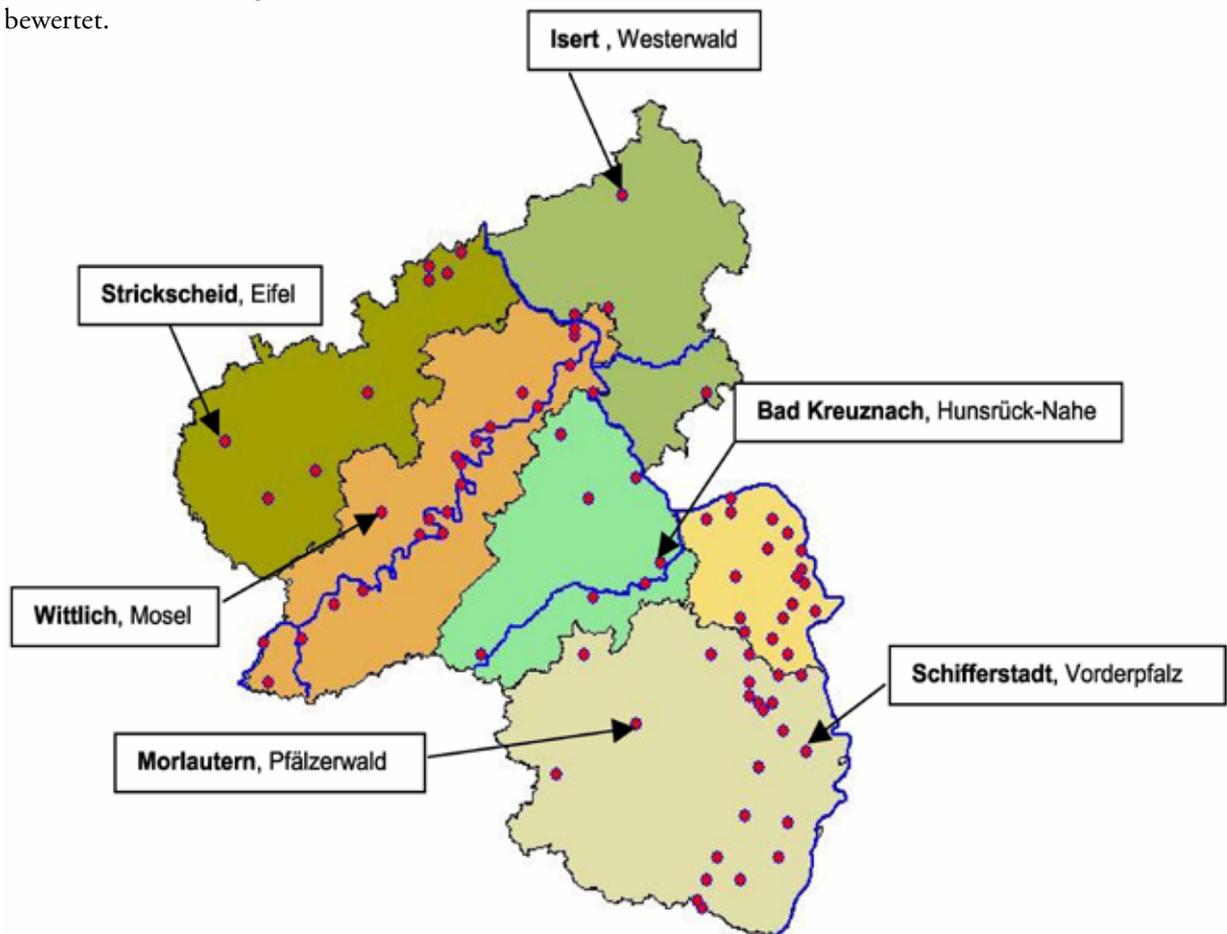


Abb. 5.4 Ausgewählte Klimastationen der Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz [4]

Im **Norden des Landes (Westerwald)** fallen die höchsten Niederschläge mit über 1000 mm/a. An der **Wetterstation Isert** liegt das vieljährige Mittel (Reihe 1951-80) bei 795 mm/a. Trocken- und Nassjahre sind deutlich weniger ausgeprägt als im südlichen Landesteil. Selbst im ausgesprochen trockenen Abflussjahr 2003 lag der Jahresniederschlag mit 802 mm im nördlichen Landesteil noch im Bereich des vieljährigen Mittelwertes. Auch die jährliche Klimatische Wasserbilanz ist

über den gesamten Beobachtungszeitraum positiv, sie schwankt in Trockenjahren zwischen +166 mm (2003) bzw. +136 mm (2006) und +559 mm im Nassjahr 2002 (Abb. 5.5). Da der Grundwasserleiter (Devonische Schiefer und Grauwacken) nur ein geringes Kluftvolumen aufweist, kann nur wenig Grundwasser gespeichert werden. Trotz positiver Wasserbilanz kommen im nördlichen Westerwald maximal 100 mm/a im vieljährigen Mittel der Grundwasserneubildung zu Gute, der

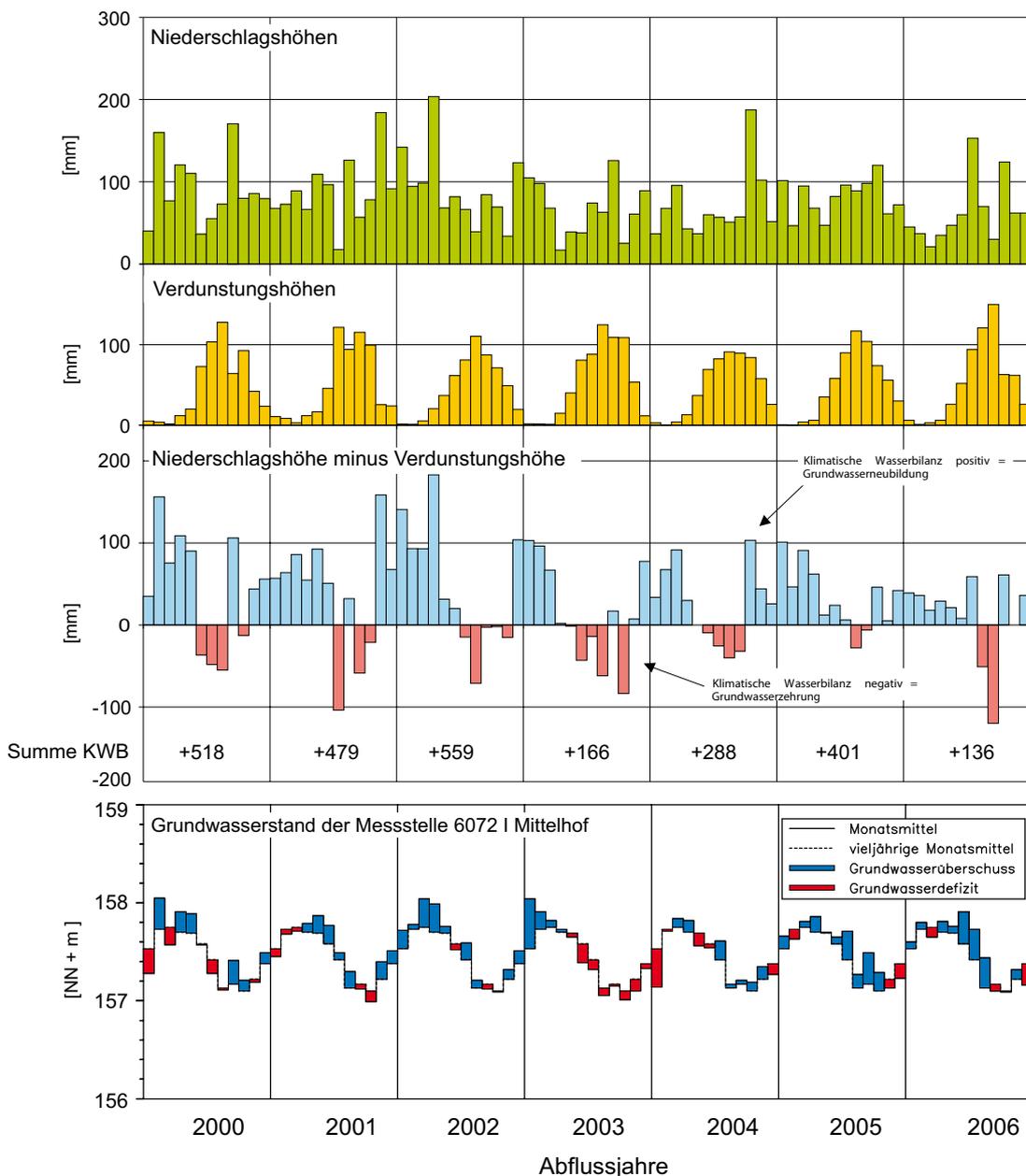


Abb. 5.5: Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen in der Region Westerwald/Station Isert

Rest der positiven Wasserbilanz fließt als Oberflächen- und/oder Zwischenabfluss (Direktabfluss) den Vorflutern zu.

Die Ganglinie der Grundwasserstandsmessstelle 6072 I Mittelhof zeigt dementsprechend nur eine geringe Schwankungsbreite; Nass- oder Trockenperioden sind trotz des hohen Niederschlagsdargebots kaum ausgeprägt. Der trockene Sommer 2003 führte nur zu einem geringen Abfall der Grundwasserstände unter die vieljährigen Monatsmittelwerte.

Im **Nordwesten (Westeifel)** fallen ebenfalls mit Werten von mehr als 900 mm/a hohe Niederschläge. Die Wetterstation **Strickscheid** zeigt im vieljährigen Mittel (Reihe 1951-80) mit 791 mm/a Niederschlag die gleiche Größenordnung wie die Wetterstation Isert im Westerwald. Auch im nordwestlichen Landesteil sind Trocken- und Nassjahre deutlich weniger ausgeprägt als im südlichen Landesteil. Im trockenen Abflussjahr 2003 lag der Jahresniederschlag mit 719 mm rd. 10 % unter dem vieljährigen Mittelwert. Die jährliche Klimatische Wasserbilanz ist über den gesamten Beobachtungszeitraum positiv, sie schwankt zwischen +41 mm im Trockenjahr 2003 und +595 mm im Nassjahr 2000 (Abb. 5.6). Da der Grundwasserleiter (Devonische Schiefer und Grauwacken) ein äußerst geringes Kluftvolumen aufweist, kommen in der Westeifel nur rd. 50 mm/a im vieljährigen Mittel der Grundwasserneubildung zu Gute, der

Rest der positiven Wasserbilanz fließt als Oberflächen- und/oder Zwischenabfluss (Direktabfluss) den Vorflutern zu.

Die Ganglinie der Grundwasserstandsmessstelle 4166 Lichtenborn zeigt wie die Grundwasserstandsmessstelle 6072 I Hövels nur eine geringe Schwankungsbreite. Nass- und Trockenperioden sind trotz des hohen Niederschlagsdargebots wenig ausgeprägt. Der trockene Sommer 2003 führte nur zu einem geringen Abfall der Grundwasserstände unter die vieljährigen Monatsmittelwerte.

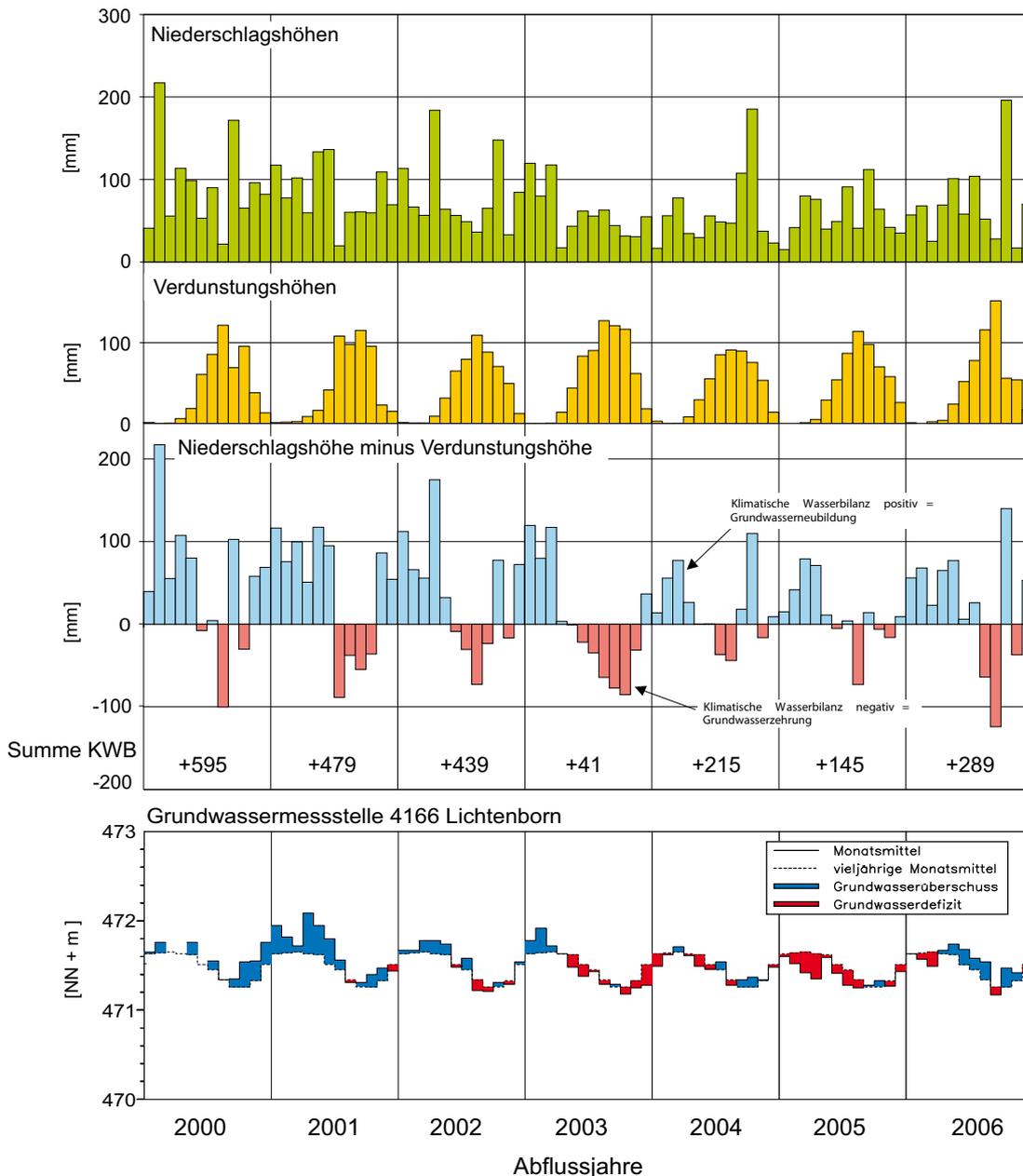


Abb. 5.6 Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen in der Region Westeifel/Station Strickscheid

Im **Westen des Landes** befindet sich die **Wittlicher Senke**, die aus Sedimentgesteinen des Rotliegend aufgebaut wird (Sandsteine und Konglomerate). Wasserwegsam sind lediglich Klüfte und Zerrüttungszonen im Bereich von Störungen mit einem Porenvolumen von weniger als 3 %. An der Wetterstation Wittlich liegt das vieljährige Mittel des Niederschlags bei 791 mm/a. Die jährliche Klimatische Wasserbilanz lag im Nassjahr 2000 bei +432 mm und in den Trockenjahren 2003 bei +57 mm sowie 2005 bei +17 mm (Abb. 5.7). Durch einen relativ geringen Oberflächenabfluss-

anteil spiegelt sich die Klimatische Wasserbilanz deutlich in der Grundwasserneubildung wider; sie liegt im Mittel bei 110 mm/a.

Die Ganglinie der Grundwasserstandsmessstelle 4031 Kinderbeuren zeigt eine Schwankungsbreite von rd. 4,50 m. Nass- oder Trockenperioden sind auf Grund der stark schwankenden Klimatischen Wasserbilanz deutlich ausgeprägt. Auf Grund der defizitären Grundwasserneubildung mit Beginn des Abflussjahres 2003 fallen die Grundwasserstände deutlich unter die vieljährigen Mittelwerte.

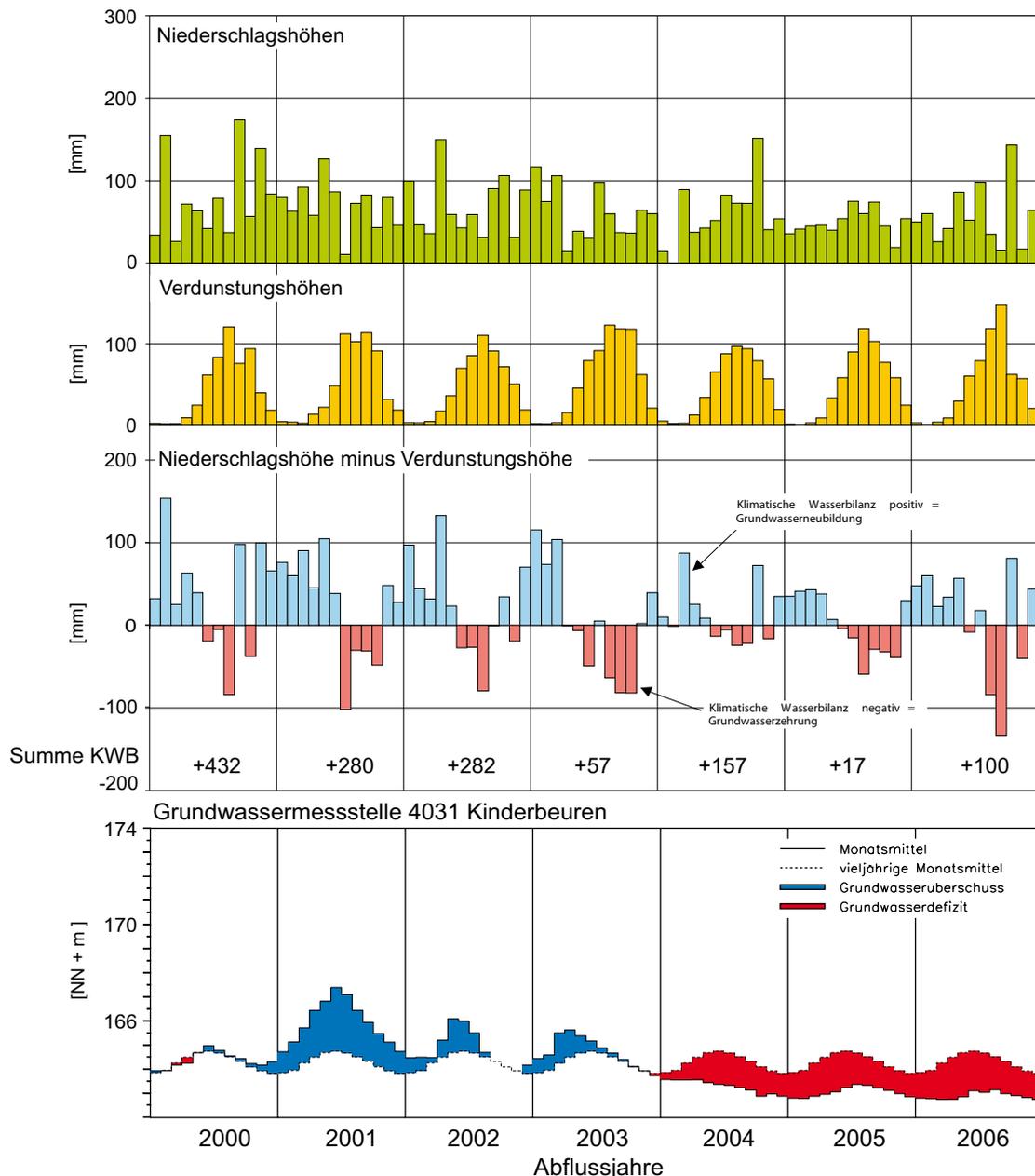


Abb. 5.7 Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen in der Wittlicher Senke/Station Wittlich

Das **Nordpfälzer Bergland**, als Teil der Saar-Nahe-Senke, wird fast ausschließlich von Rotliegend-Sedimenten aufgebaut. Im Gegensatz zur Region Wittlich fallen im **Raum Bad Kreuznach** nur geringe Niederschläge; das vieljährige Mittel beträgt an der Wetterstation Bad Kreuznach 512 mm/a, also nur 65 % des Landesdurchschnitts.

Die Klimatische Wasserbilanz beträgt im Nassjahr 2000 +100 mm bzw. im Jahr 2002 +44 mm. Danach folgt eine Trockenperiode mit Beginn des

Abflussjahres 2003 mit -262 mm und den darauf folgenden Jahren mit jeweils rd. -190 mm (Abb. 5.8), d. h., ab dem Jahr 2003 findet keine Grundwasserneubildung statt. In der Region liegt die Grundwasserneubildungsrate bei etwa 60 mm/a.

Die Ganglinie der Messstelle 5067 Bad Kreuznach zeigt eine geringe Schwankungsbreite des Grundwasserstandes, was auf einen relativ geringen Grundwasserumsatz schließen lässt. Auf Grund der defizitären Grundwasserneubildung mit Beginn des Abflussjahres 2003 bis Ende 2006, fallen

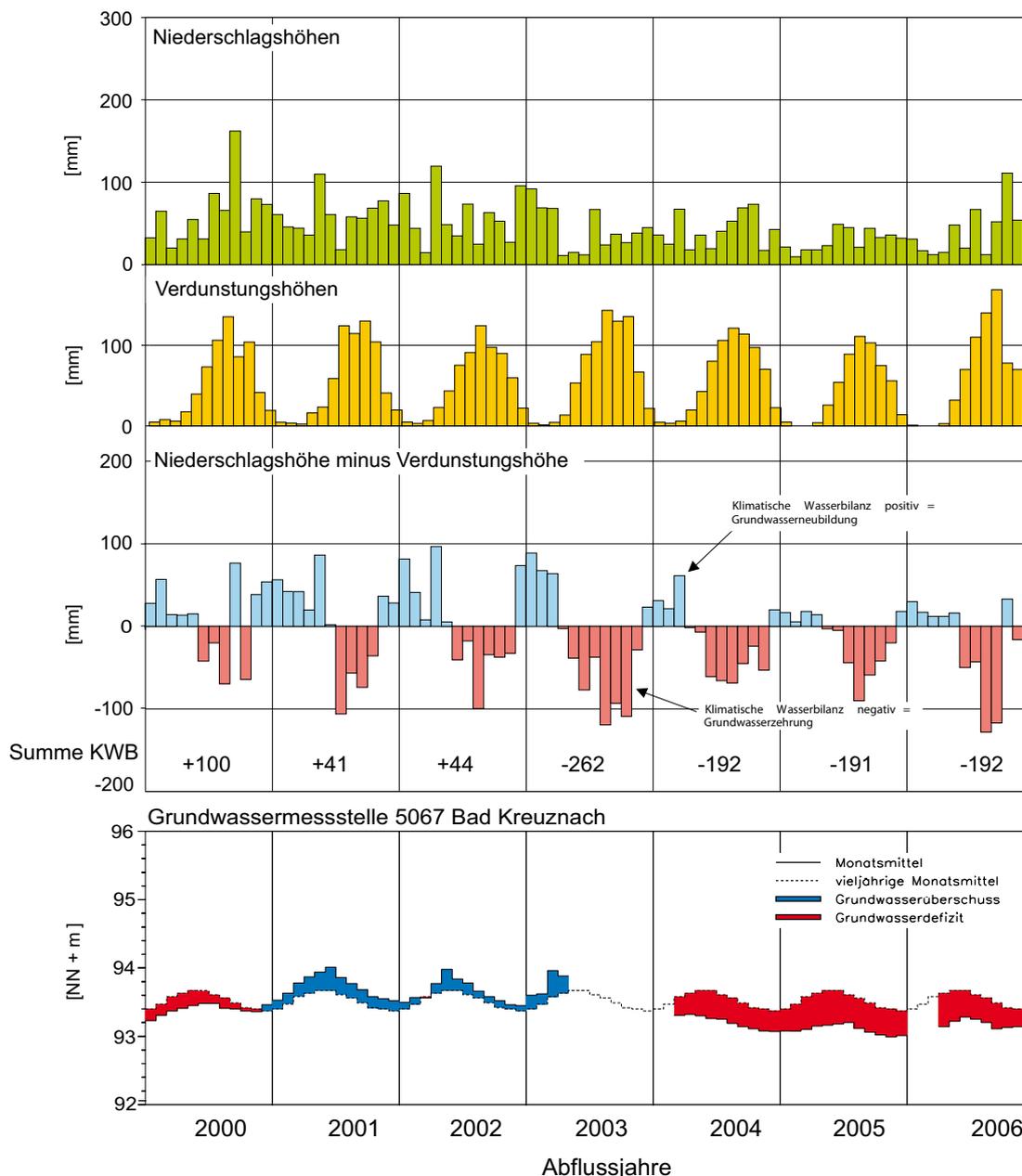


Abb. 5.8 Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen im Nordpfälzer Bergland/Station Kreuznach

die Grundwasserstände deutlich unter die vieljährigen Mittelwerte. In einem normalen Winterhalbjahr von November bis April (z. B. 2000/2001 oder 2001/2002) fallen rd. 350 mm Niederschlag, in den Winterhalbjahren 2003/2004, 2004/2005 und 2005/2006 fielen dagegen nur 201, 139 und 143 mm Niederschlag. Aus den drei Winterhalbjahren summiert sich ein Niederschlagsdefizit in Höhe von rd. 570 mm bzw. die 1,6-fache Niederschlagsmenge eines Winters.

Der **südwestliche Landesteil (Pfälzerwald)** wird von Sedimenten des Buntsandsteins aufgebaut. Diese Grundwasserlandschaft ist gekennzeichnet durch ein gutes Speichervermögen des kombinierten Poren-/Kluftgrundwasserleiters.

Die Grundwasserneubildung beträgt im Mittleren Buntsandstein ca. 230 mm/a, eine der höchsten Neubildungsraten im Land. An der Wetterstation Morlautern wurde ein vieljähriges Mittel des Niederschlags von 692 mm/a gemessen, es liegt damit rd. 13 % unter dem vieljährigen Lan-

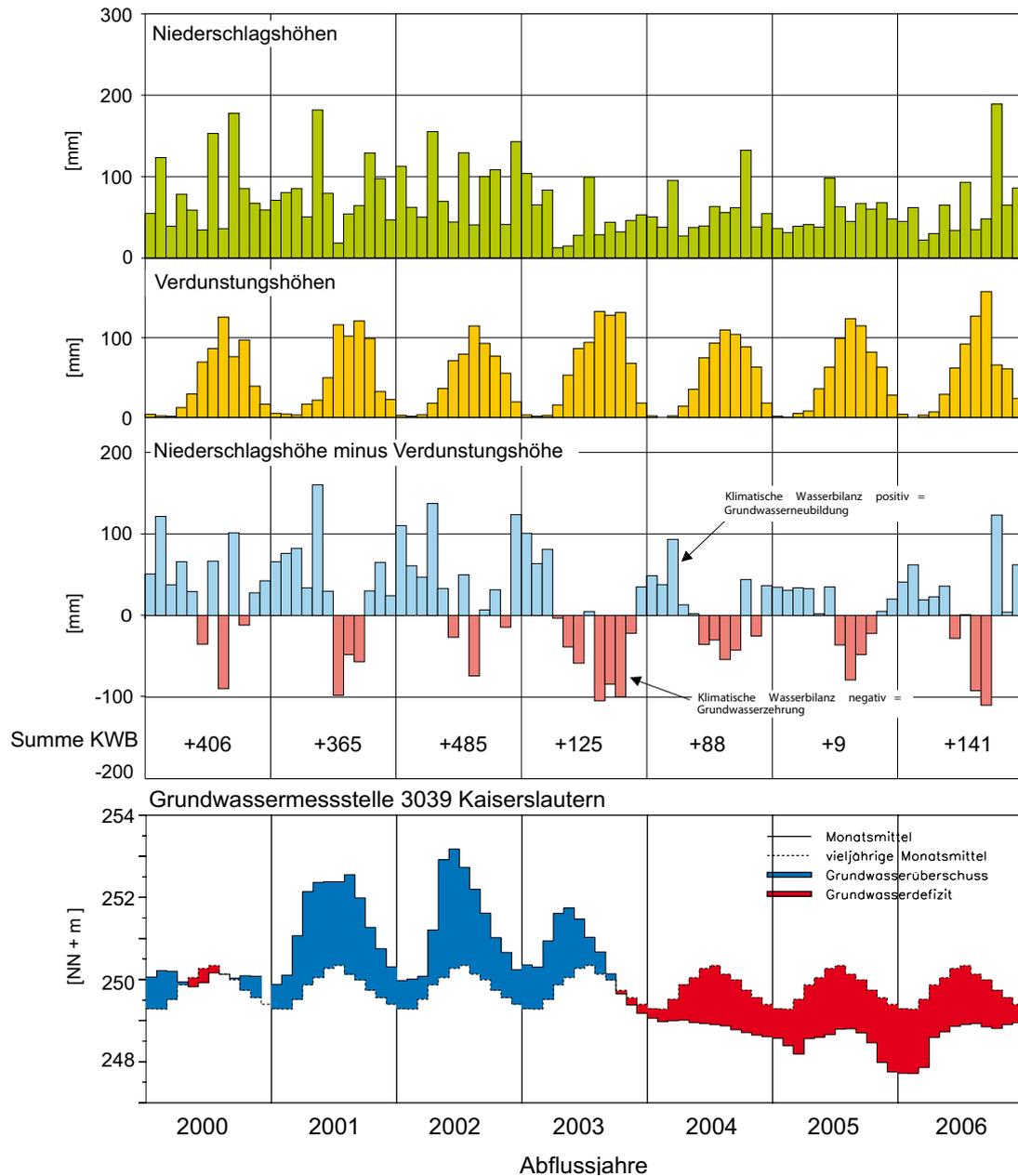


Abb. 5.9 Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen im Pfälzerwald/Station Morlautern

desdurchschnitt. Die jährliche Klimatische Wasserbilanz lag im Nassjahr 2002 bei +485 mm und in der darauf folgenden Trockenperiode im Abflussjahr 2003 bei +125 mm, 2004 bei +88 mm, 2005 bei +9 mm und 2006 bei +141 mm (Abb. 5.9).

Die Ganglinie der Grundwasserstandsmessstelle 3039 Kaiserslautern zeigt eine Schwankungsbreite von rd. 5 m. Nass- oder Trockenperioden sind auf Grund der unterschiedlichen jährlichen Klimatischen Wasserbilanz deutlich ausgeprägt.

Wegen der defizitären Grundwasserneubildung mit Beginn des Abflussjahres 2003 bis Ende 2006 fallen die Grundwasserstände deutlich unter die vieljährigen Mittelwerte. In einem normalen Winterhalbjahr fallen rd. 330 mm Niederschlag, in den Winterhalbjahren 2003/2004, 2004/2005 und 2005/2006 fielen dagegen nur 287, 283 und 258 mm Niederschlag. Aus den drei Winterhalbjahren summiert sich ein Defizit in Höhe von rd. 160 mm bzw. 50 % der Niederschlagsmenge eines Winters.

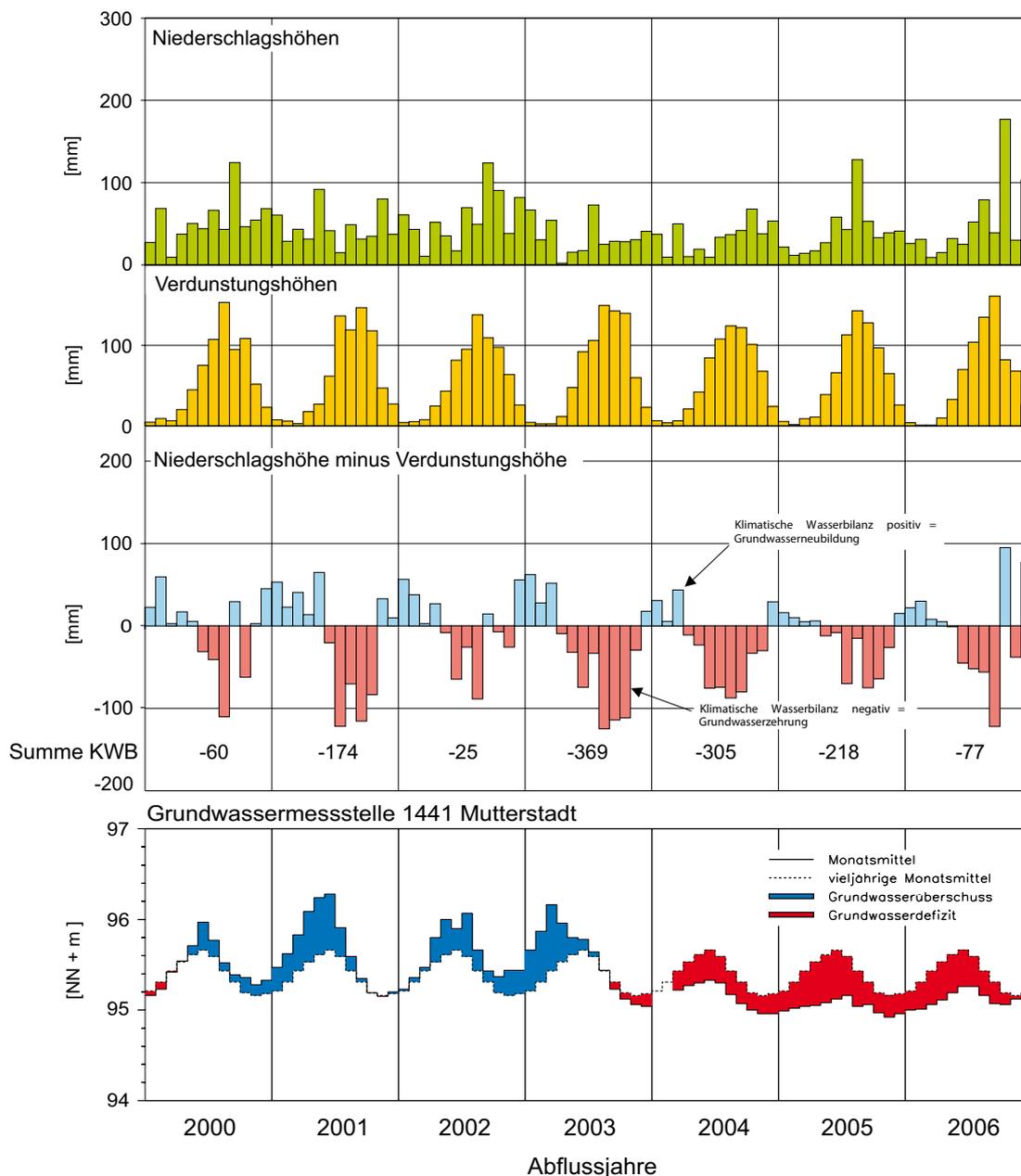


Abb. 5.10 Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstandsschwankungen in der Pfälzischen Rheinebene/Station Schifferstadt

Der **südliche Landesteil (Pfälzische Rheinebene)** wird durch die Grundwasserlandschaft Quartäre und pliozäne Sedimente geprägt. Der Porengrundwasserleiter wird aus locker gelagerten Sanden und Kiesen aufgebaut. Er besitzt ein hohes speichernutzbare Porenvolumen von bis zu 20 %, d. h., in einem Kubikmeter Sand und Kies können bis zu 200 Liter Grundwasser gespeichert werden. An der Wetterstation Schifferstadt wurden im vieljährigen Mittel 580 mm/a Niederschlag gemessen. Diese geringe Niederschlags-

menge in Verbindung mit dem trocken-warmen Klima (hohe Verdunstung) führt in Nass- und Trockenjahren stets zu einer negativen Klimatischen Wasserbilanz (Abb. 5.10). Sie beträgt im Abflussjahr 2003 -369 mm und in den darauf folgenden Jahren -305, -218 und -77 mm. Nur in Jahren mit überdurchschnittlichen Winterniederschlagssummen wird Grundwasser neu gebildet. Die Neubildungsrate beträgt etwa 90 mm/a im vieljährigen Mittel.

## 5 Klima- und Grundwassersynopse

Die Ganglinie der Grundwasserstandsmessstelle 1441 Mutterstadt zeigt eine geringe Schwankungsbreite von rd. 1,5 m. Nass- und Trockenperioden können durch das große Speichervermögen des Porengrundwasserleiters gut ausgeglichen werden. Wegen der defizitären Grundwasserneubildung mit Beginn des Abflussjahres 2003 bis Ende 2006 fallen die Grundwasserstände unter

die vieljährigen Mittelwerte. In einem normalen Winterhalbjahr von November bis April fallen rd. 200 mm Niederschlag, in den Winterhalbjahren 2003/2004, 2004/2005 und 2005/2006 fielen dagegen nur 134, 149 und 138 mm Niederschlag. Aus den drei Winterhalbjahren summiert sich ein Defizit in Höhe von rd. 180 mm bzw. die Niederschlagssumme eines Winterhalbjahres.



Klimastation

### ■ Fazit aus der Klima- und Grundwassersynopse

Der Vergleich der Klimatischen Wasserbilanzen und der Grundwasserstandsganglinien an sechs über Rheinland-Pfalz verteilten Standorten für den Zeitraum 2000 bis 2006 führt zu wasserwirtschaftlich wichtigen und interessanten Ergebnissen:

- **Im nördlichen und nordwestlichen Landesteil** von Rheinland-Pfalz fallen auf Grund der Staulage durch die Mittelgebirge die höchsten Niederschläge mit mehr als 900 mm/a. Durch die hohen Niederschläge ist die Klimatische Wasserbilanz auch in Trockenjahren meist positiv, d. h. Messstellen und Brunnen in der Grundwasserlandschaft Devonische Schiefer, Grauwacken und Quarzite zeigen eine nur geringe Schwankungsbreite in den Grundwasserständen, da das nutzbare Kluftvolumen des Gesteins sehr gering ist und von der meist positiven Klimatischen Wasserbilanz nur ein geringer Anteil als Grundwasserneubildung gespeichert werden kann. Der überwiegende Teil des nach der Gesamtverdunstung verbleibenden Niederschlags versickert nicht in den Untergrund, sondern fließt als Oberflächen- und/oder Zwischenabfluss (Direktabfluss) über die Vorfluter ab.

Aus Sicht der Grundwasserbewirtschaftung ist festzustellen, dass in dieser Grundwasserlandschaft, die 41 % der Landesfläche bedeckt, nur wenig Grundwasser gefördert werden kann, da die Gesteine nur einen geringen Anteil der möglichen Grundwasserneubildung bevorraten können (ca. 50 bis 100 mm/a). Auf Grund der hohen Niederschläge reicht die Klimatische Wasserbilanz aber aus, um auch in Trockenzeiten eine, wenn auch geringe, Grundwasserneubildung zu gewährleisten.

- **Im westlichen und mittleren Landesteil** (Wittlicher Senke und Saar-Nahe-Bergland) liegen die Niederschläge mit 790 mm/a bei Wittlich im Bereich des vieljährigen Flächenmittels von Rheinland-Pfalz. Die Grundwasserlandschaft Rotliegend-Sedimente stellt örtlich für die Wasserversorgung einen bedeutenden Grundwasserleiter dar. In

der Wittlicher Senke liegt die Grundwasserneubildungsrate bei ca. 110 mm/a. Auf Grund des geringen Kluftvolumens der Rotliegend-Sandsteine wirken sich Nass- und Trockenperioden deutlich durch Grundwasserstandsschwankungen aus.

An der Wetterstation Bad Kreuznach werden mit 511 mm/a Niederschlag im vieljährigen Mittel ausgesprochen geringe Niederschläge gemessen. Die Grundwasserneubildungsrate liegt bei ca. 60 mm/a. Der Raum Bad Kreuznach zählt zu den niederschlagsärmsten Regionen von Rheinland-Pfalz. Die Klimatische Wasserbilanz ist seit dem Abflussjahr 2003 negativ. Nur durch die Zusickeung von Nahefiltrat in den Grundwasserleiter im Bereich der Nahetalstörung können die hohen Förderleistungen mit den Brunnen von Bad Kreuznach auf Dauer erreicht werden.

- **Im südwestlichen Landesteil** (Pfälzerwald) steigen die Niederschläge von rd. 700 mm/a in der Lauterbach-Niederung auf rd. 950 mm/a im Zentralteil des Pfälzerwalds an. Die Grundwasserlandschaft Buntsandstein ist für die regionale und überregionale Wasserversorgung von großer Bedeutung. In diesem kombinierten Poren-/Kluftgrundwasserleiter kann auf Grund der guten Speichereigenschaften viel Grundwasser bevorratet werden. Von der Klimatischen Wasserbilanz kommen im vieljährigen Mittel bis zu 230 mm/a der Grundwasserneubildung zu Gute.

Während in den Rotliegend-Sedimenten bei Bad Kreuznach auf Grund des geringen Niederschlags und der negativen Klimatischen Wasserbilanz im Bilanzzeitraum 2003 bis 2006 das 1,6-fache der Niederschlagsmenge eines Winterhalbjahres fehlen, beträgt die Fehlmenge im Bereich Kaiserslautern nur etwa 50 % eines Winterhalbjahres. Die Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung im Pfälzerwald können auch in Trockenzeiten genügend Grundwasser fördern. Dagegen gehen die Schüttungen von Quellen im Bereich des Oberen Buntsandsteins in Trockenjahren deutlich zurück.

- Im **südlichen Landesteil** (Vorderpfalz) liegen die Niederschläge mit 580 mm/a bei Schifferstadt deutlich unter dem vieljährigen Flächenmittel von Rheinland-Pfalz in Höhe von rd. 790 mm/a. In Folge des trocken-warmen Klimas in der Vorderpfalz ist die Klimatische Wasserbilanz in Nass- und Trockenjahren negativ, die Grundwasserneubildungsrate liegt bei 90 mm/a. Die Grundwasserlandschaft Quartäre und pliozäne Sedimente ist als Porengrundwasserleiter, der aus locker gelagerten Sanden und Kiesen aufgebaut wird, ausgebildet. Er besitzt ein hohes speichernutzbare Porenvolumen von bis zu 20 %, so dass Nass- oder Trockenperioden sich nur in einer geringen Schwankungsbreite in den Grundwasserständen bemerkbar machen. Auf Grund der großen Mächtigkeiten (bis rd. 250 m) des Grundwasserleiters, der durch Tone und Schluffe in mehrere Grundwasserstockwerke untergliedert ist, können für die Trinkwasserversorgung große Mengen Grundwasser gefördert werden. Die ungünstigen klimatischen Bedingungen mit niedriger Grundwasserneubildung wirken sich weniger auf den Grundwasserhaushalt, sondern deutlich stärker auf den Bodenwasserhaushalt aus. Daher muss

im Frühjahr grundsätzlich das Ackerland begregnet werden, um die Wirtschaftlichkeit der intensiven Landwirtschaft in dieser Region zu gewährleisten.

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, wurden Prognoserechnungen mit Klimamodellen durchgeführt, die für die nächsten 50 Jahre eine Erhöhung der Winterniederschläge zeigen.

Ein Anstieg des Niederschlagsdargebots würde generell zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildung und damit zu höheren Grundwasserständen führen. Ein entsprechender Trend lässt sich aus den Ganglinien der vergangenen 55 Jahren nicht erkennen (Abb. 5.11).

Ob sich die beobachteten periodischen Schwankungen der Grundwasserstände vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaentwicklung so fortsetzen oder sich verändern, kann derzeit nicht beantwortet werden. Erst wenn verbesserte und sichere regionale Klimaszenarien vorliegen, können Auswirkungen auf die Grundwasserstände mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen quantifiziert werden. Zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung des Grundwassers sowie zur Validierung von Modellergebnissen muss die Grundwasserbeobachtung daher auch zukünftig konsequent weitergeführt werden.

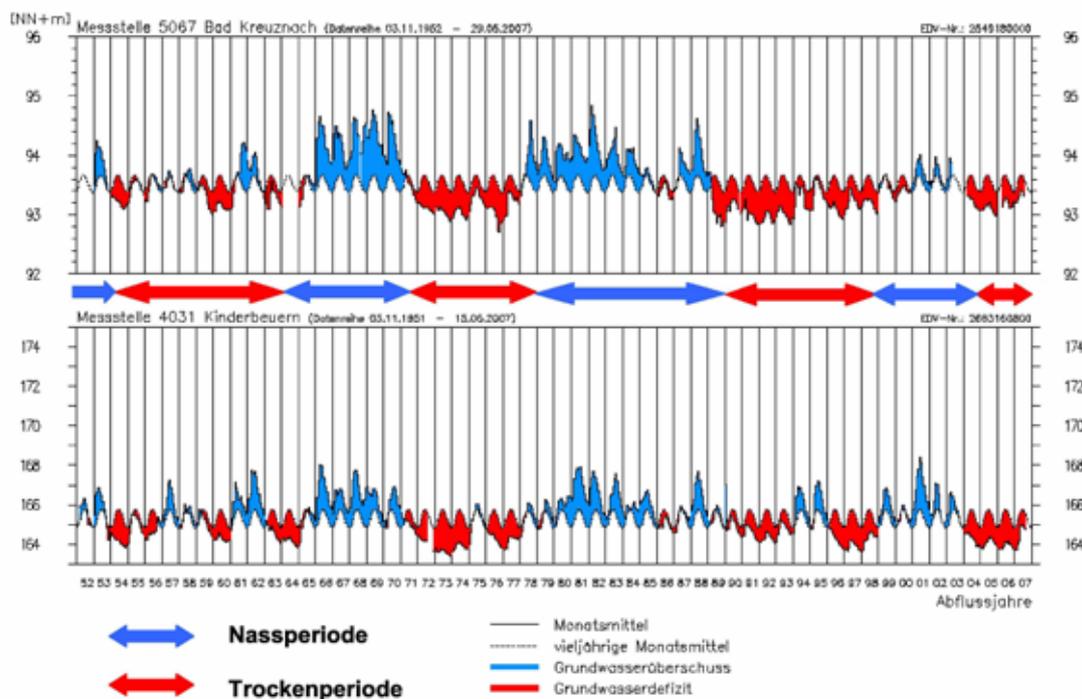


Abb. 5.11 Charakteristische periodische Grundwasserstandsänderungen im Zeitraum 1952 bis 2007



### ■ Nitrat

Der Eintrag von Nitraten aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung stellt nach wie vor die bedeutendste Ursache einer flächenhaften Belastung des oberflächennahen Grundwassers nicht nur in Rheinland-Pfalz dar. Bereits Anfang der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts berichtete Schwille [5] von Nitratwerten bis zu 130mg/L im rheinhessischen Trinkwasser, das seinerzeit noch überwiegend aus ortsnahen Quellwasserfassungen gewonnen wurde. Er erkannte darüber hinaus eine deutliche Häufung der Nitratwerte zwischen 30 und 70mg/L und führte dies Zutreffenderweise im Wesentlichen auf die „künstliche Düngung“ zurück.

Mit dem Haber-Bosch-Verfahren war es Anfangs des 20. Jahrhunderts gelungen, aus atmosphärischen Stickstoff synthetisch – und damit kostengünstig – Mineraldünger herzustellen. La-

gen die Stickstoffbilanzüberschüsse zu Beginn der 50er Jahre nach Angaben des Statistischen Bundesamtes noch bei weniger als 30 kg/(ha\*a) [6], so nahm die landwirtschaftliche Produktivität hiernach einen geradezu exponentiellen Verlauf an, verbunden jedoch mit der beobachteten Zunahme der Grundwasserbelastung mit Nitraten. Aktuell zeigt jede 6. Grundwassermessstelle eines repräsentativen Messnetzes in Deutschland Nitratwerte über 50mg/L. Obwohl die N-Bilanzüberschüsse rückläufig sind, lässt sich noch keine durchgreifende Besserung hinsichtlich der Nitratbelastung des Grundwassers erkennen. Anfang der 90er des vorigen Jahrhunderts betrug die Bilanzüberschüsse noch 130 kgN/(ha\*a). Bis 2002 sind sie bundesweit auf Werte um 80kg gefallen, in Rheinland-Pfalz sogar auf Werte knapp über 60 kg (Abb. 6.1).

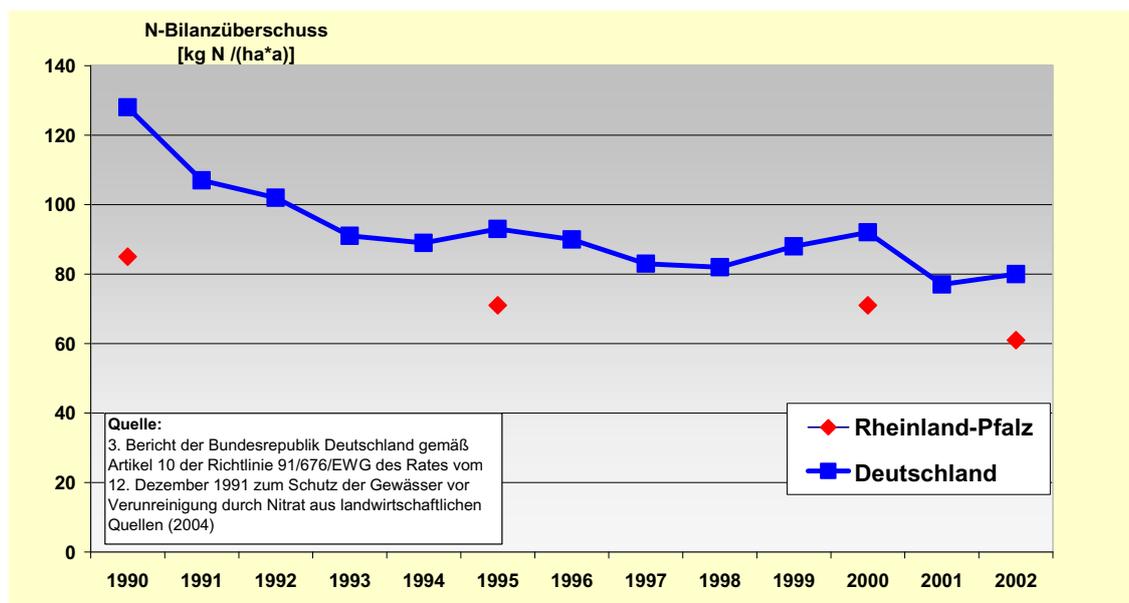


Abb. 6.1 Entwicklung der N-Bilanzüberschüsse im Bund und im Land Rheinland-Pfalz; (Werte dem 3. Nitratbericht der Bundesrepublik Deutschland [7] entnommen)

Die zum Teil flächenhaft hohen Nitratwerte des Grundwassers resultieren aber nur zum Teil aus der Anwendung von Mineraldüngern bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Eine andere bedeutende Quelle der Nitratbelastungen des Grundwassers ist die Mineralisation von Stickstoff aus in der Fläche verbliebenen Ernterückständen. In einer Studie der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer wurden Mineralisationsraten von über 300 kg Nitrat je ha ermittelt. Nur etwa 1/4 bis 1/3 des der landwirtschaftlichen Fläche zugeführten Stickstoffs wird auch tatsächlich mit dem Erntegut wieder der Fläche entzogen. Der restliche Stickstoff verbleibt in der Fläche und wird den komplexen Stoffwechselprozessen folgend zu Ammonium, zu molekularem Stickstoff aber auch zu Lachgas umgewandelt – oder erreicht eben mit dem Sickerwasser als Nitrat das Grundwasser. Der Stickstoff-Bilanzüberschuss, die Grundwasserneubildungsrate und die Schutzfunktion der Deckschichten sind die wesentlichsten Randbedingungen eines komplexen Systems, welches den Nitratgehalt im Grundwasser beeinflusst.

Der atmosphärischen Deposition werden im Freiland allgemein etwa 10 bis 20 kg Nitrat-N/(ha\*a) und etwa 20 kg Ammonium-N/(ha\*a) zugerechnet. Speziell für den nördlichen Oberrheingraben mit Rheinhessen und der Vorderpfalz gibt das Umweltbundesamt einen atmogenen Gesamt-N-Bilanzüberschuss von sogar nur 8 bis 14 kg N/(ha\*a) an, womit diese Stickstoffquelle hier eine nahezu vernachlässigbare Größe darstellt. Der nördliche Oberrheingraben gehört damit bundesweit zu den mit atmogenen Stickstoff-Depositionen am geringsten beaufschlagten Flächen. Damit sind über 80 % der Nitrateinträge in das Grundwasser der landwirtschaftlichen Bodennutzung zuzurechnen.

Mit der zunehmenden gesellschaftspolitischen Relevanz des Schutzes der Umwelt – speziell des Gewässerschutzes – hat sich auch die öffentliche Verwaltung verstärkt dem Schutz des Grundwassers angenommen, galt dies doch bis in die 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts aufgrund der überschätzten Funktion schützender Bodenüberdeckungen im allgemeinen als wenig gefährdet.

Mit Beginn der 80er Jahre wurde in Rheinland-Pfalz die systematische Überwachung der Grundwasserqualität aufgebaut.

An dem von Schwille (vor-)gezeichneten Bild hat sich bis heute im Wesentlichen aber kaum etwas geändert, wenn man davon absieht, dass zwischenzeitlich flächendeckende Aussagen zur Qualität des oberflächennahen Grundwassers möglich sind und neben Rheinhessen weitere Schwerpunktgebiete identifiziert werden konnten. Eine erste flächendeckende Karte der Nitratbelastung des oberflächennahen Grundwassers wurde für Rheinland-Pfalz unter Zugrundelegung der Ergebnisse von 461 Messstellen im Jahr 1992 vorgestellt [8].

In der flächenhaften Darstellung der aktuellen Nitratwerte anhand von 1469 Grundwassermessstellen des oberflächennahen Grundwassers für den Zeitraum 2001 bis 2006 (Abb. 6.2) sind die seither bekannten Schwerpunktgebiete weiterhin erkennbar. Gegenüber der kartografischen Darstellung der Messwerte des Zeitraums 1995 bis 1999 im Grundwasserbericht 2000 [3], zeigt sich aktuell eine nahezu identische Häufigkeitsverteilung der Messwerte. Auch wenn das der kartografischen Darstellung zugrundeliegende Messnetz nicht konsistent ist, lassen sich aus der statistischen Betrachtung von jeweils weit mehr als 1000 untersuchten Messstellen zuverlässige Aussagen ableiten.

Rund jede zehnte Messstelle ist in der landesweiten Betrachtung der Nitratklasse >50 mg/L zuzuordnen und verfehlt damit die Qualitätsnorm (Abb. 6.3). Die Spitzenklasse mit Werten über 100 mg/L wird nur in lokal enger begrenzten Gebieten (3 bzw. 4 %) erreicht. Dass aktuell mit 27 % mehr als jede 4. Messstelle die 25 mg/L-Klasse erreicht oder übersteigt und damit gegenüber dem Grundwasserbericht 2000 (entspr. 22 %) deutlich mehr Messstellen betroffen sind, zeigt in Anbetracht der Inkonsistenz des Messnetzes jedoch keine Tendenz auf. Unter anderem wurden im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in den Jahren 2004 bis 2005 im Bereich des Haardtrandes neue Grundwassermessstellen eingerichtet, so dass eine leichte Verschiebung der Messstellenverteilung hin zu landwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgt ist.

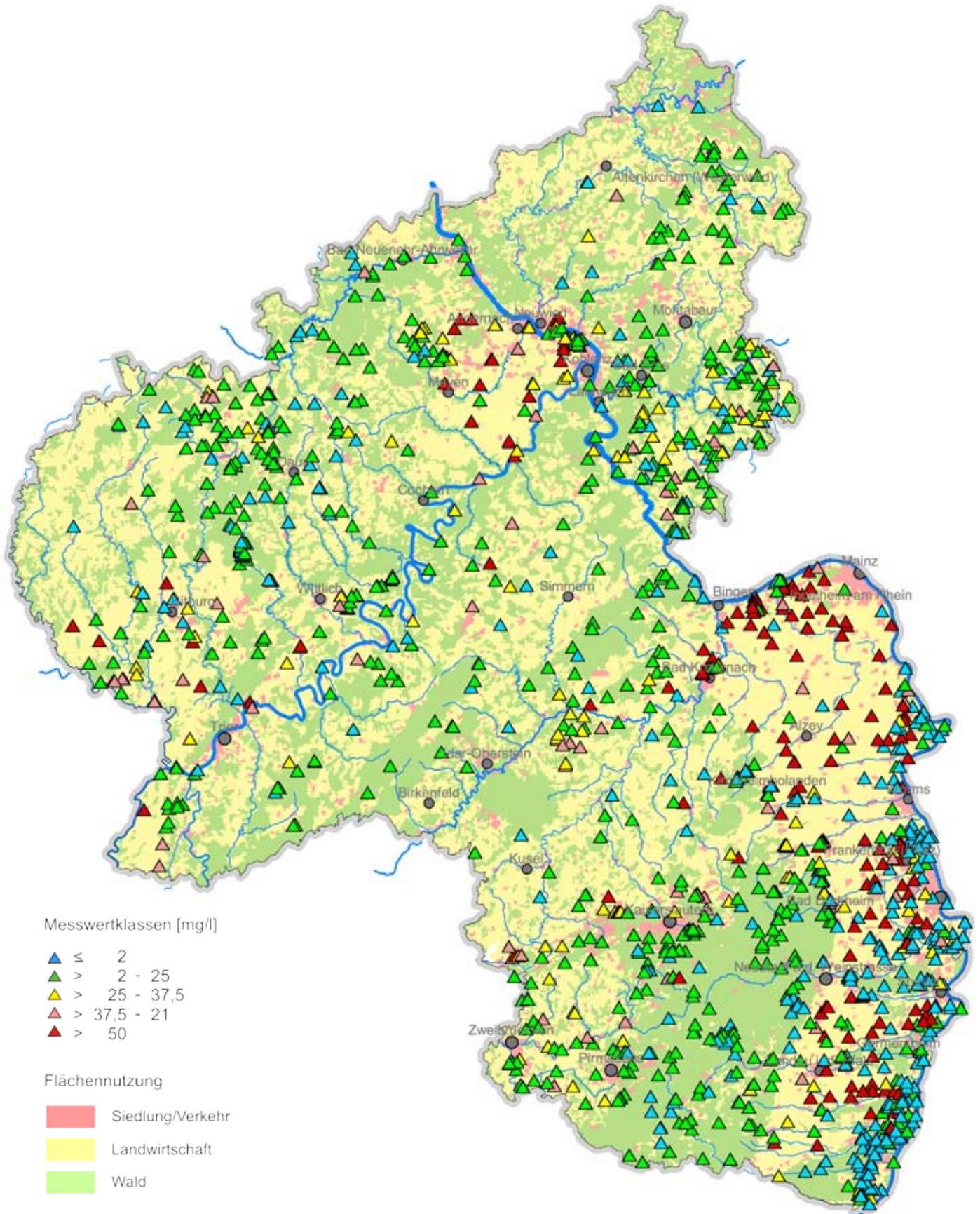


Abb. 6.2 Nitrat im oberflächennahen Grundwasser an 1489 Messstellen vor dem Hintergrund der Flächennutzung (letzter Messwert der Zeitreihe 2001/2006)

## 6 Grundwasserbeschaffenheit

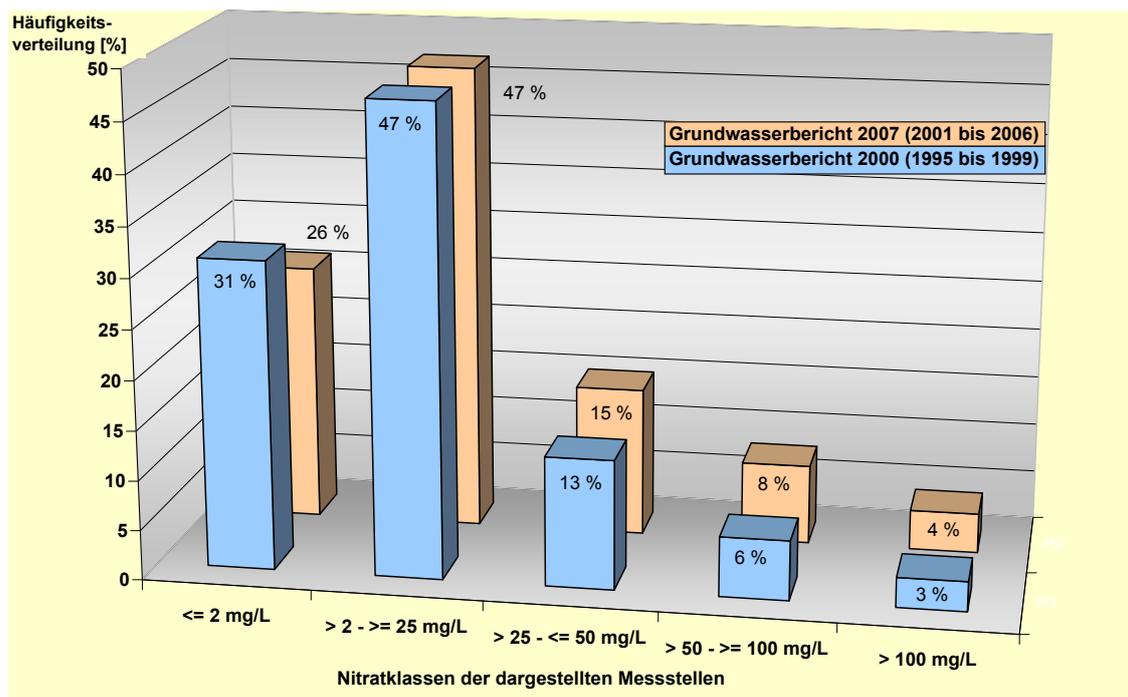


Abb. 6.3 Häufigkeitsverteilung der kartografisch dargestellten Grundwassermessstellen der Grundwasserberichte 2000 und 2007 des LUWG

Betrachtet man sich die Ganglinien einzelner Messstellen, die zum Teil schon seit 25 Jahren regelmäßig untersucht werden, so zeigen sich durchaus sehr unterschiedliche Tendenzen. Nach wie vor gibt es Messstellen mit steigenden und solche mit fallenden Nitratwerten. Zwar zeigen Messstellen mit sehr hohen Ausgangswerten für Nitrat bisweilen eine deutlich fallende Tendenz, wobei aber die Erreichung der Qualitätsnorm meist noch in weiter Ferne liegt. Hingegen weisen andere Messstellen, deren Nitratwerte nur um 20 bis 30 mg/L über der Qualitätsnorm liegen, häufig Stagnation aber auch lokal eine steigende Tendenz auf.

Auch können im Einzelfall zu beobachtenden Tendenzen der Nitratwerte im Wesentlichen mit veränderten Grundwasserentnahmen zu Trinkwasserzwecken erklärt werden und sind nicht auf Änderungen im Düngeverhalten bzw. die Art der Landnutzung zurückzuführen. Zum Beispiel steigen in der Rheinniederung zwischen Mainz und Bingen Rhein-nah die Nitratwerte an, da infolge des Rückgangs der Rohwasserentnahmen der Zufluss landseitig zuströmenden, nitratreicheren Grundwassers sich erhöht hat. Diese Zunahme der Nitratwerte steht damit nicht in unmittel-

barem Zusammenhang mit der Anwendung von Mineraldüngern.

In einem anderen Fall lassen die zu beobachtenden, steigenden Nitratwerte auch einen regionalen Schwerpunkt erkennen: Im Rheinhes-sischen Tafel- und Hügelland zeigen regelmäßig untersuchten Messstellen (Quellwasseraustritte) flächenhaft – saisonal zwar schwankende – in der Tendenz jedoch signifikant steigende Nitratkonzentrationen (Abb. 6.4). Im Verlauf der letzten 20 Jahre sind die Nitratwerte der untersuchten Messstellen bei unterschiedlicher Ausgangslage um 10 bis 20 mg/L angestiegen und liegen nunmehr in einem Bereich von 60 bis 80 mg/L. Diese flächenhafte Beobachtung ist allein von den jährlich unterschiedlichen Grundwasserneubildungsraten her nicht ableitbar und lässt sich in anderen Regionen von Rheinland-Pfalz in dieser Häufung auch nicht wieder finden.

Neben Rheinhessen stellen Teile der Vorderpfalz, das untere Nahetal und das Moseltal, Teile des Bitburger Landes, das Pellenzer Feld und das Maifeld westlich von Koblenz sowie der Saargau und die Hochflächen des Pfälzer Westrich weitere Schwerpunkte der Nitratbelastungen dar. Nur

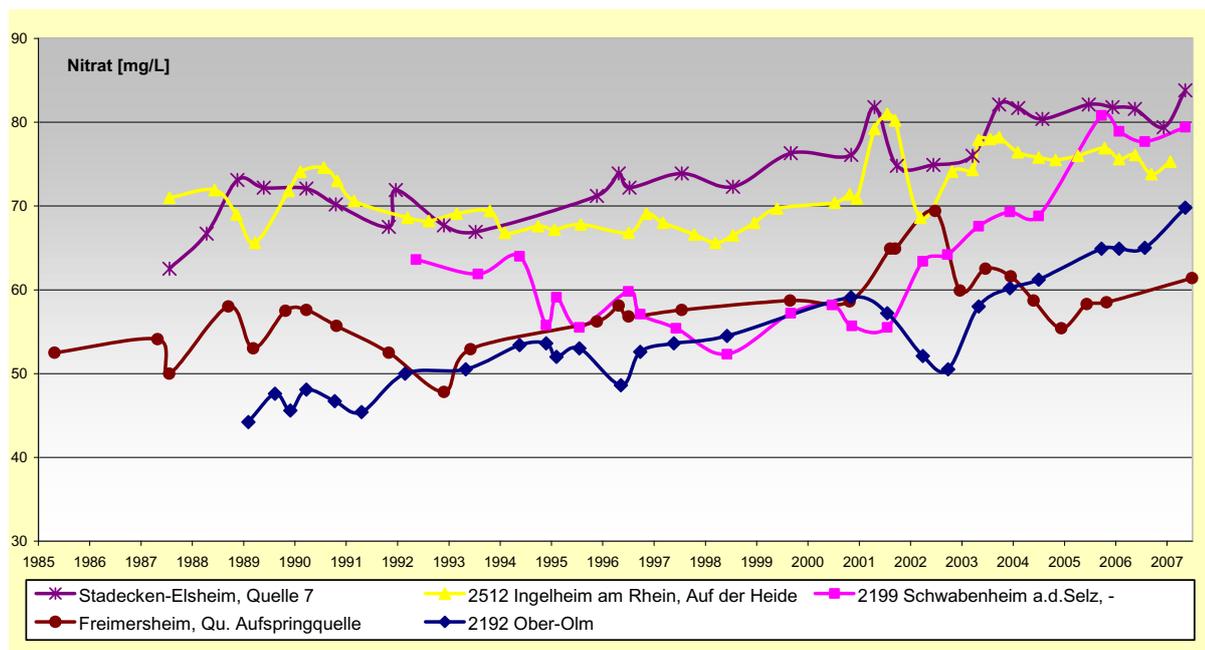


Abb. 6.4 Nitratganglinien des Grundwassers an untersuchten Messstellen des Rhein Hessischen Tafel- und Hügellandes

bewaldete Standorte sind Nitrat-unbelastet. Eine Besonderheit stellen in Rheinland-Pfalz ausgedehnte Gebiete mit reduzierendem Grundwasser-milieu dar. Rhein-nah, im Bereich der Flussniederung, sowie im Bereich der Schwemmfächer von Queich, Speyerbach und Rehbach ist bei hohem org. Kohlenstoffangebot im Untergrund bzw. bei sehr geringen Grundwasserflurabständen, eine mikrobielle Nitratreduktion festzustellen. Hier werden die Nitrate umgewandelt und sofern dieser Prozess quantitativ bis zu molekularen, gasförmigen Stickstoff führt auch „bilanzneutral“. Da dem aber in der Summe nicht so ist, werden in diesen Gebieten flächenhaft erhöhte Ammoniumwerte im Grundwasser mit Werten über 0,5 mg/L gemessen. Um eine ebenfalls mögliche, klimarelevante Lachgasbildung (N<sub>2</sub>O) quantifizieren zu können, fehlen jedoch entsprechende Untersuchungsergebnisse.

Mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie vom 23. Oktober 2000 [9] bzw. der Grundwasser-richtlinie vom 12. Dezember 2006 [10] sind europaweit erstmals für das Grundwasser selbst geltende Qualitätsnormen erlassen worden und zwar u. a. für Nitrat in Höhe von 50 mg/L. In den

identifizierten Problemgebieten von Rheinland-Pfalz [11] müssen – sofern sich diese Gebiete als Ergebnis eines Monitorings bis Ende 2008 bestätigen lassen – ab 2009 Maßnahmenprogramme zur Erreichung des guten chemischen Zustandes im Grundwasser durchgeführt werden. Aber bereits bei Erreichen von 75% dieser Qualitätsnorm (entsprechend 37,5 mg/L Nitrat) sind Maßnahmen zur Trendumkehr einzuleiten, sofern ein signifikanter Trend zur Verschlechterung erkennbar ist. Gebiete mit Nitratwerten im Grundwasser, bei denen eine verstärkte Trendüberwachung im Hinblick auf eine mögliche zukünftige Überschreitung der Qualitätsnorm zu erfolgen hat, sind im Wesentlichen der Taunus, der Pfälzer Westrich und der Saargau.

In Rheinland-Pfalz sind etwa 43 % der Landesfläche bewaldet, 25 % werden ackerbaulich und 4 % obst- und weinbaulich genutzt; 19 % der Landesfläche liegen als Grünland vor, während die restlichen 9 % eher baulich geprägt sind. Von erhöhten Nitratwerten im Grundwasser sind insbesondere die Dauerkulturen (Obst-/Weinbau) und der Gemüseanbau betroffen. Hier zeigen 60 % aller Nitratanalysen des Grundwassers Werte über

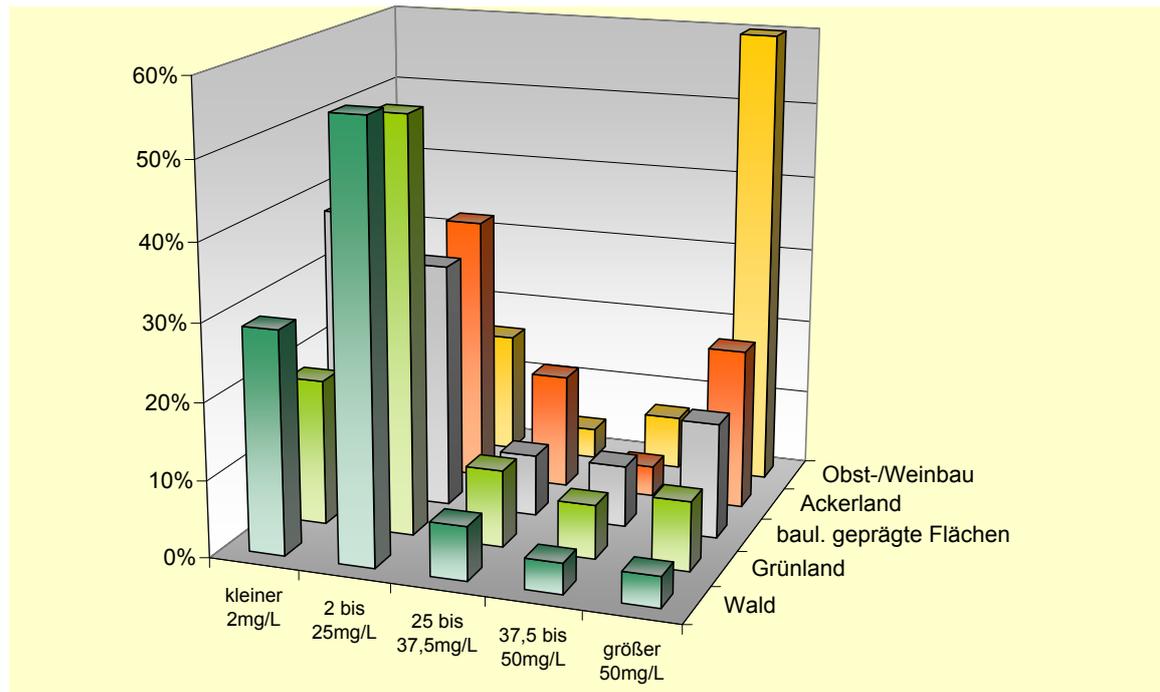


Abb. 6.5 Häufigkeitsverteilung Nitrat im Grundwasser von Rheinland-Pfalz in Abhängigkeit von der Landnutzungs-kategorie (1468 Messstellen)

der Qualitätsnorm, gefolgt von den ackerbaulich genutzten Flächen, in denen 21 % der Analysen über 50 mg/L liegen (Abb. 6.5). Baulich geprägte Flächen folgen mit 15 % und Grünland mit 9 %. Dass auch Waldflächen mit 4 % der Analysen betroffen sind, erklärt sich damit, dass im weiteren Einzugsgebiet der Messstellen landwirtschaftliche Bodennutzung erfolgt und das nitratbelastete Grundwasser den bewaldeten Standorten zuströmt.

Die höchsten Nitratgehalten des oberflächennahen Grundwassers werden mit 200 bis 350 mg/L an Messstellen in den Gemüseanbau-gebieten um Frankenthal und Ludwigshafen gemessen. In diesem Raum sind alle hinsichtlich des Nitratreintrages als ungünstig zu bewertende Kriterien anzutreffen:

- Sandige Lehmböden
- ungünstiger Schutzwirkung der Deck-schichten
- geringes Nitratrückhaltevermögen der Böden

- geringer Grundwasserflurabstand und geringes Grundwassergefälle
- sandig, kiesiger Porengrundwasserleiter mit einem Hohlraumanteil von 10-15%
- Grundwasserneubildungsrate von nur etwa 100mm/a
- sehr geringe Grundwasserfließgeschwindigkeit und damit verbunden
- sehr geringe Grundwasseraustauschrate

Ebenfalls deutlich erhöhte Nitratwerte sind in den Wein- und Obstbaugebieten am Haardtrand bzw. in der Rheinhessischen Rheinniederung fest-zustellen. Auch hier werden 200 mg/L Nitrat im oberflächennahen Grundwasser leicht erreicht.

Nach dem Atlas zum Nitratstrom in der Bun-desrepublik Deutschland [12] beträgt die mittlere Verweilzeit des Grundwassers im Aquifer der Vorderpfalz z. T. über 30 Jahre, so dass Reakti-onen auf Nitrat-mindernde Maßnahmen erst mit größerer Verzögerung im Grundwasser zu messen

sein werden. Gemüse wie Brokkoli, Blumenkohl, Radieschen und Zucchini weisen 5- bis 8-fach höhere N-Salden auf als z. B. Getreide. Legt man eine Denitrifikationskapazität der Böden von 10 % zugrunde, so errechnet sich bei einer Grundwasserneubildung von 100 mm/a und den aktuell zu messenden Nitratwerten um 250 mg/L ein N-Bilanzüberschuss von etwa 100 kg/(ha\*a). Es ist also davon auszugehen, dass in Gemüseanbaugebieten auch weiterhin mit viel zu hohen Nitratwerten im oberflächennahen Grundwasser gerechnet werden muss, da der „wasserwirtschaftlich vertretbare Bilanzüberschuss“ hier um das 5 bis 6-fache überschritten wird.

Bei Grundwasserneubildungsraten von 200 mm/a wirken sich demgegenüber in Teilen des Bitburger Landes die relativ hohen N-Bilanzüberschüsse weniger gravierend auf den Nitratgehalt im Grundwasser aus. Es berechnen sich mit etwa 40 kgN/(ha\*a) Werte die – bei nur geringer Denitrifikationskapazität der Böden – lediglich lokal zu höheren Nitratwerten in Quellwässern führen.

Das rheinhessische Tafel- und Hügelland stellt mit einer Grundwasserneubildungsrate von nur etwa 30 mm/a und mächtigen Lösslehmüberdeckungen des Aquifers eine Besonderheit dar. Hier

genügen schon sehr geringe positive N-Salden um erhöhte Nitratwerte im Grundwasser zu verursachen. Demzufolge werden dort auch jüngst wieder steigende Nitratwerte in verschiedenen Quellwässern gemessen, welche die tertiären Kalkplateaus entwässern.

Obwohl seit etwa Mitte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts mit dem Einsatz von Düngemitteln sehr viel umsichtiger umgegangen wird, sind nachhaltige Verbesserungen der Grundwassersituation in der Fläche nach wie vor noch nicht zu beobachten. Der in den letzten Jahren zunehmende Anbau von ‚Energiepflanzen‘ – wie Mais und Raps – muss auch unter dem Aspekt des Grundwasserschutzes betrachtet werden .

Die Versorgung mit einwandfreiem Trinkwasser ist in Rheinland-Pfalz – trotz der gebietsweise sehr hohen Nitratwerte des Grundwassers – überall gesichert. Im Oberrheingraben – dem EU-weit bedeutendsten Grundwasserreservoir – erfolgt die Rohwassergewinnung zur Trinkwasserversorgung aus tieferen Stockwerken und auch aus dem Uferfiltrat des Rheins. Tieferes Grundwasser ist in aller Regel Nitrat-frei. Hydraulisch wirksame Trennhorizonte verhindern – bei einer angepassten Grundwasserbewirtschaftung – das lokale Zusickern von mit Nitraten belastetem, oberflächennahem



## 6 Grundwasserbeschaffenheit

Grundwasser. Bei Grundwassermessstellen, deren Verfilterung erst 20 m unter Geländehöhe einsetzt, sind erhöhte Nitratwerte auf sehr wenige Ausnahmen beschränkt. In dieser großen Tiefe sind – bei auch entsprechend hohem Grundwasserflurabstand – lediglich an einigen Messstellen in Rheinhessen (Kalktertiär) sowie im Bereich der Riedelflächen der südlichen Vorderpfalz (Geländerrücken zwischen den dem Rhein zustrebenden Bächen aus dem Pfälzerwald) Nitratwerte über 50 mg/L anzutreffen.

Beim Abgleich von fast 10.000 Nitratanalysen mit der Lage der Filteroberkante der jeweiligen Grundwassermessstelle unter Geländehöhe, ist dieser Zusammenhang deutlich zu erkennen (Abb. 6.6).

Auf Grund der festzustellenden Nitratsituation des Grundwassers und den hydrogeologischen Randbedingungen in Rheinland-Pfalz muss davon ausgegangen werden, dass in manchen identifizierten Schwerpunktgebieten nach Vorgabe der Wasserrahmenrichtlinie auch bis 2015 der geforderte ‚gute chemische Zustand‘ des Grundwassers nicht zu erreichen sein wird.

Maßnahmen zum diesbezüglichen Grundwasserschutz werden dort am ehesten zielführend sein, wo die Grundwasserneubildung höher und damit die Austauschrate des Grundwassers entsprechend hoch ist. Dies trifft insbesondere auf das Maifeld und Pellener Feld westlich von Koblenz sowie das Bitburger Land zu, Gebiete, die auch Relevanz für die örtliche Trinkwasserversorgung haben. In den Gemüseanbaugebieten sind auf Grund der hohen Ausgangsbelastung, wie auch in Rheinhessen, wegen der mächtigen Lößlehmlagerungen, mittelfristig keine durchgreifenden Besserungen zu erwarten, ggf. ist in Abwägung der gesellschaftlichen Interessen auch eine Diskussion um weniger strenge Umweltziele in Gemüseanbaugebieten zu führen.

Die Entwicklung der Nitratsituation im Grundwasserraum hängt maßgeblich auch von der Nitratverlagerungstiefe und der Aufenthaltsdauer des Nitrats in der ungesättigten Bodenzone ab. Für die beiden Schwerpunktgebiete in Rheinland-Pfalz – Rheinhessen und die Vorderpfalz – lässt sich nach einem von [13] beschriebenen Prognosemodell berechnen, von welchen Zeiträumen auszugehen ist, bis sich eine nachhaltige Verbesserung der Nitratsituation überhaupt einstellen kann.

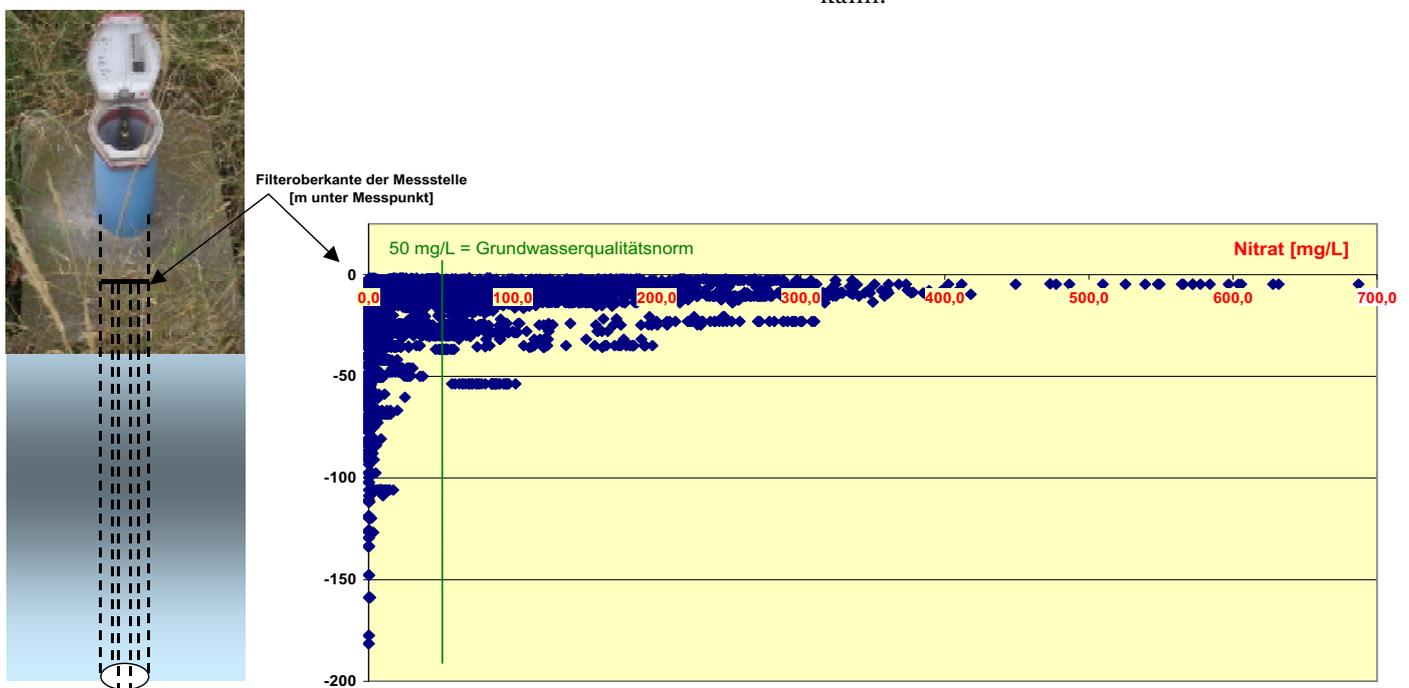


Abb. 6.6: Nitratwerte des Grundwassers in Abhängigkeit von der Tiefe des Messstellenfilters

### ■ Nitratverlagerungstiefe und Aufenthaltsdauer des Nitrats in der ungesättigten Bodenzone

Die Nitratverlagerungstiefe lässt sich aus der Tiefenversickerungsmenge mm/a und dem Wassergehalt bei Feldkapazität mm/dm berechnen. Die Wassergehalte bei Feldkapazität (FK) lassen sich aus der Bodenart, der effektiven Lagerungsdichte und dem Gehalt an organischer Substanz ermitteln [13].

$$\text{Nitratverlagerungstiefe dm/a} = \frac{\text{Tiefenversickerung mm/a}}{\text{Wassergehalt bei Feldkapazität mm/dm}}$$

Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge (Wpfl) kann, sofern moderne Bodenkartierungen vorliegen, aus Bodenkarten entnommen oder aus Bodenart, Gehalt an organischer Substanz und der effektiven Lagerungsdichte sowie Ausgangsgestein ermittelt werden. Bei grundwasserfernen Böden (Grundwasserstände >1,5 bis 2 m unter Geländeoberfläche) entspricht Wpfl der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes nFK<sub>we</sub> und errechnet sich aus:

$$nFK_{we} \text{ (mm)} = nFK \text{ (mm/dm)} \times \text{effektiver Wurzelraum (dm)}$$

In Tabelle 6.1 sind für die wichtigsten Bodenarten die nFK-Werte in Abhängigkeit von der effektiven Lagerungsdichte sowie der effektive

Wurzelraum als Funktion der effektiven Lagerungsdichte für Getreide und Grünland aufgeführt.

Tab. 6.1: Nutzbare Feldkapazität nFK und effektiver Wurzelraum in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte

Bodenart	nFK (mm/dm)			effektiver Wurzelraum (dm)			
	effektive Lagerungsdichte			effektive Lagerungsdichte			
	gering	mittel	hoch	gering bis mittel		hoch	
				Getreide	Grünland	Getreide	Grünland
Grobsand	6	6	6	5	4	4-5	4
Mittelsand	10	9	9	5-6	5	5	4-5
Feinsand	16	12	12	6-7	6	5-6	5
lehmiger Sand	23	16	14	7	6	6	5
„schluffig lehmiger Sand“	24	19	17	8-9	7	6	5
schluffiger Sand	21	18	17	7-8	6-7	5-6	5
toniger Sand	20	15	13	7-8	6-7	5-6	5
Schluff	28	25	23	9	8	7	6
„sandig-lehmiger Schluff“	26	22	20	10-11	10	9	8
lehmiger Schluff	27	24	20	10-11	10	9	8-9
„stark lehmiger Schluff“	26	21	19	10-11	10	9	8-9
sandiger Lehm	22	17	14	9-10	9	8-9	8
schluffiger Lehm	24	19	16	10	9	8-9	8
toniger Lehm	19	15	12	10	9	9	8
„schluffig-toniger Lehm“	21	17	12	10	9	9	8
„lehmiger bzw. schluffiger Ton“	20	14	11	9-10	8-9	8-9	8

## 6 Grundwasserbeschaffenheit

In Tabelle 6.2 sind für die wichtigsten Bodenarten bei mittlerer und hoher effektiver Lagerungsdichte die FK-Werte zusammengestellt. Unterhalb des Wurzelraumes trifft in den meisten Fällen die hohe Lagerungsdichte zu.

Tab. 6.2: Feldkapazität FK in Abhängigkeit von Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte

Bodenart	FK (mm/dm)	
	effektive Lagerungsdichte mittel	hoch
Grobsand	9	9
Mittelsand	12	12
Feinsand	18	16
lehmiger Sand	27	26
schluffig-lehmiger Sand	30	27
schluffiger Sand	25	24
toniger Sand	27	22
Schluff	34	31
sandig-lehmiger Schluff	33	30
lehmiger Schluff	37	34
stark lehmiger Schluff	37	35
sandiger Lehm	33	31
schluffiger Lehm	36	33
toniger Lehm	41	36
schluffig-toniger Lehm	42	38
lehmiger bzw. schluffiger Ton	49	45
Ton	54	49

Tabelle 6.3 zeigt den Zusammenhang zwischen Feldkapazität, Tiefenversickerung und Nitratverlagerungstiefe. Man erkennt, dass die Verlagerungstiefe mit zunehmender Tiefenversickerung und abnehmender Feldkapazität ansteigt. Die Verlagerungstiefen können zwischen 1 und 80 dm/a variieren.

Kennt man die Mächtigkeit zwischen Untergrenze Wurzelraum und Grundwasseroberfläche, so lässt sich die Aufenthaltsdauer des Nitrats in der ungesättigten Bodenzone nach folgender Gleichung errechnen:

Tab. 6.3: Nitratverlagerungstiefe (dm/a) in Abhängigkeit von der Feldkapazität und der Tiefenversickerungsmenge

Feldkapazität mm/dm	Mittlere Nitratverlagerungstiefe (dm/a) bei Tiefenversickerungsmengen von:					
	50 mm/a	100 mm/a	150 mm/a	200 mm/a	300 mm/a	400 mm/a
5	10	20	30	40	60	80
10	5	10	15	20	30	40
15	3,3	6,7	10	13,3	20	26,7
20	2,5	5	7,5	10	15	20
25	2	4	6	8	12	16
30	1,7	3,3	5	6,7	10	13,3
40	1,3	2,5	3,8	5	7,5	10
50	1	2	3	4	6	8

In Tabelle 6.4 ist der Zusammenhang zwischen den genannten Größen dargestellt. Je nach Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone zwischen Untergrenze Wurzelraum und Grundwasseroberfläche und Nitratverlagerungstiefe schwankt die Aufenthaltsdauer des Nitrats im Extremfall zwischen < 1 bis 100 Jahre.

### Fazit

Für das Rheinhessische Tafel- und Hügelland mit einer Mergel- und Tonauflage von rd. 10 m, einer Feldkapazität von ca. 30 bis 40 mm/dm und einer Grundwasserneubildungsrate (Tiefenversickerungsmenge) von < 50 mm/a, beträgt beispielsweise die Aufenthaltsdauer des Nitrats in der ungesättigten Bodenzone mehr als 60 Jahre!

Dagegen liegt die Aufenthaltsdauer des Nitrates im Bereich der Rheinniederung zwischen Bingen und Mainz mit sandigen Deckschichten, Grundwasserflurabständen von ca. 3-5 m und einer Tiefenversickerungsmenge von etwa 100 mm/a bei nur 7 bis 12 Jahren.

$$\text{Aufenthaltsdauer des Nitrats (in Jahren, a)} = \frac{\text{Mächtigkeit des ungesättigten Bodenzone (dm)}}{\text{Nitratverlagerungstiefe (dm/a)}}$$

Tab. 6.4: Aufenthaltsdauer des Nitrates in der ungesättigten Bodenzone in Abhängigkeit von der Feldkapazität der Tiefenversickerungsmenge und der Mächtigkeit der Bodenzone zwischen Untergrenze Wurzelraum und Grundwasseroberfläche

Feldkapazität mm/dm	Aufenthaltsdauer des Nitrates zwischen Untergrenze Wurzelraum und Grundwasseroberfläche (in Jahren) bei Tiefenversickerungsmengen von:																	
	50 mm/a			100 mm/a			150 mm/a			200 mm/a			300 mm/a			400 mm/a		
	Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone 3, 5 und 10 m*																	
	3 m	5 m	10 m	3 m	5 m	10 m	3 m	5 m	10 m	3 m	5 m	10 m	3 m	5 m	10 m	3 m	5 m	10 m
5	3	5	10	1,5	2,5	5	1	1,7	3,3	0,75	13	2,5	0,5	0,85	1,7	0,4	0,6	1,3
10	6	10	20	3	5	10	2	3,3	6,6	1,5	2,5	5	1	1,7	3,3	0,75	1,25	2,5
15	9	15	20	4,5	7,5	15	3	5	10	2,25	3,81	7,5	1,5	2,5	5	1,1	1,9	3,8
20	12	20	40	6	10	20	4	6,6	13,3	3	5	10	2	3,3	6,6	1,5	2,5	5
25	15	25	50	7,5	12,5	15	5	8,3	16,6	3,75	6,3	12,5	2,5	4,2	8,3	1,9	3,1	6,3
30	18	30	60	9	15	30	6	10	20	4,5	7,5	15	3	5	10	2,3	3,8	7,5
40	24	40	80	12	20	40	8	13,3	26,6	6	10	20	4	6,6	13,3	3	5	10
50	30	50	100	15	25	50	10	16,6	33,3	7,5	12,5	25	5	8,3	16,6	3,8	6,3	12,5

\* Mächtigkeit zwischen Untergrenze Wurzelraum und der Grundwasseroberfläche

### ■ Nitratrückhaltevermögen

Die Auswaschung und die vertikale Verlagerung von Nitrat mit dem Sickerwasser stellt eine starke Gefährdung der Grundwasserqualität dar. Sie hängt in erster Linie von der Sickerwassermenge, die den durchwurzelbaren Bodenraum verlässt, ab.

Bei hoher Sickerwasserrate in Böden und Grundwasserüberdeckungen und kurzer Verweildauer des Sickerwassers, ist die Gefahr einer Nitratverlagerung in das Grundwasser hoch. Die Pflanzen können nur wenig Stickstoff aufnehmen. In diesem Fall spricht man von einem geringen Nitratrückhaltevermögen. Prädestiniert hierfür sind vor allem sandige (leichte) Böden aber auch Tonböden, die zur Trockenrissbildung neigen.

Böden mit hoher Feldkapazität, d. h. , mit der Fähigkeit größere Wassermengen längere Zeit gegen die Schwerkraft halten zu können, weisen ein hohes Nitratrückhaltevermögen auf, denn das im Sickerwasser gelöste Nitrat steht den Pflanzen längere Zeit zur Verfügung und kann von ihnen in höherem Maß aufgenommen werden. Dazu zählen auch staunasse Böden, in denen durch ein reduzierendes Milieu zusätzlich Nitrat entzogen werden kann (Abb. 6.7).

Günstige Verhältnisse treten meist dort auf, wo eine mächtige Lößüberdeckung vorhanden ist wie z. B. im Rheinhessischen Tafel- und Hügelland, in Teilbereichen des Oberrheingrabens (Lößriedel) im Oberrheingraben sowie im Rheinischen Schiefergebirge, wo eine tiefgründige Verwitterung der Schiefergesteine zu einer mächtigen Ton/Schluffauflage geführt hat.

Ungünstige Verhältnisse findet man in den Schuttfächern der Nebengewässer des Rheins in der Vorderpfalz mit sandigen Böden und geringen Grundwasserflurabständen sowie in Bereichen mit höher durchlässigen Gesteinen und geringer Mächtigkeit der Böden bzw. der Grundwasserüberdeckung, wie z. B. im Pfälzerwald, im Saar-Nahe- Bergland, im Bitburger Land und in der Wittlicher Senke.

Wichtigstes Handlungsziel aus Sicht des vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutzes ist die standortgerechte Düngung auf dem Niveau des Pflanzenentzugs sowie die Erhöhung der Speicherleistung des Bodens für Niederschlagswasser durch entsprechende Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Zwischenfruchtanbau. Auch der Schutz vor Bodenerosion stellt einen Beitrag zur Erhaltung des Speichervermögens des Bodens dar.

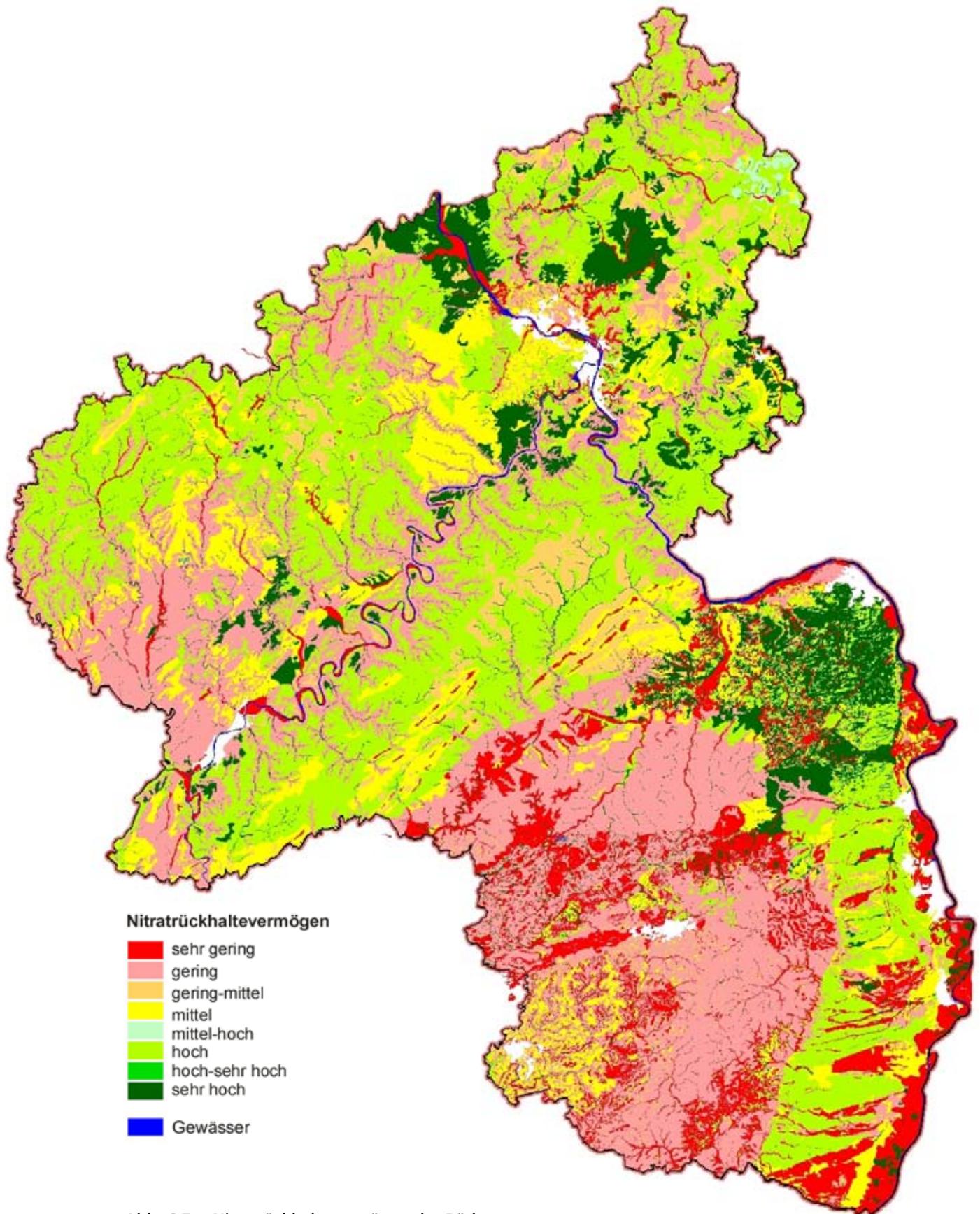


Abb. 6.7: Nitratrückhaltevermögen der Böden  
(Quelle: Landesamt für Geologie und Bergbau RLP, bearbeitet im Zuge der Bestandsaufnahme für die Umsetzung der EU- Wasserrahmenrichtlinie)

### ■ Pflanzenschutzmittel

Synthetische Pflanzenschutzmittel (PSM) werden bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung aber auch im Siedlungsraum seit etwa Mitte des vorigen Jahrhunderts eingesetzt. Man unterscheidet dabei nach Herbiziden (Mittel zur Unkrautbekämpfung), Fungiziden (Mittel gegen parasitäre Pilze) und Insektizide (Mittel gegen schädigende Insekten). Die mengenmäßig und anwendungsbezogen flächenmäßig am weitaus bedeutendste Gruppe stellen die Herbizide dar.

Erste zuverlässige Analysemethoden zur Bestimmung von Pflanzenschutzmitteln im Wasser wurden vor etwa 20 Jahren erarbeitet. Inzwischen ist neben einer Verfeinerung der Analysemethoden (empfindliche Nachweisgrenzen) die Bestimmung einer Vielzahl einzelner Wirkstoffe und ihrer Abbauprodukte (Metaboliten) möglich, wobei fortlaufend neuere Erkenntnisse berücksichtigen werden.

Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und deren Metaboliten gehören bei der landesweiten Grundwasserüberwachung in Rheinland-Pfalz nicht zu den routinemäßig bestimmten Parametern. Ihre Analytik ist außerordentlich aufwendig, so dass nur bei einem sich aus der Bewertung der Flächennutzung im Einzugsgebiet ergebenden Belastungspotential eine Wirkstoffauswahl im LUWG analysiert wird. Ergänzend wird in größeren Zeitabständen – im Rahmen von Monitoringprogrammen – der jeweilige „Ist-Zustand“ mit einem erweiterten Wirkstoffspektrum festgehalten. Um flächenbezogene Aussagen hinsichtlich der PSM-Belastungen des Grundwassers in Rheinland-Pfalz treffen zu können, sind daher Messergebnisse aus größeren Zeiträumen zu aggregieren. Vor dem Hintergrund der hohen Persistenz der PSM und ihrer Metaboliten im Grundwasser und dem Bezug nicht auf Einzelwerte sondern auf Werteklassen ist dies auch möglich.

Die ersten Grundwasseruntersuchungen auf ausgewählte Pflanzenschutzmittel und deren Abbauprodukte erfolgten in Rheinland-Pfalz im Jahr 1989 [14]. Bei der Vielzahl der einzelnen Wirkstoffe und möglicher Metaboliten können sich diese Untersuchungen lediglich auf eine sinnhafte Stoffauswahl beschränken, die im Zusammenwirken mit der Landwirtschaftsverwaltung zu erarbeiten und abhängig von den zur Verfügung stehenden Analysemethoden ist. Für die Untersuchung der zu Trinkwasserzwecken genutzten Rohwässer wird in Rheinland-Pfalz derzeit die Bestimmung folgender Wirkstoffe und Metaboliten empfohlen:

**Atrazin (Metaboliten Desethylatrazin und Desisopropylatrazin), Bentazon, Bromacil, Chloridazon (Metabolit Desphenyl-Chloridazon), Chlortoluron, Dichlorprop, Dikegulac, Dimethomorph, Diuron, Glyphosat, Hexazinon, Isoproturon, Lambda-Cyhalotrin, MCPA, Mecoprop, Metalaxyl, Metolachlor, Prometryn, Propazin, Simazin, Tebuconazol, Terbutylazin (Metabolit Desethylterbutylazin)**

Dieses Stoffspektrum ergibt sich aus einer Synopse der bisher vorliegenden Wirkstoffnachweise in Rheinland-Pfalz in Verbindung mit einer bundesweiten PSM Statistik [15] sowie aktuellen PSM-Meldungen aus den Bundesländern. Mit diesem Stoffspektrum ist sichergestellt, dass ein höchstmögliches Maß an Sicherheit bei der Beurteilung des potentiellen Auftretens von PSM im Grundwasser erreicht wird. Die entsprechenden Analyseverfahren zur Bestimmung von Desphenyl-Chloridazon, Lambda-Cyhalotrin und anderer Metaboliten werden derzeit etabliert und das Grundwasser in 2008 einem entsprechenden Monitoring unterzogen. Für alle anderen Wirkstoffe lässt sich jedoch ein ‚Ranking‘ erstellen (Tab. 6.5).

## 6 Grundwasserbeschaffenheit

Tab. 6.5: Statistische Kennzahlen ausgewählter Pflanzenschutzmittel und Metaboliten im Grund- und Rohwasser von Rheinland-Pfalz (jeweils letzter Messwert einer Messstelle der Zeitreihe 1998-2007)

Wirkstoff / Metabolit	Anzahl der untersuchten Messstellen				
	insgesamt untersucht	< BSG	> BSG bis >= 0,05 µg/L	> 0,05 bis <= 0,1 µg/L	> 0,1 µg/L
<b>Atrazin</b>	640	581	47	6	6
- desethyl	638	578	31	21	8
- desisopropyl	630	624	3	3	0
<b>Bentazon**</b>	501	458	10	12	21
Dikegulac*	140	130	2	1	7
<b>Simazin</b>	640	604	29	3	4
2,6-Dichlobenzamid	55	52	0	0	3
<b>Mecoprop**</b>	543	523	11	3	5
<b>Bromacil</b>	526	512	1	1	12
<b>i-Chloridazon**</b>	257	254	1	1	1
<b>Diuron</b>	539	534	0	3	2
<b>Isoproturon</b>	527	522	2	2	1
<b>Dichlorprop</b>	525	523	0	1	1
<b>Terbutylazin</b>	640	636	3	0	1
- desethyl	379	377	2	0	0
<b>Tebuconazol</b>	199	197	1	1	0
Hexazinon	357	356	0	1	0
<b>Metolachlor**</b>	627	622	5	0	0
<b>Propazin**</b>	621	617	4	0	0
<b>MCPA</b>	382	381	1	0	0
Chloridazon**	138	137	1	0	0
<b>Prometryn</b>	367	366	1	0	0
<b>Chlortoluron**</b>	527	526	1	0	0
2,4-D	339	339	0	0	0
Metalaxyl	153	153	0	0	0
Picloram	56	56	0	0	0
Glyphosat	34	34	0	0	0
Dimethomorph	31	31	0	0	0

\*Industriechemikalie mit Zulassung als Pflanzenschutzmittel

\*\*Wirkstoffe die vermehrt oder nahezu ausschließlich produktionsbedingt im Uferfiltrat des Rheins nachzuweisen sind  
Fettdruck: Wirkstoffe / Metaboliten der Grundwasserüberwachung des LUWG

Die Stoffgruppe der Triazine, insb. **Atrazin**, seine Metaboliten und **Simazin**, gehören nach wie vor zur Spitzengruppe der im Grundwasser nachweisbaren Pflanzenschutzmittel. Obwohl Atrazin und Simazin seit 1990 einem Anwendungsverbot unterliegen (Simazin hatte kurzzeitig von 1998 bis 1999 eine Wiedenzulassung) sind diese Wirkstoffe aufgrund ihrer hohen Persistenz immer noch im Grundwasser nachzuweisen. Dass der Metabolit Desethylatrazin wesentlich häufiger als der Wirkstoff selbst nachgewiesen wird,

ist auf den Stoffabbau und ausbleibende Neueinträge zurückzuführen. Wenn auch die Anzahl der Nachweise gegenüber den ersten Untersuchungen deutlich zurückgegangen ist, so lassen sich immer noch folgende Aussagen treffen: Beide Wirkstoffe zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster. Sie lassen sich im Uferfiltrat des Rheins bei oxidierendem Milieu nachweisen – aufgrund der verbesserten Situation im Oberflächengewässer mit fallender Tendenz – und sehr vereinzelt in landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Westpfalz, dem Zen-

tralteil des Bitburger Landes, dem unteren Nahtal und der Vorderpfalz. An einzelnen, belasteten und daher konsistent untersuchten Messstellen lässt sich die Tendenz der Belastungen und das Verhältnis von Wirkstoff zum Metaboliten erkennen (Abb. 6.8).

Nachweise von **Bentazon** im oberflächennahen Grundwasser unter landwirtschaftlicher Bodennutzung beschränken sich in Rheinland-Pfalz auf wenige Einzelfälle ohne räumliche Aus-

dehnung; Schwerpunktgebiete sind dabei nicht herauszuarbeiten. Im Wesentlichen liegen Bentazonnachweise für das ufernahe Grundwasser unterhalb Ludwigshafen vor, dort sowohl was die räumliche Häufigkeit der Nachweise als auch die Tendenzen an einzelnen Messstellen angeht mit fallendem Trend. Der Nachweis von **Mecoprop** beschränkt sich ausschließlich auf das Uferfiltrat unterhalb Ludwigshafen. Ursächlich hierfür sind ehemals erhöhte Einleitungen von Produktions-

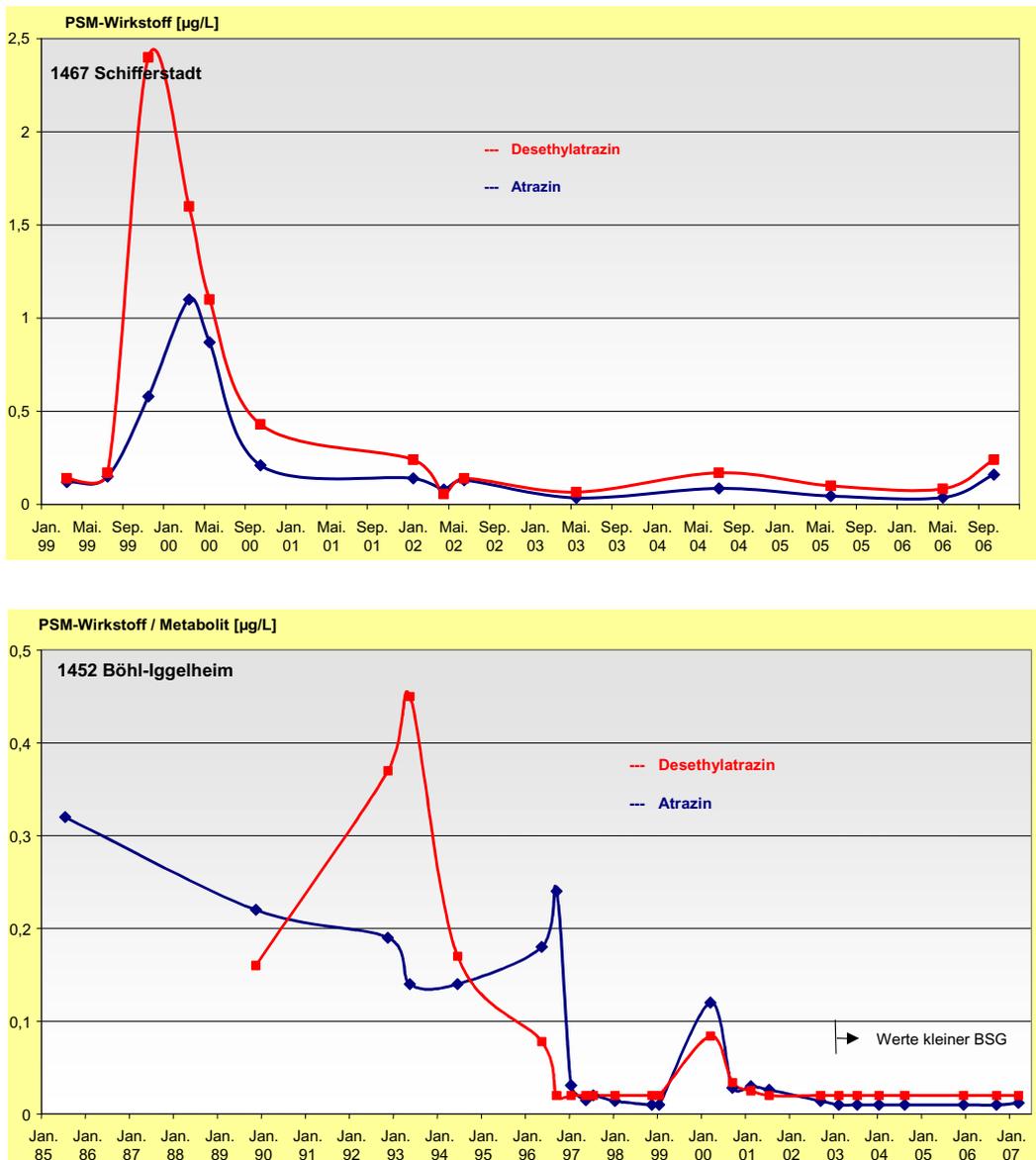


Abb. 6.8: Zeitlicher Verlauf von Atrazin und seinem Metaboliten Desethylatrazin an Grundwassermessstellen der Vorderpfalz (1467 Schifferstadt; 1452 Böhl-Iggelheim)

## 6 Grundwasserbeschaffenheit

abwässern (Bentazon, Mecoprop, **Dichlorprop**) in den Rhein, die jedoch seit Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts nicht mehr stattfinden. Wie lange einmal eingetretene Belastungen im Grundwasser nachzuweisen sind, zeigen die Grundwassermessstellen 1368 Bobenheim-Roxheim und 1336 I Frankenthal-Petersau (Abb. 6.9).

Die Messstelle 1368 befindet sich nur etwa 100 m vom Rheinufer entfernt und nur wenige Kilometer unterhalb der ehemaligen Einleitungsstelle der Produktionsabwässer. Die Anfang der 90er

Jahre noch bis zu 15 µg/L betragenden Messwerte für Bentazon fielen binnen 5 Jahren steil auf Werte um 2 µg/L ab und erreichen aktuell noch Messwerte um 0,3 µg/L. Der nahezu parallele Verlauf von Mecoprop zeigt an, dass nicht in erster Linie ein Stoffabbau für diesen Rückgang verantwortlich ist, sondern Verdünnungseffekte mit unbelastetem Rheinuferfiltrat. Da in Folge von landseitigen Grundwasserentnahmen und damit verbundenen Grundwasserabsenkungen Uferfiltrat auch mehrere Kilometer in das Landesinnere verlagert wurde,

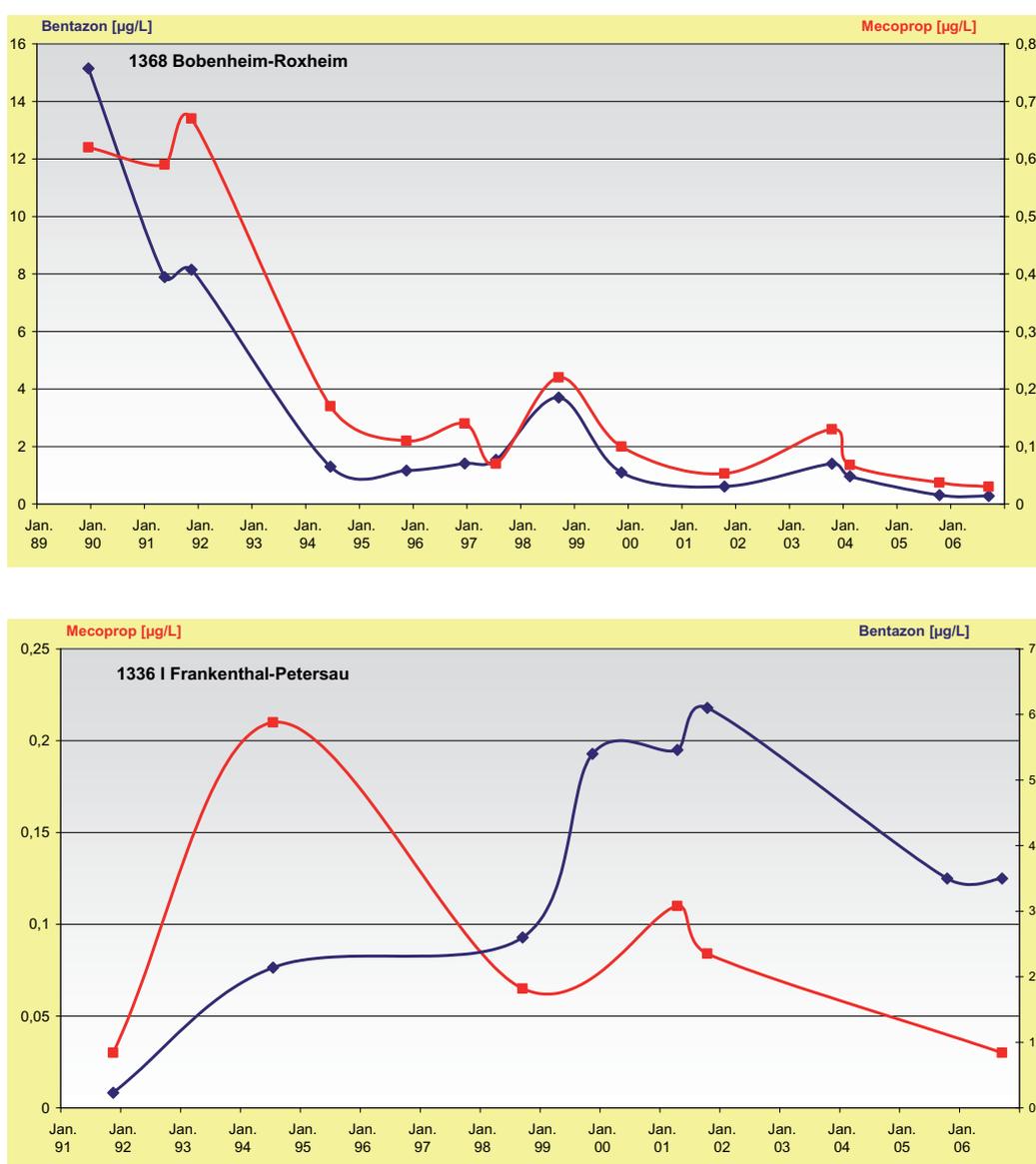


Abb. 6.9: Zeitlicher Verlauf von Bentazon und Mecoprop an den Grundwassermessstellen 1368 Bobenheim-Roxheim und 1336 I Frankenthal-Petersau

sind am Rhein-ferneren Standort der Messstelle 1336 I noch bis 2001 steigende Bentazongehalte im Grundwasser messbar, die aktuell noch 3,5 µg/L betragen. Bei diesen landseitig verfrachteten Belastungen – resultierend aus ‚Altlasten‘ des Uferfiltrats – ist also erst in vielen Jahren mit einem relevanten Schadstoffrückgang zu rechnen.

- **Dikegulac**, ein Abbauprodukt der Vitamin C – Herstellung (gleichwohl mit PSM-Zulassung), ist im Uferfiltrat des Rheins nachweisbar. Landseitige, auf die landwirtschaftliche Bodennutzung rückführbare Nachweise existieren nicht.
- **2,6-Dichlobenzamid**, ein Metabolit von Dichlobenil, ist bei bislang 55 untersuchten Messstellen 3-mal in Konzentrationen über 0,1 µg/L festzustellen. Dieser Befund muss durch Folgeuntersuchungen in 2008 abgesichert werden.
- Nachweise von **Bromacil** – aktuell bis zu 2 µg/L – zeigen einen signifikanten Zusammenhang der Standorte von Messstellen nahe an Gleisanlagen, die Belastungen sind mithin nicht auf die landwirtschaftliche Bodennutzung zurückzuführen.
- **Phenylharnstoffderivate** (Diuron, Isoproturon) lassen sich an einzelnen Grundwassermessstellen im Moseltal (Uferfiltrat) und sehr vereinzelt in Rheinhessen, der Westpfalz und Westeifel nachweisen. Auch aktuell werden im Moselwasser immer wieder einzelne, erhöhte Werte gemessen. Bei den Grundwasserleitern der Westpfalz und der Westeifel (Muschelkalk und Keuper) handelt es sich um Klufftgrundwasserleiter mit wenig schützenden Bodenüberdeckungen, die einen Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser begünstigen können.

Für andere Wirkstoffe und Metaboliten der zur Untersuchung empfohlenen Liste liegen keine oder nur sehr vereinzelt Nachweise vor. In keinem Fall wird die Grundwasserqualitätsnorm von 0,1 µg/L überschritten.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Nachweis von Pflanzenschutzmitteln und ihrer Metaboliten im ufernahen Grundwasser unterhalb Ludwigshafen sowohl was die Häufigkeit der Nachweise, als auch die Tendenz an einzelnen Messstellen betrifft, deutlich rückläufig aber immer noch flächenhaft anzutreffen ist. Demgegenüber sind PSM-Nachweise im oberflächennahen Grundwasser unter landwirtschaftlich genutzten Standorten stets Einzelbefunde ohne räumliche Ausdehnung. Die Belastungen mit Triazinen, insbesondere mit dem Metaboliten Desethylatrazin, sind zwar rückläufig, stellen aber wirkstoffbezogen immer noch den Schwerpunkt der PSM-Belastungen des Grundwassers dar. In der Fläche ist die Belastung mit Pflanzenschutzmittel im oberflächennahen Grundwasser, im Gegensatz zu den Nitratbelastungen, kein prioritäres Problem in Rheinland-Pfalz.

### ■ Wasserhärte

Bei den zuvor beschriebenen diffusen Belastungen des Grundwassers durch Nitrate und Pflanzenschutzmittel handelt es sich um anthropogene Beeinflussungen der Grundwasserbeschaffenheit. Die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers wird hingegen im Wesentlichen durch die Zusammensetzung des Gesteins bestimmt, welches es durchfließt. Karbonathaltige Gesteine bringen ein lösungsreiches, kristallines Gestein ein lösungsarmes Grundwasser hervor.

Da Calcium- und Magnesiumionen in vielen Böden und Gesteinen in relativ leicht löslicher Form vorkommen, sind sie im Grundwasser die am häufigsten nachzuweisenden Kationen und zeigen eine sehr enge Korrelation zur Geologie des Untergrunds. Neben Barium und Strontium – die weitaus seltener im Grundwasser vorkommen und damit zu den Spurenmetallen zählen – bilden sie die Gruppe der Erdalkalien. In der Wasseranalytik ist es üblich Calcium und Magnesium auch zusammengefasst als ‚Gesamthärte‘ darzustellen. Auch wenn der Härte eines Wassers nach heutiger Kenntnis nicht mehr die ehemalige korrosionschemische und gesundheitliche Bedeutung beigemessen wird [16], so stellt sie nach wie vor ein griffiges Maß zur Charakterisierung eines Wassers dar und besitzt u.a. im Zusammenhang mit der Verwendung von Waschmitteln auch eine technische Bedeutung. Nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) vom 29. April 2007 haben die Wasserversorger dem Verbraucher den Härtebereich des von ihnen abgegebenen Trinkwassers mindestens einmal jährlich in geeigneter Form mitzuteilen. Nach dem WRMG wird nur noch nach drei Härtebereichen unterschieden:

**weich:** < 1,5 mmol/L CaCO<sub>3</sub>

**mittel:** 1,5 bis 2,5 mmol/L CaCO<sub>3</sub>

**hart:** > 2,5 mmol/L CaCO<sub>3</sub>

Da die sich nachhaltig eingeprägte, alte Bezeichnung zur Darstellung der Wasserhärte ‚deutsche Härtegrade‘ (°dH) aber immer noch einen hohen Bekanntheitsgrad besitzt, wird die herkömmliche Einteilung der Wasserhärte hier nochmals aufgeführt:

**Härtebereich I (A):** < 1,3 mmol/L Ca+Mg  
bzw. 0 bis 7°dH

**Härtebereich II (B):** 1,3 – 2,5 mmol/L  
Ca+Mg bzw. 7 bis 14°dH

**Härtebereich III (C):** 2,5 – 3,8 mmol/L  
Ca+Mg bzw. 14 – 21°dH

**Härtebereich IV (D):** > 3,8 mmol/L Ca+Mg  
bzw. >21°dH

Eine Entsäuerung sehr weichen Rohwassers über alkalische Filtermaterialien im Zuge der Trinkwasseraufbereitung führt zu einer gewünschten Aufhärtung des abgegebenen Wassers. Im Gegenzug führt die Enthärtung eines sehr harten Grundwassers zu einer Herabsetzung der Wasserhärte, wobei aber eine Teilenthärtung bis zum Härtebereich ‚mittel‘ ausreichend ist.

Die Grundwässer in Rheinland-Pfalz weisen auf Grund der vielgestaltigen geologischen Verhältnisse eine sehr hohe Wertevarianz der Härtegrade auf. Diese reicht von Werten unter 1°dH z. B. in den silikatisch geprägten devonischen Quarziten des Hunsrücks bis zu mehr als 50°dH in den im Wesentlichen karbonatisch geprägten quartären Sedimenten des Oberrheingrabens und im Kalktertiär des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes. Um aber die gesamte Spanne der Wasserhärten detailliert in Verbindung mit den geologischen Verhältnissen darstellen zu können, bietet es sich an, insgesamt fünf Härteklassen zu unterscheiden. Da rund zwei Drittel der Fläche von Rheinland-Pfalz durch basenarme Gesteine aufgebaut sind, paust sich bei einer nochmaligen Unterteilung der ‚weichen‘ Grundwässer in zwei

Klassen ‚ $\leq 4^{\circ}\text{dH}$ ‘ und ‚4 bis  $7^{\circ}\text{dH}$ ‘ die Geologie sehr gut durch (Abb.: 6.10).

Sehr weiche Grundwässer der Härteklasse  $< 4^{\circ}\text{dH}$  finden sich im Buntsandstein des Pfälzerwalds und am Rand der Bitburg-Triere Mulde, daneben auch in den devonischen Quarziten von Hunsrück, Eifel und Westerwald. Die härtesten Grundwässer sind insbesondere im nördlichen Oberrheingraben und in Rheinhessen anzutreffen, wobei die geogen bedingte Wasserhärte hier infolge der Bodennutzung sowie der hohen Besiedlungsdichte eine deutliche anthropogene Überprägung erfahren hat.

Auch der Muschelkalk im Bereich des Pfälzer Westrichs, im Zentralteil des Bitburger Landes sowie die Devonischen Kalksteine in der Eifel und im Taunus sind durch relativ hohe Wasserhärten gekennzeichnet. Hydrochemisch sehr inhomogen

stellen sich hingegen die Rotliegend-Sedimente des Nordpfälzer Berglandes dar.

Die statistischen Kennzahlen der Gesamthärte rheinland-pfälzischer Grundwässer stehen mit der meist nur geringen Abweichung von Median und Mittelwert nahezu für eine Normalverteilung der Messwerte (Tab. 6.6). Lediglich die Rotliegend-Magmatite zeigen – bei einer nur sehr geringen Datenmenge – hier eine erhebliche Abweichung.

Das 90%-Perzentil – wie oft diskutiert – für den natürlichen Hintergrundwert anzusetzen, ist bei der Gesamthärte in den anthropogen stärker überprägten Grundwasserlandschaften nicht angezeigt. Der Abstand vom Median zum 90%-Perzentil beträgt in den Quartären Sedimenten und im Kalktertiär bis zu  $27^{\circ}\text{dH}$ , eine Differenz, die sich für die anderen Grundwasserlandschaften so nicht findet.

Tab. 6.6: Statistische Kennzahlen der Gesamthärte rheinland-pfälzischer Grundwässer [ $^{\circ}\text{dH}$ ]

Grundwasserlandschaft	10%-Perzentil	25%-Perzentil	Median	75%-Perzentil	90%-Perzentil	Mittelwert	Anzahl Messstellen
Quartäre und pliozäne Sedimente	11,8	16,1	22,7	33,8	44,8	26,3	827
Quartäre Magmatite	2,5	4,7	6,5	9,0	11,5	7,4	86
Tertiäre Kalksteine	20,3	22,3	27,4	33,2	37,2	28,8	76
Tertiäre Mergel und Tone	22,8	23,4	31,5	39,5	58,1	37,2	15
Tertiäre Bruchschollen des Oberrheingrabenrandes	19,6	21,5	26,2	29,1	31,9	26,8	11
Tertiäre Vulkanite	2,5	3,0	4,3	5,1	6,2	4,4	66
Sandsteine des Lias	5,1	7,2	9,6	10,5	12,4	9,4	25
Muschelkalk und Keuper	14,2	20,3	22,6	24,1	26,9	22,3	50
Buntsandstein	1,1	1,7	2,9	6,2	13,1	5,0	481
Rotliegend Sedimente	3,5	9,5	15,5	23,0	28,4	16,6	138
Rotliegend Magmatite			2,9			8,5	9
Devonische Kalksteine	9,8	13,9	16,6	18,3	24,0	16,6	69
Devonische Quarzite	0,7	1,1	1,6	3,9	7,4	3,3	215
Devonische Schiefer und Grauwacken	1,7	2,8	5,3	10,0	16,7	7,3	466





Trinkwasser ist unser kostbarstes Lebensmittel.

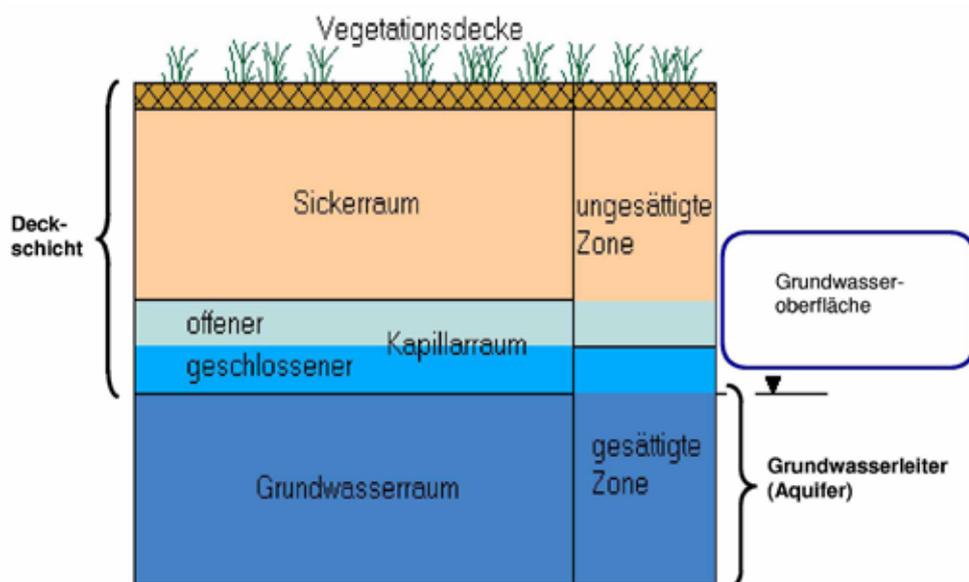
Rein, klar und erfrischend, wie es aus dem Wasserhahn kommt, ist es für uns ein selbstverständliches Stück Lebensqualität und wesentliche Grundlage unserer Gesundheit.

In Rheinland-Pfalz wird die Wassergewinnung zur Trinkwasserversorgung zu 95% aus Grundwasser gedeckt. Die Gründe für seine bevorzugte Nutzung liegen in der Qualität des Grundwassers:

- Grundwasser ist durch Deckschichten natürlich geschützt,
- Grundwasser wird beim Durchströmen des Untergrundes natürlich gefiltert,
- Grundwasser hat durch die Speicherung im Untergrund eine gleichbleibende Temperatur,
- Grundwasser ist vielfach ohne aufwendige Aufbereitung im Wasserwerk als Trinkwasser nutzbar.

Die obersten Bodenschichten, die Deckschichten, schützen das Grundwasser vor anthropogenen Stoffeinträgen. Sie schützen es aber nicht so gut, wie häufig angenommen.

Früher galt das Augenmerk vor allem bakteriologischen Verunreinigungen, denn Trinkwasserseuchen wie Cholera und Typhus waren im 19. Jahrhundert in Deutschland keine Seltenheit. In der heutigen Zeit sind chemische Verunreinigungen, welche sich nur langsam im Untergrund



abbauen, in vielen Grundwässern zu finden. Landwirtschaftliche Bodennutzungen belasten das Grundwasser durch diffuse Einträge von Stickstoff, Phosphat und Pflanzenschutzmitteln. Unter Gewerbegebieten, Deponien und Altlastenstandorten können organische Lösungsmittel, Kohlenwasserstoffe oder Schwermetalle das Grundwasser verunreinigen.

Um aufwendige Aufbereitungsverfahren oder in der Zukunft gar „Trinkwasserfabriken“ zu vermeiden, müssen die vorhandenen Grundwasserressourcen vor Einflüssen, die ihre Qualität und Quantität mindern, geschützt werden.

Die Notwendigkeit eines speziellen Grundwasserschutzes im Einzugsgebiet von Trinkwasserfassungsanlagen der öffentlichen Wasserversorgung hat ihren Niederschlag in gesetzlichen Verordnungen und Regelungen gefunden, so z. B. im § 19 Wasserhaushaltsgesetz (Wasserschutzgebiete) bzw. im § 13 Landeswassergesetz (Festsetzung von Wasserschutzgebieten).



### ■ Grundwasserschutz hat Vorrang

Ziel eines Wasserschutzgebietes ist es, einen über den allgemeinen flächendeckenden Grundwasserschutz hinausgehenden Schutz der Wasservorkommen zu erreichen, um damit den besonderen Schutz von Trinkwassergewinnungsgebieten zu gewährleisten. In § 13 Absatz 1 Landeswassergesetz (LWG) hat das Land den wasserrechtlichen Rahmen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) dergestalt ausgefüllt, dass bestimmt wurde, Wasserschutzgebiete durch die Obere Wasserbehörde (Struktur- und Genehmigungsdirektionen Nord und Süd) mittels Rechtsverordnung festzusetzen. Der Begünstigte, in der Regel das Wasserversorgungsunternehmen, ist in der Rechtsverordnung zu bezeichnen. Die Rechtsverordnung ist in der Regel unbefristet. Das bedeutet, sie wird nur aufgehoben, wenn das dazugehörige Wasserrecht zur Entnahme von Grundwasser erloschen ist.

Die Ausweisung eines Wasserschutzgebietes als Sonderrechtsgebiet löst bei Überschneidungen mit anderen urban genutzten Bereichen (z. B. Planung von Neubau- und Gewerbegebieten oder Abbau von Rohstoffvorkommen) immer wieder Konflikte aus. In der Abwägung hat jedoch der Schutz des Grundwassers, das für die öffentliche Wasserversorgung genutzt wird, Vorrang!

Für die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes müssen folgende grundlegende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Das Grundwasservorkommen muss **schutzwürdig** sein. Dies ist in der Regel der Fall, wenn das Grundwasser in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung steht und zur vorgesehenen Wassergewinnung keine brauchbare Alternative existiert.
- Das Grundwasservorkommen muss **schutzfähig** sein. Dies ist in der Regel der Fall, wenn durch Nutzungsbeschränkungen und Verbote ein Schutz überhaupt erreicht werden kann. Vorhandene Boden- bzw. Grundwasserkontaminationen müssen erforderlichenfalls sanierbar sein.

Grundlage für die Bemessung von Wasserschutzgebieten ist das DVGW-Regelwerk W 101 "Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; 1. Teil, Schutzgebiete für Grundwasser" (Ausgabe 6/2006).

Kernsatz der Richtlinie ist die Aussage, dass sie in keinem Fall pauschal angewendet werden darf:

- Das Wasserschutzgebiet mit seinen Grenzen muss den jeweiligen örtlichen Verhältnissen entsprechend differenziert und angepasst werden.
  - Die Nutzungseinschränkungen und Auflagen in einem Wasserschutzgebiet müssen nach den geologischen und hydrologischen Gegebenheiten, den Vorbelastungen und Sanierungserfordernissen festgelegt werden.
  - Die Verhältnismäßigkeit der Nutzungseinschränkungen und Auflagen muss gewährleistet sein.
- Wasserrechtsbescheid,
  - Lage der Brunnen, Art, Ausbau, Wirkungs- und Betriebsweise der Fassung (z.B. Pumpversuche oder Grundwassermodelluntersuchungen),
  - Geologische und hydrogeologische Verhältnisse (Geologische Karte, Bohrprofile mit Bohrlochgeophysik),
  - Physikalische, chemische und mikrobiologische Untersuchungsergebnisse des Grundwassers,
  - Eventuell Altersbestimmungen des Wassers,
  - Auflistung der Flächennutzungen und der störenden Anlagen im Einzugsgebiet der Wasserfassungen,
  - Klimatische Verhältnisse und Kenndaten zur Grundwasserneubildung.

Bei der Abgrenzung eines Wasserschutzgebietes und der Festlegung der Nutzungseinschränkungen kann daher nicht schematisch vorgegangen werden. Grundlage für den Abgrenzungsvorschlag ist ein hydrogeologisches Gutachten, welches im Auftrag des Begünstigten von qualifizierten Ingenieurbüros oder dem Landesamt für Geologie und Bergbau in Zusammenarbeit mit den wasserwirtschaftlichen Fachbehörden erstellt wird.

Für die Bearbeitung des Gutachtens werden im allgemeinen folgende Angaben und Unterlagen benötigt:



Brunnenschacht in der Wasserschutzzone

Wasserschutzgebiete teilen sich i. d. R. in drei Zonen, für die, entsprechend des Schutzgebietskatalogs, bestimmte Anforderungen zu erfüllen sind (Abb. 7.1).

### Zone I

Der Fassungsbereich soll den Schutz der unmittelbaren Umgebung der Fassungsanlage vor jeglichen Verunreinigungen und sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die Zone I wird i. d. R. mit einem Zaun umschlossen.

### Zone II

Die engere Schutzzone soll den Schutz vor Verunreinigungen und sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die von verschiedenen menschlichen Tätigkeiten und Einrichtungen ausgehen und wegen ihrer Nähe zur Fassungsanlage besonders gefährdet sind.

Durch diese Zone soll hauptsächlich der Schutz vor bakteriellen Beeinträchtigungen gegeben sein. Die Zone II reicht von der Grenze der Zone I bis zu einer Linie, von der aus das Grundwasser etwa 50 Tage bis zum Eintreffen in der Fassungsanlage benötigt. Mit dieser Mindestverweildauer im Untergrund wird in der Regel gewährleistet, dass pathogene Mikroorganismen absterben und von den Brunnen ferngehalten werden.

### Zone III

Die Schutzzone III erfasst das gesamte ober- und unterirdische Einzugsgebiet der Wasserfassungsanlage. Sofern das Einzugsgebiet weiter als 2 km von der Fassungsanlage reicht, kann eine Aufteilung in Schutzzone III A und Schutzzone III B vorgenommen werden.

Die Schutzzone soll vor allem chemische Beeinträchtigungen verhindern, denn diese wirken sehr langfristig.



Abb. 7.1 Schematische Darstellung eines Wasserschutzgebietes

### ■ Wasserschutzgebiete in Rheinland-Pfalz

Ende 2007 waren in Rheinland-Pfalz 690 Wasserschutzgebiete rechtskräftig mit einer Gesamtfläche von 1.579 km<sup>2</sup> (7,9 % der Landesfläche) festgesetzt. Davon entfallen auf die Schutzzonen I und II 533 km<sup>2</sup> und auf die Zone III 1046 km<sup>2</sup>.

207 Wasserschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von 571 km<sup>2</sup> befinden sich im Ausweisungsverfahren. Daneben sind für die staatlich anerkannten Heilquellen in Rheinland-Pfalz 5

Heilquellenschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von 82 km<sup>2</sup> festgesetzt, 8 Heilquellenschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von 86 km<sup>2</sup> befinden sich im Ausweisungsverfahren.

Mit einer Gesamtfläche von 2.318 km<sup>2</sup> werden mittelfristig ca. **12 % der Landesfläche mit Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten belegt** sein (Karte der Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete, Abb. 7.2)

Die Flächennutzungen teilen sich in den Schutzzonen wie folgt auf:

#### Schutzzonen I und II

Wald	73 %
Landwirtschaft	26 %
Siedlung/Strassen	< 1 %
Wasser	< 1 %

#### Schutzzonen III

Wald	47 %
Landwirtschaft	47 %
Siedlung/Strassen	< 6 %
Wasser	< 1 %

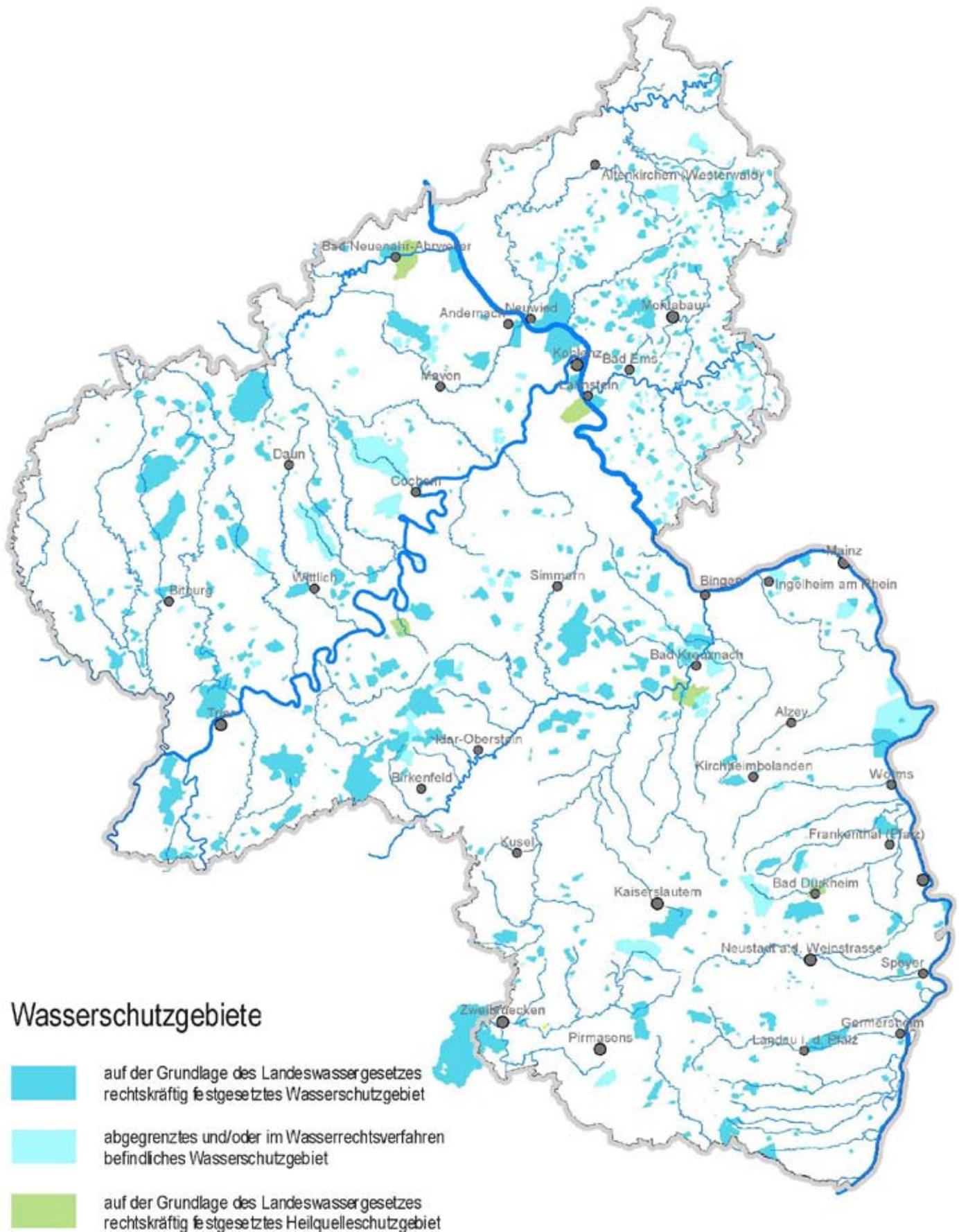


Abb. 7.2 Wasserschutzgebiete in Rheinland-Pfalz (Stand Dez. 2007)

## 8 Der Rhein als Trinkwasserlieferant



Neben der Gewinnung von Trinkwasser aus Grundwasser ist die Förderung von Uferfiltrat, vor allem an großen Flüssen, ein häufig genutztes Verfahren zur Trinkwassergewinnung. Von Uferfiltration wird gesprochen, wenn Oberflächenwasser auf Grund der mittels Brunnenbetrieb (Grundwasserabsenkung) erzeugten Potenzialgefälle durch die Gewässersohle bzw. die Uferbereiche in den Grundwasserleiter eintritt (Abb. 8.1). Bei der Untergrundpassage laufen eine Vielzahl chemischer und biologischer Prozesse ab, die genutzt werden um Schadstoffe zu vermindern und zu eliminieren.

Zur Zeit werden in Rheinland-Pfalz jährlich rund 250 Millionen Kubikmeter Grund- und Quellwasser sowie Talsperrenwasser für die Trinkwasserversorgung genutzt. Davon kommen etwa 53 Millionen Kubikmeter pro Jahr, also 20 Prozent, aus Gewinnungsanlagen, die im rheinufernahen Bereich liegen. Das Wasser aus diesen Anlagen ist ein Mischwasser aus Anteilen von landseitig zufließendem „echtem“ Grundwasser und aus uferfiltriertem Rheinwasser.

Die Qualität des geförderten Rohwassers hängt nicht nur von der Beschaffenheit des Oberflächengewässers ab, sondern insbesondere auch von

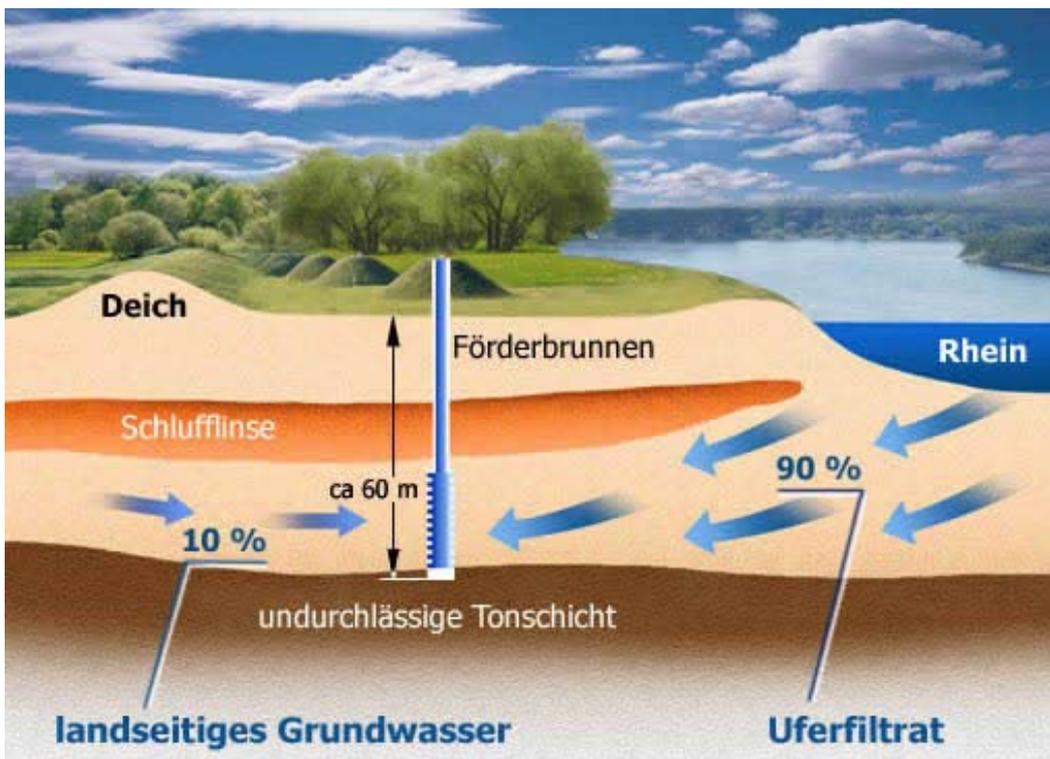


Abb. 8.1 Beispiel einer Uferfiltratgewinnungsanlage am Rhein

(Quelle: Mit freundlicher Genehmigung durch die Wasserversorgung Rheinhessen GmbH, Bodenheim)

der Reinigungsleistung des Untergrunds bei der Passage des Uferfiltratwassers bis zum Brunnen. Anhand der im Rhein und im Uferfiltrat nachweisbaren Stoffe wurde in Feldversuchen nachgewiesen, dass viele Schadstoffe schon auf den ersten Metern der Untergrundpassage eliminiert werden. Ein Nachlassen dieser Reinigungsleistung konnte bisher trotz intensiver Untersuchungen nicht festgestellt werden. Als Beispiel für die erhebliche Dämpfung der Konzentrationsschwankungen schon auf den ersten Metern der Untergrundpassage sind die im Rhein gemessenen Werte der elektrischen Leitfähigkeit den Messwerten einer 10 Meter vom Ufer entfernten Messstelle gegenübergestellt (Abb. 8.2). Ausgehend von beispielsweise hohen Wassertemperaturen des Rheins im Sommer erfolgt über die Uferfiltration ein Temperaturengleich, das Uferfiltrat nimmt die kühle Untergrundtemperatur des Grundwasserleiters an.

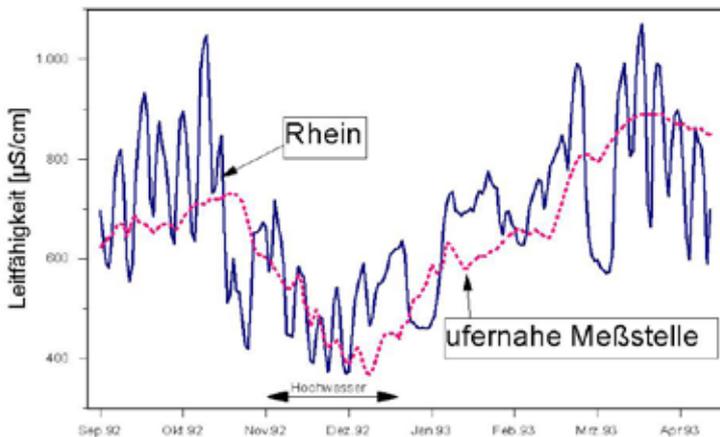


Abb. 8.2: Ganglinie der elektrischen Leitfähigkeit vom Rhein und einer ufernahen Messstelle

Physikalische und physikalisch-chemische Prozesse während der Untergrundpassage:

- Auflösung, Fällung
- Filtration
- Chemische Umsetzungen (Redoxvorgänge, Hydrolyse, Komplexbildung)
- Sorption (physikal. Adsorption, Chemisorption, Desorption, Ionenaustausch)
- Konzentrationsausgleich (Dispersion)
- Temperaturengleich
- Vermischung mit landseitigem Grundwasser

Mikrobielle Vorgänge während der Untergrundpassage:

- Abbau (= Mineralisierung) organischer Verbindungen
- Transformation organischer Verbindungen (Metabolite)
- Transformation anorganischer Verbindungen (z.B. Nitrifikation, Denitrifikation, Sulfatreduktion)
- Veränderung der Redoxbedingungen

Die organischen Chlorverbindungen spielen im Rhein keine große Rolle mehr und sie sind abbaubar. Es gibt aber auch Stoffe, die noch nach langer Verweilzeit im Grundwasser nachweisbar sind. Die Untergrundpassage gleicht hier Belastungsschwankungen aus. Das in den Untergrund eingesickerte Wasser fließt auf unterschiedlich langen Wegen zu den Brunnen. Infolge der unterschiedlichen Verweilzeiten im Untergrund kommen die zeitgleich eingesickerten Stoffanteile zu verschiedenen Zeitpunkten an den Brunnen an. Diese zeitliche Streckung bewirkt einen Konzentrationsausgleich.

### ■ Die Mischung macht's

Alle Uferfiltratgewinnungen fördern einen – aufgrund ihrer jeweiligen Lage zum Rhein und der Ausbildung des Grundwasserleiters – unterschiedlich großen Anteil an „landseitigem Grundwasser“. Wenn dessen Beschaffenheit wesentlich vom Uferfiltrat abweicht, kann es zu einer deutlichen Änderung der Qualität des geförderten Rohwassers kommen. Eine Verschiebung der Mischungsanteile kann durch den Brunnenstandort, Entnahmeänderungen oder steigende/ fallende Flusswasserstände bewirkt werden. So führen extreme Hochwasserereignisse in der Regel zu einem zeitweise erhöhten Uferfiltratanteil in den Förderbrunnen. Die Mischung lässt sich aber auch steuern. Noch in den 80er Jahren wurde das stärker belastete Uferfiltrat mit dem weniger oder nicht belasteten landseitigen Grundwasser verbessert. Heute sind die Verhältnisse oft umgekehrt. Die erfolgreichen Bemühungen zur Reinhaltung des Rheins haben auch die Qualität des Uferfiltrats erhöht. Gleichzeitig sind – vor allem durch Schadstoffeinträge aus Industrie und Landwirtschaft – die Belastungen des landseitigen Grundwassers gestiegen. Uferfiltrat verdünnt jetzt die Schadstoffkonzentration im Grundwasser.

Im Auftrag des Landes wurde mit Hilfe mathematischer Grundwasserströmungs- und Transportmodelle die ortsspezifischen Bedingungen und zeitlichen Einflussfaktoren (zum Beispiel Dauer und Höhe der Stoßbelastung) ermittelt und die tatsächlich in den Brunnen auftretenden Anteile prognostiziert werden [17]. Hierzu wurden auf der Grundlage der Untergrundkennwerte, der Geometrie der Grundwasserleiter, der Entnahmemengen und des Rheinwasserspiegels die Zustromverteilungen zu jeder Gewinnungsanlage berechnet. Es erfolgte eine Abgrenzung zwischen landseitigem Grundwasserzufluss und Uferfiltratzuflussbereich. In einem weiteren Schritt wurde eine differenzierte Aufteilung des Uferfiltratzuflusses vorgenommen und für diese Anteile die Fließzeiten ermittelt. Die Mittelung ergab die mittlere Fließzeit des Uferfiltrats zu den Brunnen. Zur kritischen Bewertung wurde für 10 % des Uferfiltratvolumens die kürzeste Fließzeit bestimmt.

Von den in der Rheinebene untersuchten Trinkwassergewinnungsgebieten (Abb. 8.3) wird in 10 Gewinnungsgebieten kein Uferfiltrat gefördert (z. B. Germersheim, Speyer-Süd, Waldsee und Andernach). In 12 Gewinnungsgebieten liegt die mittlere Fließzeit des Rheinuferfiltrats bei mehr als 5 Jahren (z. B. Parkinsel Ludwigshafen, Eich, Neuwied), auch die kürzeste Fließzeit beträgt hier mehr als 1 Jahr. Weitere 5 Gewinnungsgebiete bekommen Uferfiltrat mit mittleren Fließzeiten von mehr als 2 Jahren. Eine Gefährdung dieser Gewinnungsgebiete durch z. B. einer mehrtägige Schadstoffwelle im Rhein ist nicht wahrscheinlich. Allein durch die unterschiedlich langen Fließzeiten würde eine angenommene Schadstoffkonzentration um den Faktor 1.000 verdünnt werden. Ebenso ist das Abschalten dieser Gewinnungsanlagen fachlich nicht sinnvoll, da selbst bei mehrtägiger Stilllegung der Brunnen immer noch ein Gefälle vom Rhein zu den Brunnen vorhanden ist.

Bei 6 Gewinnungsgebieten (z. B. Koblenz, Lahnstein, Bendorf, Leutesdorf) wurden mittlere Fließzeiten des Uferfiltrats von etwa einem Jahr berechnet. Auch in diesen Anlagen liegen die berechneten Maximalkonzentration im Brunnenmischwasser im Promillebereich der angenommenen Schadstoffkonzentration des Rheinwassers. Teilweise haben die betroffenen Wasserwerke vorsorglich entsprechende Aufbereitungstechniken wie Aktivkohle in Betrieb.

Sieben Gewinnungsgebiete (Oberwerth, Petersaue, Oberwesel, Kamp-Bornhofen, Ingelheim-Ost, Bodenheim und Guntersblum) haben auf Grund ihrer Brunnenlage von 15 bis rd. 80 m vom Rhein einen Uferfiltratanteil von mehr als 85 % und mittlere Fließzeiten von weniger als 100 Tagen, 10 % des Uferfiltrats hat Fließzeiten von 10 bis 20 Tagen. Die Maximalkonzentration im Brunnenmischwasser liegt im 10 %-Bereich der angenommenen Schadstoffkonzentration des Rheinwassers.

Diese bedeutenden Uferfiltratwerke betreiben die notwendige Aufbereitungstechnik als Vorsorgemaßnahme (Abb. 8.4).

## 8 Der Rhein als Trinkwasserlieferant



Abb. 8.3: Standorte der reinnahen Gewinnungsgebiete in Rheinland-Pfalz

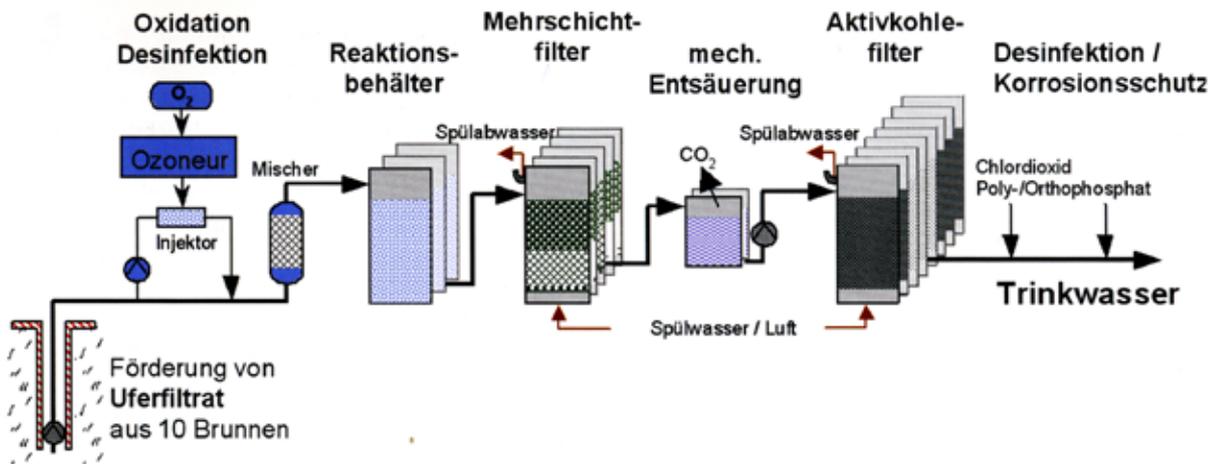


Abb. 8.4: Beispiel der Aufbereitungsschritte in einem Uferfiltrat-Wasserwerk

### ■ Vorsorge ist wichtig

Gegen eine dauernde Gewässerbelastung mit einem nicht abbaubaren Schadstoff und die damit einhergehende dauernde Belastung des Uferfiltrats kann der Konzentrationsausgleich nicht ausreichen. Eine Verringerung der Konzentration ist in diesem Fall nur noch über die Mischung mit Anteilen an unbelastetem landseitigem Grundwasser möglich. Dies bedeutet andererseits, dass bei einer Verminderung der Dauerbelastung im Gewässer – je nach Verweilzeit des Grundwassers zwischen Gewässer und Brunnen – nur ein sehr langsamer Rückgang der Konzentrationen im Uferfiltrat erfolgt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, unsere Gewässer generell in einem guten qualitativen Zustand zu erhalten beziehungsweise diesen wieder her zu stellen.

### ■ Kein Problem durch Überschwemmungen

Extreme Hochwasser können Gewinnungsanlagen überfluten. Dabei stellt sich die Frage nach der Betriebssicherheit der Brunnen. Im Vordergrund steht die Sorge, das Stauwasser könnte Deckschichten und die ungesättigte Zone des Untergrunds nahezu ungefiltert durchsickern, so dass Schadstoffe in das Grundwasser und in das Förderwasser gelangen. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Sorge weitgehend unberechtigt ist. Bei sachgerechtem Ausbau der Brunnen und entsprechender Ausbildung der Bodendeckschicht besteht keine Gefahr, dass die Trinkwassergewinnung durch eine temporäre Überflutung der Brunnen beeinträchtigt wird und somit abgeschaltet werden muss.



Rhein bei Mainz

### ■ Vorsorgender Gewässerschutz tut Not

Die vielfältigen und intensiven Untersuchungen des Uferfiltrats zur Trinkwassergewinnung in Rheinland-Pfalz zeigen, dass Stoßbelastungen im Rhein grundsätzlich das geförderte Rohwasser nicht gefährden. Eine Dauerbelastung des Rheins mit schwer abbaubaren Schadstoffen würde aber erhöhte Anforderungen an die Technik zur Aufbereitung des Wassers stellen. Wenn diese Stoffe erst in den Untergrund gelangt sind, müssen sie noch nach Jahren aus dem geförderten Rohwasser entfernt werden.

Da sich die Wasserqualität des Rheins in den zurückliegenden Jahrzehnten bedeutend verbessert hat, ist der Rhein heute einer der wichtigsten „Trinkwasserlieferanten“ in Deutschland, daher muss auf den vorsorgenden Gewässerschutz ein besonderes Augenmerk gelegt werden.

Da sich die Wasserqualität des Rheins in den zurückliegenden Jahrzehnten bedeutend verbessert hat, ist der Rhein heute einer der wichtigsten „Trinkwasserlieferanten“ in Deutschland, daher muss auf den vorsorgenden Gewässerschutz ein besonderes Augenmerk gelegt werden

## 9 Baggerseen und Grundwasser



Wir alle kennen den sommerlichen Baggersee als Erfrischung und zum Zwecke der Naherholung ausgebaut als Tummelplatz für gestresste Städter. Der Wasserkörper, der durch die Ausbeutung von Sand- und Kieslagerstätten entsteht oder entstand, ist ein künstliches Gewässer.

### ■ Besonderheiten eines Baggersees

Die Abgrabung von Sand und Kies legt in großen Mengen Grundwasser frei, also Wasser, welches zuvor unter völlig anderen Bedingungen im Untergrund floss. Es entsteht eine Grundwasserblänke (Abb. 9.1). Die Freilegung des Grundwassers bedeutet zunächst einmal eine potentielle Gefährdung, da die schützenden Bodenschichten

entfernt wurden, das Wasser gänzlich anderen oberflächenbestimmten Einflussfaktoren und gegebenenfalls Belastungen (z.B. durch die menschliche Nutzung) unterworfen wird. Zudem entsteht zwischen dem Baggersee und dem umgebenden Grundwasserkörper eine enge Wechselbeziehung. Eine Belastung des Baggersees durch die Nassauskiesung oder der Folgenutzungen zur Naherholung bedeuten damit gleichzeitig auch eine mögliche Gefährdung der Grundwasserqualität. Das Verhältnis zwischen Baggersee und Grundwasser muss dementsprechend schon in der Planung untersucht werden, um spätere negative Folgen zu vermeiden.

Der Grundwasserstrom spielt bei der Anlage des Sees eine ebenso gewichtige Rolle. Der künstliche See steht in permanentem Austausch mit

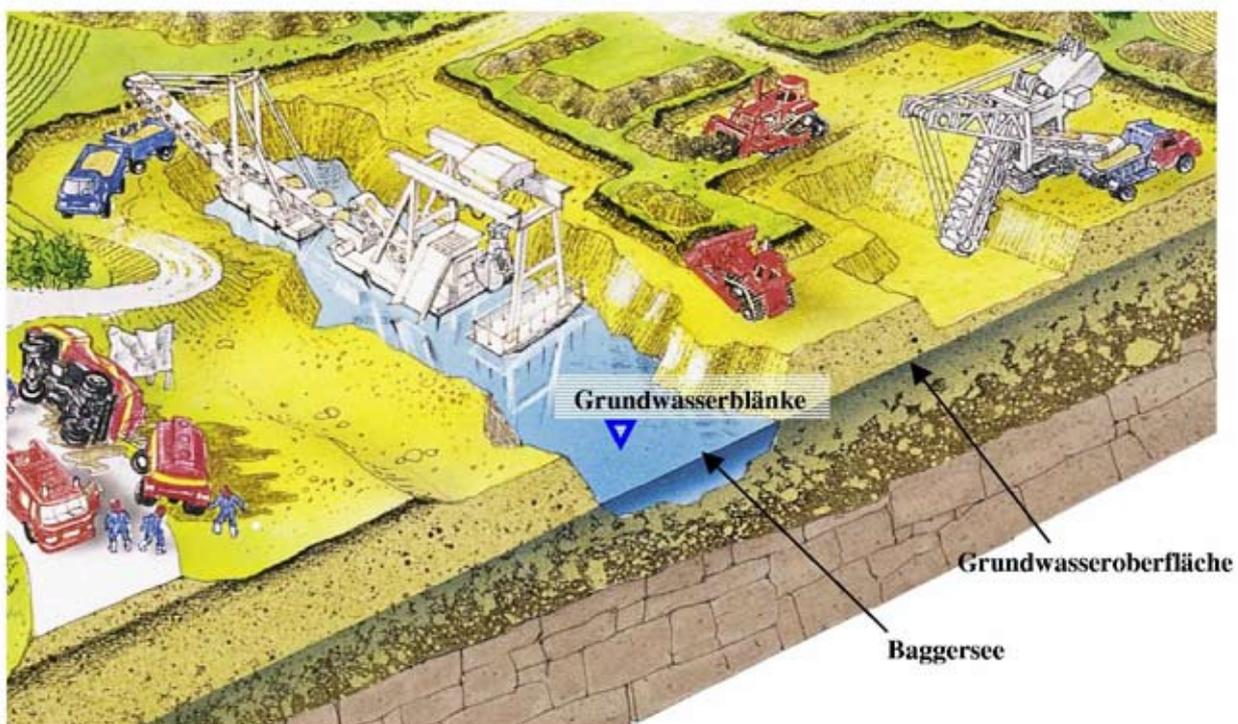


Abb. 9.1 Blockbild Baggersee (Copyright: Pro Natur GmbH, Frankfurt)

## 9 Baggerseen und Grundwasser

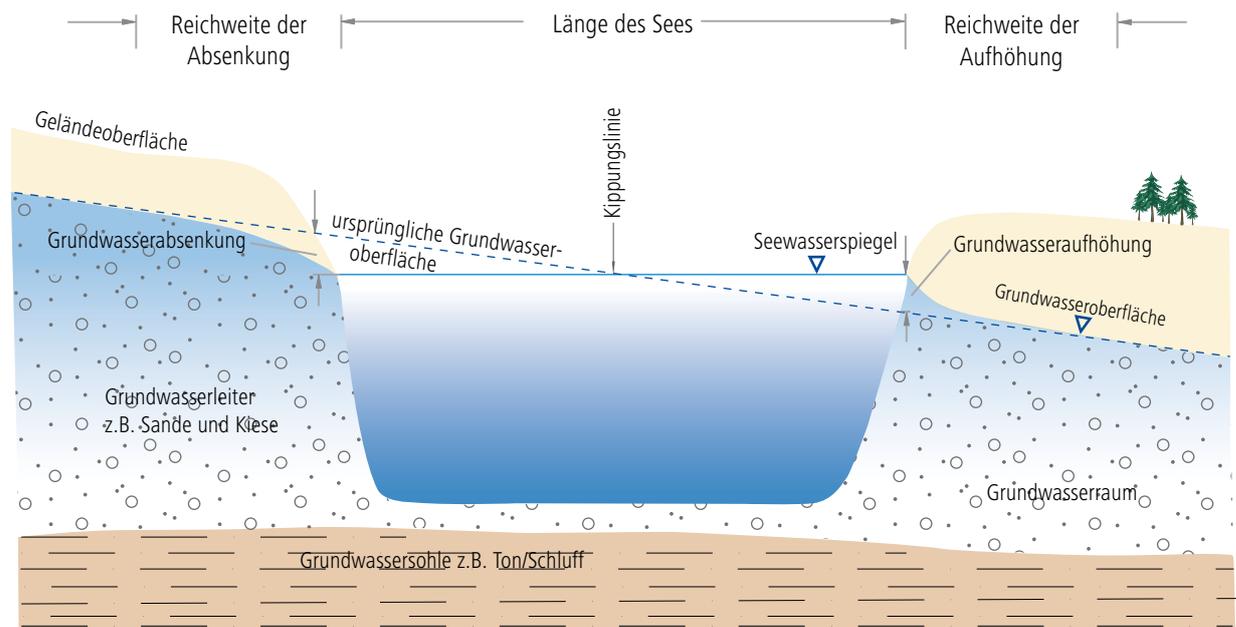


Abb. 9.2 Schematischer Schnitt durch einen Baggersee (Grundwasserblänke) mit Absenkung und Aufhöhung des Grundwassers

dem Grundwasser, welches in Richtung des morphologischen Geländegefälles fließt. Der Wasserspiegel des Baggersees pendelt sich auf eine horizontale Ebene ein. Die Folge ist, dass dadurch der Grundwasserspiegel am grundwasseroberstromigen Ufer abgesenkt und am grundwasserunterstromigen Ufer aufgehört wird (Abb. 9.2). Dies kann im Nahbereich des Baggersees zu Problemen in bebauten Gebieten führen.

Mit dem Grundwasseraustausch wird die Wasserqualität des Sees (weniger des Grundwassers) positiv verbessert. Da das Grundwasser eine mittlere Jahrestemperatur von rd. 11° C aufweist, erwärmt sich das Seewasser im Sommer nicht so schnell und ist auch im Hochsommer angenehm erfrischend.

Mit zunehmender Alterung des Sees kann die Seewasserqualität negativ verändert werden, da durch Schwebeteilchen im Wasser die Seewände abgedichtet und damit der Wasseraustausch zwischen See- und Grundwasser verringert wird. Die Folgen sind Nährstoffanreicherungen im See. Sein Zustand bestimmt die Vorgaben für eine

mögliche Renaturierung. Das erstrebenswerte Ziel jeder Renaturierung ist der nährstoffarme (oligotrophe) See. Dabei handelt es sich um einen See, welcher bis zum Gewässergrund durchlichtet ist, dessen Bodenbewuchs überwiegt und in dem die Zehrschicht des Sees sehr viel Sauerstoff (über 70 % Sättigung) bindet. Darüber hinaus zeichnet sich dieser klare See durch wenig Phytoplankton (Merkmal nährstoffreicher Seen) aus. Damit einhergehend ist der geringe Phosphatgehalt ein wichtiges Merkmal nährstoffarmer Seen.

Der Austausch zwischen Grund- und Seewasser ist eine Besonderheit von Baggerseen gegenüber Stehgewässern die nicht mit dem Grundwasser in hydraulischer Verbindung stehen, sondern z. B. durch oberirdische Fließgewässer gespeist werden.

Meist haben die Baggerseen wegen des durchströmenden Grundwassers eine gute Wasserqualität, andererseits sind sie durch menschliche Einflüsse grundsätzlich gefährdet. Dem vorsorgenden Gewässerschutz ist daher Rechnung zu tragen, dies gilt besonders für Baggerseen im Einzugsbereich von Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung.

### ■ Sand- und Kiesgewinnung in Trinkwassergewinnungsgebieten durch Nassabbau

In ergiebigen Grundwasserleitern sind häufig auch bedeutende Vorkommen der Rohstoffe Sand und Kies zu finden. Diese sind für die Bauwirtschaft sowie die Glas-, Chemie-, Eisen- und Keramikindustrie unverzichtbare Rohstoffe. Jährlich werden in der Bundesrepublik rund 350 Mio. Tonnen an Sand und Kies benötigt.

Bei der Ausweisung von Wasserschutzzonen für die Trinkwassergewinnung kommen einer unverletzten belebten Bodenzone und den grundwasserüberdeckenden Schichten eine besondere Schutzfunktion zu. Im Arbeitsblatt W 101 des DVGW: „Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser“ (Juni 2006) wird der Gewinnung von Rohstoffen und sonstigen Abgrabungen mit Freilegungen des Grundwassers in der Schutzzone III A, wegen der Entfernung der grundwasserüberdeckenden Schichten, ein sehr hohes Gefährdungspotenzial und in der Schutzzone III B ein hohes Gefährdungspotenzial zugeordnet (vgl. auch Kap. 7).

In der Schutzzone III B ist eine Kies- und Sandgewinnung im Einzelfall möglich, wenn für den Grundwasserschutz sehr günstige hydrogeologische, chemische, physikalische, biologische und hydraulische Rahmenbedingungen vorliegen und erhöhte Anforderungen an den Abbau eingehalten werden.

In einem gemeinsamen Standpunktepapier vom März 2007 haben der Bundesverband der deutschen Kies- und Sandindustrie e.V., der Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V. sowie die Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW) und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Kriterien erarbeitet, die in Einzelfallprüfungen Aussagen liefern sollen, ob eine Nassauskiesung in der Wasserschutzzone III B möglich ist. Wenn die Wasserversorgung nicht beeinträchtigt wird, wenn der Abbau so gestaltet wird, dass keine Schäden im Wasserhaushalt entstehen und eine landschaftsgerechte Folgenutzung der Abbauflächen gewährleistet ist, können Ausnahmegenehmigungen erteilt werden.



„Altrheinsee Eich“ (oben)

„Baggersee bei Neuburg a. Rhein“ (unten)

### **Ausschlusskriterien für die Nassauskiesung sind:**

- Beseitigung oder Verminderung von hydraulisch wirksamen, regional bedeutsamen Stockwerkstrennungen
- Anschneiden von Grundwasser mit erhöhten Salzgehalten, sofern dadurch die Trinkwassergewinnung beeinträchtigt werden kann

### **Wasserwirtschaftliche Prüfkriterien sind beispielsweise**

Vor dem Betrieb:

- Standortabwägung
- Bedarfsnachweis insbesondere im Hinblick darauf, dass vergleichbare Flächen außerhalb des Wassergewinnungsgebietes nicht in Frage kommen
- Umfassende Erkundung der Grundwasserverhältnisse
- Risikobetrachtung hinsichtlich Betrieb und Nachfolgenutzung
- Gesamtbewertung aller Auswirkungen der Abgrabungsmaßnahmen im Umkreis

Während des Betriebes:

- Besondere Anforderungen an den Betrieb (Personen, Maschinen, Gebäude)
- Um-, Zwischen-, Ablagerung und Einbau von Abraum

Monitoring während des Betriebes bis zur Rekultivierung:

- Einrichtung eines aussagefähigen und geeigneten Messnetzes
- Auswahl geeigneter Überwachungsparameter
- Regelmäßige Datenauswertung und Verfassung von Monitoringberichten

Nachfolgenutzungen:

- Geeignete Folgenutzungen (z.B. Nutzung als Natursee)
- Ordnungsgemäßer Rückbau der Betriebsanlagen

Zwischen den Beteiligten der Rohstoffindustrie und der Wasserwirtschaft besteht Konsens, dass bei konkurrierenden Nutzungsansprüchen, deren Auswirkungen die Grundwasserbeschaffenheit und Grundwassermenge nachteilig verändern können, der Trinkwasserversorgung grundsätzlich Vorrang einzuräumen ist.





- [1] Umweltministerium Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2007): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer. Stuttgart, Mainz.
- [2] Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (Hrsg.) (2005): Hydrologischer Atlas Rheinland-Pfalz. Mainz.
- [3] Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2001): Grundwasserbericht 2000. Mainz.
- [4] Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz (2000-2006). Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück. Bad Kreuznach. <http://www.am.rlp.de>.
- [5] Schwille, F. (1953): Chloride und Nitrate in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingaus. Das Gas- und Wasserfach. Heft 14. München.
- [6] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Land- und Forstwirtschaft – Fachserie 3 und 4. Jahrgänge 1950 bis 2005. Wiesbaden.
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004) (Hrsg.): 3. 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. Berlin.
- [8] Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (1993); Grundwasserbericht 1992. LfW-Bericht 225/93. Mainz.
- [9] RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- [10] RICHTLINIE 2006/118/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.
- [11] Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2005): Gewässer in Rheinland-Pfalz – Die Bestandsaufnahme nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Mainz.
- [12] Wendland, F. et al (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. (Springer) Berlin.
- [13] Renger, M. (2002): Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser. Arbeitsbericht Nr. 223 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Stuttgart.

- [14] Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (1997): Pflanzenschutzmittel im Grundwasser – Bewertung von Monitoringprogrammen aus den Jahren 1989 bis 1996. LfW-Heft 217. Mainz.
- [15] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) (2004): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit – Pflanzenschutzmittel. Düsseldorf.
- [16] Höll, K. (2002): Wasser – Nutzung im Kreislauf, Hygiene, Analyse und Bewertung. (de Gruyter) Berlin.
- [17] Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (1990): Untersuchungen zum Grundwasserbeschaffenheitsprogramm Rheinland-Pfalz – Qualitativer Einfluß des Rheins auf die Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung. LfW-Heft 212. Mainz.